

# «Информационные системы и технологии»

## ИЗВЕСТИЯ ОрелГТУ

### № 4/54(567) июль-август 2009

#### СОДЕРЖАНИЕ

##### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

- Белокуров С.В., Белокуров В.П., Кораблев Р.А., Сподарев Р.А.* Алгоритм поиска для многоцелевых оптимизационных транспортных задач..... 5
- Подловченко Р.И., Хачатрян В.Е.* Разрешимость проблемы эквивалентных преобразований в одном множестве двухленточных автоматов и построение всех минимальных автоматов в этом множестве..... 12
- Комашинский В.В., Можин С.В.* Адаптивный алгоритм выбора и обоснования достаточности частного множества признаков индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» ..... 18
- Румянцев П.В.* Исследование механизма рандомизации распределения адресного пространства в операционной системе WINDOWS VISTA..... 24
- Емельянова Е.А.* Программный комплекс для реализации вычислительного эксперимента по иницированию импульсного пробоя в вакууме..... 32

##### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

- Николаев Ф.В., Крицкий В.Г., Захарова С.В.* Диагностирование состояния водно-химического режима АЭС на базе эмпирической модели нейронной сети Кохонена..... 37
- Хорольский В.Я., Сапронов С.В., Ковалевский С.Г.* Моделирование динамических режимов дизель-генераторных установок систем бесперебойного электроснабжения вычислительных центров..... 44
- Гришаков В.Г., Лебедеко Л.В.* Моделирование организации распределенного гибкого комплекса подразделения головного администрирования АСУП..... 49

##### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

- Савина О.А., Савина А.Л.* Моделирование финансового цикла промышленного предприятия.. 55
- Тараканов О.В., Новиков Е.И.* Модель краткосрочного прогнозирования этноконфессиональной напряженности в субъектах РФ..... 60
- Гребельный А.В.* Оценка поставщиков на основе логистического подхода с использованием информационных технологий..... 69

##### **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

- Аралбаев Т.З., Галимов Р.Р.* Многопараметрическая оптимизация распределенной системы мониторинга технологических объектов на этапах проектирования и эксплуатации..... 74
- Корсунов Н.И., Корсунова Е.В., Михелева М.В.* Выделение максимума долевой энергии информационного сигнала для управления вращающейся мельницей помола..... 81
- Суздальцев А.И., Багров В.В.* Математические основы автоматизации процесса изготовления формовочных смесей для литейных форм при производстве чугуна..... 88
- Ивацук О.А.* Автоматизация как основа реализации принципов современной системы управления экологической безопасностью..... 95

##### **ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ**

- Офицеров А.И., Еременко В.Т.* Оценка эффективности работы маршрутизаторов в сетях передачи данных предприятий..... 105

<i>Федоренко В.В., Винограденко А.М. Решение задач мультиплексирования и сглаживания телеметрической информации с помощью локально-полиномиальных моделей измеряемых процессов.....</i>	<b>112</b>
---	------------

***ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ***

<i>Волостных Л.В. Методика оценки защищенности средств обнаружения нарушителя объектов телекоммуникационных систем от вскрытия.....</i>	<b>118</b>
---	------------

---

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

УДК 004.78:656.13

С.В. БЕЛОКУРОВ, В.П. БЕЛОКУРОВ,  
Р.А. КОРАБЛЕВ, Р.А. СПОДАРЕВ

**АЛГОРИТМ ПОИСКА ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ  
ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ**

*Стратегическое планирование транспортных процессов является многоцелевой задачей. В ее реализации наиболее важным является математическая возможность сравнения нескольких сценариев развития транспортных процессов и получения количественного и качественного прогноза по каждому из них. Для этого предложен и теоретически обоснован эффективный алгоритм поиска на множестве Парето большой мощности.*

***Ключевые слова:** моделирование; векторные схемы; транспортные системы; оптимизация; множество; теория выбора; алгоритм; транспортные потоки.*

*Securing the safety of transport movement is considered as many-aim task. The main question in this task is mathematical opportunity to compare several variants of developing transport process and get qualitative and quantitative analyze on each question. For this task we use and theoretically developed algorithm of searching of a number of cycles of Pareto of a large capacity.*

***Keywords:** modeling; vector schemes; transport system; optimization; great number; theory of choicing; algorithm; transport net.*

Стратегическое планирование процессов функционирования дорожно-транспортных систем представляет собой одну из самых значимых и сложных задач. Транспортная система представляет собой сложную организационно-техническую систему со сложно прогнозируемым поведением. При использовании системного подхода в работе транспорта необходимо не только решение многоцелевых транспортных задач, но и целесообразное использование математического аппарата, в котором появляется возможность сравнивать несколько сценариев развития транспортных проблем, в результате чего получаем количественный и качественный прогноз по каждому направлению. Последнее позволяет воспользоваться единственным оптимальным вариантом выбора при принятии безошибочного решения.

Целью данной работы является разработка алгоритма анализа и отсева решений для многоцелевых оптимизационных транспортных задач.

Методы и модели решения многоцелевых оптимизационных транспортных задач, как правило, описываются достаточно большим количеством качественных и количественных признаков, наличием сложных зависимостей между ними. Моделирование и оптимизация параметров и режимов на всех этапах жизненного цикла и на всех уровнях организации, функционирования и управления таких систем представляет собой трудоемкую задачу большой размерности.

Так, например, при выборе и распределении автотранспортных средств (АТС) по маршрутной транспортной улично-дорожной сети (УДС), как правило, преследуется множество разных целей. Такие многоцелевые задачи достаточно сложны в реализации. Одним из путей решения таких задач является привлечение эффективного аппарата многокритериальной оптимизации (МКО).

Численная реализация моделей МКО – трудоемкая и кропотливая работа, связанная со значительным объемом вычислений, требующая больших временных затрат, использования громоздких численных схем. Существующее математическое обеспечение характеризуется узкой направленностью, связанной с конкретной предметной областью и жестко заложенными численными схемами и алгоритмами и, как правило, основано на случайном выборе или различных способах дискретизации [1-8]. При этом нет объективных обоснований, почему был сделан выбор той или иной части множества вариантов.

В связи с вышесказанным, целью данной работы являлась разработка алгоритма выбора решений на множестве Парето большой мощности, позволяющего эффективно проводить анализ и отсев недоминируемых вариантов решений без потери качества и обладающего высокой скоростью поиска при относительной простоте реализации.

Независимо от исходной области поиска (дискретной или непрерывной), на итерациях поиска получается дискретный набор недоминируемых вариантов решения задачи  $X$ . Определим на нем значения критериальных функций  $y_i = q_i(x)$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Через  $y_i^j$  обозначим значение  $i$ -й критериальной функции в точке  $x^j = (x_1^j, x_2^j, \dots, x_n^j)$  ( $j = \overline{1, n}$ ). Будем считать, что  $(y_1^j, y_2^j, \dots, y_n^j) = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_n^k)$  тогда и только тогда, когда  $j = k$ . Пронумеруем числа  $y_i^j$  ( $j = \overline{1, p}$ ) в порядке убывания. Если при этом встретятся равные, то нумеруем их в порядке убывания следующей координаты. Если  $(n-1)$  координата двух точек совпадает, то выводим из рассмотрения точку, имеющую меньшую  $n$ -ю координату. Аналогично нумеруем последующие координаты  $y_i^j$  ( $j = \overline{1, n}$ ).

В результате такого отображения мы поставили в соответствие точкам множества допустимых оценок  $Y$ , множество  $\{k\}$  – точек с координатами  $(k^1, k^2, \dots, k^n)$ , каждая из которых принимает целое значение из интервала  $[1, \dots, p]$ . При этом в каждой из гиперплоскостей размерности  $n-1$ , параллельных координатным, лежит одна и только одна из точек этого множества. Множество лежит в  $n$ -мерном кубе размером  $(p-1) \times (p-1) \times \dots \times (p-1)$ .

В силу построения любая точка множества  $\{k\}$  лежит на пересечении  $n$  гиперплоскостей размерности  $n-1$ , параллельных координатным гиперплоскостям и проходящим через точки  $(k^1, k^2, \dots, k^n)$ . По той же причине из  $(y_1^i, y_2^i, \dots, y_n^i) \geq (y_1^j, y_2^j, \dots, y_n^j)$  следует, что  $(k_i^1, k_i^2, \dots, k_i^n) \leq (k_j^1, k_j^2, \dots, k_j^n)$ , а значит, выделение точек, оптимальных по Парето, на множестве значений критериев оптимизации  $Y$  эквивалентно аналогичной операции в множестве  $\{k\}$ , только в смысле сравнения  $\leq$ .

**Теорема 1.** Для того, чтобы точка множества  $\{k\}$  принадлежала множеству Парето, необходимо, чтобы ее координаты удовлетворяли условию:  $(n-1)p + 1 \geq k_i^1 + k_i^2 + \dots + k_i^n$ .



Доказательство:

Предположим противное. Пусть точка, оптимальная по Парето, удовлетворяет условию  $(n-1)p+1 < k_i^1 + k_i^2 + \dots + k_i^n$ . Тогда в ортанте с вершиной  $(k_i^1, k_i^2, \dots, k_i^n; i = \overline{1, p})$  нет точек множества  $\{k\}$ . Эти точки будут лежать в гиперплоскостях размерности  $n-1$ , не пересекающих данный ортант. Подсчитаем число таких гиперплоскостей.

Ими являются гиперплоскости, параллельные координатным. Их будет  $(n-1)p - k_i^1 - k_i^2 - \dots - k_i^n$ . По условию  $(n-1)p - k_i^1 - k_i^2 - \dots - k_i^n < k_i^1 - 1$ , т.е. внутри описанного выше ортанта будут лежать точки множества  $\{k\}$ , значит, точка  $(k_i^1, k_i^2, \dots, k_i^n)$  не является оптимальной по Парето. Полученное противоречие доказывает теорему.

**Теорема 2.** Точки множества  $\{k\}$ :  $(k_i^1, k_i^2, \dots, k_i^n)$  и  $(k_j^1, k_j^2, \dots, k_j^n)$ , удовлетворяющие условию  $\sum_{i=1}^n k_i^l > \sum_{i=1}^n k_j^l$ , являются оптимальными по Парето.

Доказательство:

Если точки не конфликтуют, то  $k_i^l \geq k_j^l (l = \overline{1, n})$ . Сложив эти неравенства, получим:

$$\sum_{i=1}^n k_i^l > \sum_{i=1}^n k_j^l,$$

что противоречит условию теоремы.

**Теорема 3.** Если точка множества  $\{k\}$  удовлетворяет условию:  $\sum_{i=1}^n k^i = S$ , где  $S$  – сумма координат, то точки хуже данной обладают свойством  $\sum_{i=1}^n \tilde{k}^i \geq S - n$ .

Доказательство:

Из теоремы 2 следует, что точки, имеющие сумму координат, равную  $S$ , конфликтуют с данной. Если данная точка с координатами  $k^i (i = \overline{1, n})$  лучше точки с координатами  $\tilde{k}^i (i = \overline{1, n})$ , то  $\tilde{k}^i > k^i$  или  $\tilde{k}^i \geq k^i (i = \overline{1, n})$ . Сложив эти неравенства, получим:  $\sum_{i=1}^n \tilde{k}^i \geq \sum_{i=1}^n k^i - n$ , а так как  $\sum_{i=1}^n k^i = S$ , то условие теоремы выполнено.

### Алгоритм построения множества Парето.

1. Описанным выше способом строим множество  $\{k\}$ , эквивалентное множеству  $Y$  допустимых оценок. При этом каждую из координат упорядочиваем методом деления отрезка пополам.

2. Каждой точке множества  $\{k\}$  ставим в соответствие последовательность счетчиков  $\{c_i = 0\} (i = \overline{1, p})$ .

3. Отбросим точки, не удовлетворяющие условию теоремы 1. При каждом отбрасывании координаты точек множества  $\{k\}$ , большие соответствующей координаты отбрасываемой точки уменьшаются на единицу, на столько же уменьшится и соответствующая сумма.

4. У точки лучше отбрасываемой сумма координат не изменится, хотя число  $p$  уменьшится на единицу; а у конфликтующей точки сумма координат уменьшится не более, чем на  $n-1$ , хотя левая часть неравенства уменьшится на  $n-1$ , так как:  $(n-1)p+1-[(n-1)(p-1)+1]=n-1$ .

**Введем утверждение.** Точки лучшие или конфликтующие с отбрасываемой, лежащие выше границы точек, оптимальных по Парето, никогда не перейдут этой границы.

Доказательство:

Докажем это свойство для худших, чем отбрасываемая, точек. Так как точка  $k_j$  отбрасывается, то имеет место неравенство:

$$(n-1)p+1 < \sum_{l=1}^n k_j^l. \quad (1)$$

Так как точка  $k_j$  хуже отбрасываемой, то  $k_i^l > k_j^l$ ,  $l = \overline{1, n}$  или  $k_i^l \geq k_j^l + 1$ ,  $l = \overline{1, n}$ .

Сложив неравенства, получим:  $\sum_{l=1}^n k_i^l + n \leq \sum_{l=1}^n k_j^l$ . При отбрасывании точки  $k_j$  координаты точки  $k_i$  уменьшаются на единицу, т.е. после отбрасывания для ее суммы имеет место неравенство:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (k_i^l - 1) &= \sum_{l=1}^n k_i^l - n \geq \sum_{l=1}^n k_j^l + n - n = \\ &= \sum_{l=1}^n k_j^l > (n-1)p+1 > (n-1)(p-1)+1 \end{aligned}$$

что и требовалось доказать.

5. Таким образом, при отбрасывании точки, для которой выполнено неравенство  $(n-1)p+1 < \sum_{l=1}^n k_i^l$ , точки, обладающие таким же свойством, не перейдут через границу точек, оптимальных по Парето. После того, как все точки будут удовлетворять условию теоремы 1, упорядочим последовательность сумм координат оставшихся точек. Точки, имеющие минимальную сумму, а также сумму, отличающуюся не более чем на  $n-1$ , в силу теоремы 2 и 3 оптимальны по Парето. Запоминаем их и выводим из рассмотрения, уменьшая описанным выше способом координаты и суммы координат остающихся точек.

6. При каждом уменьшении координаты некоторой точки увеличиваем на единицу соответствующий ей счетчик. Если у точки счетчик окажется равным  $n$ , то ее также отбрасываем, прежде чем приступить к выводу из рассмотрения очередной точки, оптимальной по Парето.

7. Далее процесс повторяется до тех пор, пока оставшиеся точки будут иметь суммы, отличающиеся от минимальной не более чем на  $n-1$ , и удовлетворять условию  $(n-1)p_k+1 \geq \sum_{l=1}^n k_i^l$ , где  $p_k$  – число оставшихся точек.

**Алгоритм выделения множества Парето при  $n=2$ .**

1. Описанным выше способом строим множество  $(n, k)$ , эквивалентное множеству  $Y$  допустимых оценок. При этом упорядочивание по каждой из двух координат можно проводить, например, методом деления отрезка пополам.

2. Каждой точке множества  $(n, k)$  ставим в соответствие последовательность сумм координат  $(n+k)$ . Если все  $n+k = p+1$ , то любая точка множества  $(n, k)$ , а значит, и множества  $Y$  оптимальна по Парето. В противном случае, в силу теоремы 4 существует по крайней мере одна точка, удовлетворяющая условию  $p+1 < n+k$ . Пусть эта точка  $(n_i, k_i)$ . Отбрасываем ее.

3. Тогда точки с координатами  $n > n_i$  или  $k > k_i$  будут иметь координаты  $n-1$  или  $k-1$ . Каждое уменьшение координаты приводит к соответствующему уменьшению суммы координат.

Число  $p$  заменяется на  $p_1 = p-1$ . Заметим, что если некоторая точка  $(n, k)$  лучше отбрасываемой, то ее сумма координат останется прежней, хотя число  $p+1$  в неравенстве (1) заменится на  $p_1+1 = p$ . Если точка  $(n, k)$  хуже отбрасываемой, то ее сумма координат уменьшится на 2; если же точка  $(n, k)$  конфликтует с отбрасываемой, то неравенство (1) сохранится.

4. Отсюда следует, что точки, лучшие или конфликтующие по отношению к отбрасываемой и не являющиеся оптимальными по Парето, будут на некотором шаге отброшены. Остается показать, что ни одна из худших точек по отношению к отбрасываемой на любом  $u$ -том шаге не достигнет границы  $p_u+1 \geq n+k$ . Действительно, если мы отбрасываем точку  $(n_i, k_i)$ , то имеет место неравенство:  $p_{u-1}+1 < n_i+k_i$  или  $p_{u-1}+2 < n_i+k_i$ .

Так как точка  $(n_j, k_j)$  хуже точки  $(n_i, k_i)$ , то имеют место неравенства:

$$\begin{cases} n_i < n_j; & n_i + 1 \leq n_j; \\ k_i < k_j; & k_i + 1 \leq k_j. \end{cases}$$

При отбрасывании лучшей точки у худшей сумма координат уменьшается на 2, новая сумма координат точки  $(n_j, k_j)$  равна  $(n_j+k_j-2)$ , при этом, однако,  $n_j+k_j-2 \geq (n_j+1) + (k_j+1) - 2 = n_i + k_i \geq p_{u-1}+2$ .

Так как  $p_{u-1} = p_u + 1$ , то  $n_j + k_j - 2 \geq p_u + 3$ ,

или окончательно  $n_j + k_j - 2 \geq p_u + 3$ .

5. Таким образом, процесс отбрасывания худших точек продолжается до тех пор, пока не останется точек, удовлетворяющих условию  $p_k+1 < n+k$ . Тогда все оставшиеся точки в силу теоремы 4 будут оптимальны по Парето.

**Замечание:**

В силу теоремы 3 предложенный метод увеличивает скорость отыскания точек, оптимальных по Парето, для задач МКО большой мощности.

**Теорема 4.** Если на множестве точек  $(n, k)$  нет по крайней мере одной точки, удовлетворяющей условию  $p+1 < n+k$ , то все точки множества  $(n, k)$  оптимальны по Парето.

*Доказательство:*

Пусть условие теоремы выполнено. Тогда на прямой  $z_1 = p$  лежит точка  $(p, k)$ , но координата  $k$  должна удовлетворять условию  $p+1 \geq p+k$  или  $1 \geq k$ .

Это единственная точка. На прямой  $z_1 = p-1$  лежит точка  $(p-1, k)$ , удовлетворяющая условию  $p+1 \geq p-1+k$  или  $2 \geq k$ , но прямая  $z_2 = 1$  уже задействована, значит, это единственная точка  $(p-1, 2)$ . Продолжая рассуждения для прямой  $z_1 = p-s$  ( $0 \leq s \leq p-1$ ), получим единственную точку  $(p-s, s+1)$ .

Тогда на прямой  $z_1 = p-s-1$  лежит точка  $(p-s-1, k)$ , удовлетворяющая условию  $p+1 \geq p-s-1+k$  или  $s+2 \geq k$ , где  $k$  может быть равно только  $s+2$ . Все  $p$  точек будут иметь координаты  $(p-s, s+1)$  ( $0 \leq s \leq p-1$ ) и удовлетворять условию  $n+k = p-s+s+1 = p+1$ . В силу предыдущей теоремы они конфликтуют. Теорема доказана.

Проведенный машинный эксперимент и теоретические построения [2-4] подтверждают адекватность построения данного алгоритма, причем скорость поиска на множестве Парето большой мощности существенно выше, без потери качества решения, по сравнению с аналогами.

Используя предложенный выше подход к обеспечению БДД на транспортной УДС, можно укрупненно определить последовательность его реализации. Он должен включать следующих три основных уровня. Решение на этапе синтеза системы обеспечения БДД. Решение на этапе реализации обеспечения БДД на транспортной УДС в результате использования алгоритма выбора решений на множестве Парето большой мощности, который позволяет эффективно проводить анализ и отсеивать недоминирующих вариантов решений без потери качества с высокой скоростью поиска и относительно простой реализацией при получении окончательно согласованного решения общей ресурсной задачи в условиях замещения, векторной оценки и конфликта цели, критериев, стратегий и ресурсов. Третий уровень используется для накопления всех полученных ранее результатов решения частных задач и тем самым для формирования общего множества решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вилкас Э.И. Оптимальность в играх и решениях. – М: Наука. – 1990. – 256 с.
2. Белокуров С.В., Сербулов Ю.С., Бугаев Ю.В. Модели выбора недоминируемых вариантов в численных схемах многокритериальной оптимизации. – Воронеж: Научная книга. – 2005. – 199 с.
3. Белокуров С.В., Величко С.В., Соловей Д.Е. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации. – Воронеж: Воронежский гос. университет. – 2004. – 96 с.
4. Белокуров С.В., Заряев А.В. Модели выбора в задачах многокритериальной оптимизации / Применение информационных технологий для решения прикладных задач: Межвузовский сб. науч. тр. – Воронеж: ВИ МВД России. – 2002. – С. 54-59.
5. Белокуров С.В., Сысоев В.В. Классификация ситуаций выбора и анализ способов формализации численных векторных схем / Компьютерные технологии автоматизированного проектирования систем машиностроения и аэрокосмической техники: Сб. науч. тр. – Воронеж, ВГТУ. – 2002. – С. 76-81.
6. Белокуров С.В., Сумин В.И., Питолин М.В. Задача выбора оптимальных вариантов на основе вероятностного подхода / Вестник ВГТУ. – Сер. Радиоэлектроника и системы связи. – 2006. – № 7. – С. 59-62.
7. Белокуров С.В., Кононова А.В. Математические модели в условиях динамики рыночной транспортной среды / Экономика и производство. – 2007. – № 1. – С. 20-23.
8. Wan Y.N. On the algebraic criteria for Pareto optima. – Topology. – 1977. – № 16. – P. 35-43.

**Белокуров Сергей Владимирович**

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж  
Кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Информационно-техническое обеспечение»  
Тел.: (4732) 56-07-10  
E-mail: [bsvlabs@mail.ru](mailto:bsvlabs@mail.ru)

**Белокуров Владимир Петрович**

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж  
Доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Организация перевозок и безопасность движения»  
Тел.: (4732) 53-61-78  
E-mail: [opbd\\_vglta@mail.ru](mailto:opbd_vglta@mail.ru)

**Кораблев Руслан Александрович**

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж  
Кандидат сельскохозяйственных наук,  
ассистент кафедры «Организация перевозок и безопасность движения»  
Тел.: (4732) 53-61-78  
E-mail: [opbd\\_vglta@mail.ru](mailto:opbd_vglta@mail.ru)

**Сподарев Руслан Александрович**

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж  
Аспирант кафедры «Организация перевозок и безопасность движения»  
Тел.: (4732) 53-61-78  
E-mail: [opbd\\_vglta@mail.ru](mailto:opbd_vglta@mail.ru)

УДК 519.1:681.3

Р.И. ПОДЛОВЧЕНКО, В.Е. ХАЧАТРЯН

**РАЗРЕШИМОСТЬ ПРОБЛЕМЫ  
ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ  
В ОДНОМ МНОЖЕСТВЕ ДВУХЛЕНТОЧНЫХ АВТОМАТОВ  
И ПОСТРОЕНИЕ ВСЕХ МИНИМАЛЬНЫХ АВТОМАТОВ  
В ЭТОМ МНОЖЕСТВЕ**

*Для одного множества бинарных двухленточных автоматов разработана полная система эквивалентных преобразований. По заданному автомату этого множества с использованием полученных преобразований строятся все минимальные по числу состояний, ему эквивалентные.*

**Ключевые слова:** *детерминированный бинарный двухленточный автомат; проблема минимизации; эквивалентные преобразования; полная система преобразований; фрагмент автомата.*

*The summary is developed for one set of binary two-tape automatic devices full system of equivalent transformations. On the set automatic device of this set, with use of the received transformations, are under construction all minimal on number of conditions to it equivalent.*

**Keywords:** *deterministic two type binary automata; problem of minimization; equivalent transformations; full system of transformations; a fragment of the automatic device.*

Нами рассматриваются такие модели последовательных вычислений, как многоленточные автоматы. Они введены в [1] и представляют собой обобщение конечных автоматов, принимающих регулярные языки над некоторым алфавитом. Обобщение состоит в переходе от одной ленты, несущей информацию для работы автомата, к нескольким лентам.

Функциональные свойства многоленточных автоматов принципиально отличны от функциональных свойств обычных конечных автоматов. Отметим те из них, которые привели к рассматриваемой нами задаче. Это, во-первых, – существование классов эквивалентности в многоленточных автоматах, содержащих более одного минимального по числу состояний автомата, и, во-вторых, – существование классов эквивалентности с бесконечным числом тупиковых автоматов. Тупиковым называется автомат, не имеющий различных и эквивалентных состояний, и свойство тупиковости является необходимым для минимального автомата. Отмечаемые свойства многоленточных автоматов проявляются уже в случае, когда они используют всего две ленты.

Рассматриваемая нами задача состоит в следующем: выделить множество двухленточных автоматов, обладающих отмеченными свойствами, и для каждого класса эквивалентности таких автоматов построить процедуру отыскания в нем всех минимальных по размеру автоматов, т.е. решить так называемую обобщенную проблему минимизации.

Вначале займемся описанием изучаемого нами множества двухленточных автоматов и описанием средств их исследования, после чего перейдем к изложению стратегии исследований.

Мы ограничиваемся рассмотрением бинарных детерминированных двухленточных автоматов, построенных над алфавитами  $\{0,1\}$  и определенных в [2]. Опишем выделенное нами множество  $M$  таких автоматов.

Структура автомата из  $M$  представляет собой конечный ориентированный граф, вершины которого называются состояниями. Среди них обязательно присутствуют три выделенных состояния: инициальное, финальное и мертвое. Инициальное состояние не имеет заходящих в него дуг, финальное и мертвое – исходящих из них дуг. Любое состояние, кроме мертвого, помечается либо символом  $p$  и называется  $p$ -состоянием, либо символом  $q$ , и тогда называется  $q$ -состоянием. Из каждого состояния, кроме финального и мертвого, исходят две дуги, помеченные числами 1 и 0 соответственно. Из любого  $q$ -состояния дуга с меткой 1 ведет в мертвое состояние. Всякое состояние автомата, кроме мертвого, находится на ориентированном пути из инициального состояния в финальное, этот путь называется путем через автомат.

Произвольному пути через автомат сопоставляется упорядоченная пара цепочек из 0 и 1; первая цепочка строится выписыванием меток дуг, исходящих из  $p$ -состояний, при просмотре их в пути от его начала к концу; вторая цепочка получается аналогичным способом при просмотре  $q$ -состояний, принадлежащих пути.

Два автомата из  $M$ , по определению, *эквивалентны*, если для любого пути через один из них существует путь через другой, характеризующийся той же парой цепочек, что и первый.

Нами показано, что множество  $M$ , несмотря на явную близость его автоматов обычным конечным автоматам, уже обладает отмеченными выше функциональными свойствами.

Итак, к решению проблемы минимизации в  $M$ . Используемые при этом средства заключаются во фрагментных эквивалентных преобразованиях автоматов. Поясним, что это такое (подробное описание дается в [3]).

*Фрагментом* автомата из  $M$  называется его подграф, порожденный некоторым множеством его состояний и всеми инцидентными им дугами; состояния и дуги наследуют метки, присвоенные им в автомате. Связь фрагмента с остальной частью автомата задается множеством *приходящих в него дуг* из состояний, не принадлежащих фрагменту, и множеством *исходящих из него дуг*, ведущих в состояния, ему не принадлежащие.

Наложением определенных требований на приходящие и исходящие дуги двух фрагментов определяется операция подстановки вместо одного из них другого, транслирующая исходный автомат в автомат из  $M$ . Эта операция называется *фрагментным преобразованием*. Последнее называется *эквивалентным*, если полученный автомат эквивалентен исходному.

Фрагменты, допускающие операцию подстановки, считаются эквивалентными, если индуцируемое ими фрагментное преобразование всегда является эквивалентным.

Прежде всего, нами доказана теорема 1 (см. [3]).

**Теорема 1.** Существует система фрагментных эквивалентных преобразований автоматов, полная в  $M$ .

Под *полнотой системы* понимается следующее её свойство: какими бы ни были два эквивалентных автомата из  $M$ , существует конечная цепочка эквивалентных



преобразований, принадлежащих этой системе, транслирующая один автомат в другой.

Построение полной системы в  $M$  – это решение в  $M$  проблемы эквивалентных преобразований. Предложенная теоремой 1 система (обозначим её  $T$ ) индуцируется двумя разрешимыми множествами, состоящими из пар эквивалентных фрагментов; эти множества именуется аксиомами  $B1$  и  $B2$ . Кратко опишем их (строгое описание даётся в [3]).

Пусть  $F_1, F_2$  – пара фрагментов из  $B1$ . Фрагмент  $F_2$  получается из  $F1$  склейкой эквивалентных состояний автомата, принадлежащих фрагменту  $F1$ ; соответственно  $F1$  получается из  $F2$  расклейкой таких состояний. Отношение эквивалентности состояний автомата из  $M$  вводится подобно тому, как определяется эквивалентность состояний обычных конечных автоматов.

Пара фрагментов  $F_1, F_2$ , принадлежащих аксиоме  $B2$ , описана на рисунке 1. В них подвергающиеся переносу  $q$ -состояния изображены явно, а двойными стрелками изображены множества приходящих и исходящих дуг.

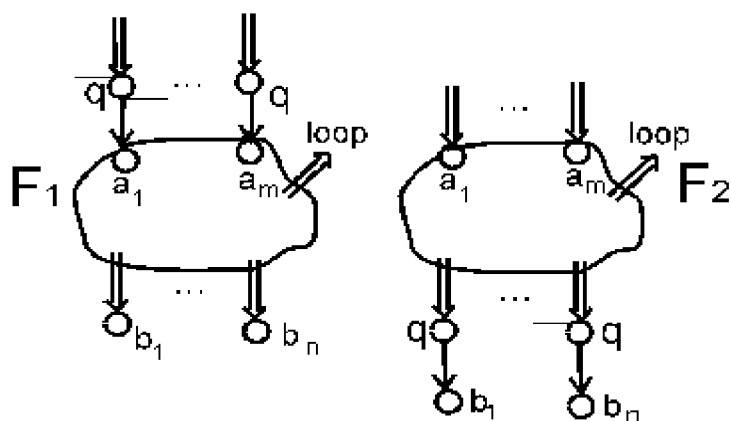


Рисунок 1 – Пара фрагментов  $F1, F2$ , принадлежащих аксиоме  $B2$

Доказательство теоремы 1 проводится традиционным образом, а именно: построением в каждом классе эквивалентности, принадлежащим множеству  $M$ , единственного (с точностью до изоморфизма) его представителя. Он называется каноническим автоматом в своем классе эквивалентности.

Результатом следующего этапа исследований является теорема 2.

**Теорема 2.** Проблема минимизации в множестве  $M$  сводится к проблеме минимизации в его подмножестве  $M^*$ , состоящим из автоматов, которые имеют как  $r$ -состояния, так и  $q$ -состояния.

При доказательстве её используются система  $T$  и факты, установленные при её построении.

На основании теоремы 2 далее проблема минимизации рассматривается в множестве  $M^*$ .

Перейдем к описанию стратегии её решения.

Зададимся некоторым автоматом  $A$  из  $M^*$  и обозначим  $K$  класс эквивалентности в  $M^*$ , содержащий автомат  $A$ . Из теоремы 1 следует:

**Утверждение 1.** Существует алгоритм, который по автомату  $A$  строит эквивалентный ему канонический автомат в  $K$ .

Вместе с тем, как установлено на примере, верно:

**Утверждение 2.** Канонический автомат в классе эквивалентности в  $M^*$ , в общем случае не является минимальным в нём.

Поскольку, кроме построенного в  $K$  канонического автомата, мы не располагаем другими данными, поиск минимальных в  $K$  автоматов начинается исследованием канонического.

Очевидно, что для начала целесообразно поискать их в таком подклассе класса  $K$ , все автоматы которого сохраняют число  $p$ -состояний канонического автомата, ибо уменьшение его размеров (средствами системы  $T$ ) возможно только за счет сокращения числа  $q$ -состояний.

Это соображение приводит к важному решению: разбить класс  $K$  на подклассы автоматов, имеющих одну и ту же  $p$ -проекцию; последнее строится по любому автомату из  $K$  алгоритмом, который корректным образом устраняет из автомата  $q$ -состояния. Эти подклассы именуется *срезами класса  $K$* . Срез, которому принадлежит канонический в  $K$  автомат, назван *главным*.

В первую очередь, проблема минимизации рассматривается в главном срезе класса  $K$ .

Для этого вводится понятие  $s$ -фрагмента, как фрагмента специального вида, принадлежащего произвольному автомату из  $M^*$ . Доказывается:

**Утверждение 3.** Существует алгоритм, выявляющий в автомате из  $M^*$  все принадлежащие ему  $s$ -фрагменты.

Сами  $s$ -фрагменты классифицируются по признаку: транслируется ли  $s$ -фрагмент преобразованиями из  $T$  во фрагмент с уменьшенным числом  $q$ -состояний, или он транслируется во фрагмент с тем же числом  $q$ -состояний; при трансляции требуется, чтобы  $p$ -проекция автомата, содержащего исходный  $s$ -фрагмент, сохранялась. Требуемую трансляцию осуществляет цепочка преобразований из  $T$ , называемая  *$\varphi$ -преобразованием*.

В первом случае  $\varphi$ -преобразование называется *успешным*, а во втором – *устойчивым*.

Кропотливым исследованием доказана:

**Лемма 1.** В каноническом автомате любая каноническая цепочка его  $\varphi$ -преобразований трансформирует автомат в тупиковый.

Отталкиваясь от леммы 1, установлены лемма 2 и 3.

**Лемма 2.** Существует алгоритм, который успешными  $\varphi$ -преобразованиями трансформирует канонический автомат в  $K$  в минимальный автомат в главном срезе.

Последний автомат назван *основным автоматом в  $K$* .

**Лемма 3.** Все минимальные автоматы в главном срезе класса  $K$  эффективно строятся из основного устойчивыми  $\varphi$ -преобразованиями.

В итоге исследования главного среза класса  $K$  приводят к теореме 3.

**Теорема 3.** Существует алгоритм, который по каноническому в  $K$  автомату строит все минимальные автоматы в главном срезе класса  $K$ .

Однако исследования проблемы минимизации этим не завершаются, ибо найден пример, из которого следует:

**Утверждение 4.** Основной автомат в  $K$ , в общем случае, не является минимальным в  $K$ .

Это приводит к изучению срезов класса  $K$ , отличных от главного.

Прежде всего, доказываемся:

**Утверждение 5.** Каким бы ни был срез класса  $K$ , преобразованиями основного автомата, принадлежащими системе  $T$ , можно построить автомат из этого среза.

Поскольку нам известны размеры основного автомата, это налагает ограничение на размеры  $p$ -проекций срезов, подлежащих исследованию при поиске минимальных в  $K$  автоматов. Число испытываемых срезов конечно, назовем их *допустимыми*.

Однако среди таких срезов имеются срезы, не содержащие тупиковых автоматов вообще, а минимальные автоматы – это тупиковые автоматы. В связи с этим доказываемся:

**Лемма 4.** Существует алгоритм, которым основной в  $K$  автомат транслируется средствами системы  $T$  в автоматы, принадлежащие только допустимым срезам с тупиковыми автоматами, и всем таким срезам.

Этот алгоритм, будучи применен к основному в  $K$  автомату, строит тупиковые автоматы в допустимых срезах. Отдельный построенный тупиковый автомат играет в своем срезе ту же роль, что канонический автомат в главном срезе, а именно: если к нему неприменимы успешные  $\varphi$ -преобразования, то он и является минимальным в своем срезе; если они применимы, то транслируют его в минимальный, и как только построен один минимальный автомат, все остальные получаются из него устойчивыми  $\varphi$ -преобразованиями. Все это подтверждается строгими доказательствами.

Итог установленным фактам подводит:

**Теорема 4.** Существует алгоритм, который по произвольному автомату из  $M^*$  строит все минимальные по размеру автоматы в классе его эквивалентности; т.е. решает проблему минимизации в  $M^*$ .

Действительно, как оказалось, для решения проблемы минимизации достаточно, начиная с главного среза, просматривать допустимые срезы с тупиковыми автоматами (число этих срезов конечно) и отбирать минимальные по размеру автоматы.

Следствием теоремы 2 и 4 является разрешимость проблемы минимизации в  $M$ .

Все изложенные выше факты доказаны в статьях [3] и в работе авторов «Полное решение проблемы минимизации для одного множества бинарных двухленточных автоматов», которая будет опубликована в 2009 году в журнале «Дискретная математика»; при этом [3] завершается доказательством теоремы 3, а выше упомянутая работа посвящена исследованию срезов класса эквивалентности, отличных от главного.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 09-01-00277).*

ЛИТЕРАТУРА

1. Rabin M.O., Scott D. Finite automata and their decision problems // IBM J. Of Research and Development, 1959, 3, №2. p.p 114–125 (Русский перевод: Кибернетический сборник, 1962, №4, с. 58–91).
2. Bird M. The equivalence problem for deterministic two-tape automata // J.Comp.Syst.Sci. (1973), 7, №4, p.p. 218–236.
3. Подловченко Р.И., Хачатрян В.Е. Минимальность и тупиковость многоленточных автоматов // Дискретная математика, 2008. – № 2. – с. 92.–120.

**Подловченко Римма Ивановна**

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва  
Доктор физико-математических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник  
научно-исследовательского вычислительного центра  
Тел.: (495) 939-54-24  
E-mail: [rip@vsv.srcc.msu.su](mailto:rip@vsv.srcc.msu.su), [rip@parallel.ru](mailto:rip@parallel.ru)

**Хачатрян Владимир Ервандович**

Белгородский государственный университет, г. Белгород  
Доктор физико-математических наук,  
профессор, зав. кафедрой математического и программного обеспечения  
информационных систем  
Тел.: (4722) 30-13-53  
E-mail: [khachatryan@bsu.edu.ru](mailto:khachatryan@bsu.edu.ru)

В.В. КОМАШИНСКИЙ, С.В.МОЖИН

## АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА И ОБОСНОВАНИЯ ДОСТАТОЧНОСТИ ЧАСТНОГО МНОЖЕСТВА ПРИЗНАКОВ ИНДИВИДУАЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ЧЕЛОВЕК-ИВС»

*Предлагается адаптивный алгоритм выбора и обоснования достаточности частного множества признаков индивидуальности, обеспечивающий синтез системы распознавания для каждого нового легитимного пользователя на этапе обучения автоматизированной системы обнаружения атак.*

**Ключевые слова:** обнаружение атак; обнаружение аномального поведения; компьютерная безопасность.

*The adaptive algorithm of a choice and substantiation of sufficiency private set of signs of individuality providing synthesis recognition system for each new legitimate user at a grade level of the automated intrusion detection system is offered.*

**Keywords:** Intrusion detection; abnormal behavior detection; computer safety.

Любое правило решения, позволяющее оценивать степень аномальности поведения субъектов информационно-вычислительной сети (ИВС), функционирует с определенной степенью достоверности, которая определяется способностью субъектов точно воспроизводить эталонные значения параметров из профиля поведения при каждом сеансе работы. С целью обоснования достаточности обучающих выборок и множества параметров обнаружения требуется разработать средства расчета показателей качества функционирования системы обнаружения аномального поведения субъектов ИВС.

Качество сформированного критерия принятия решения полностью характеризуется вероятностями ошибочных решений, допускаемых системой обнаружения на этапе распознавания. Для двухальтернативной задачи выбора при числе классов  $K = 2$  сущность ошибок обнаружения заключаются в следующем. Пусть в результате обучения стали известны оценки условных плотностей вероятности случайной величины  $\mathbf{r}$  по двум гипотезам  $p(\mathbf{r}/H_0)$  и  $p(\mathbf{r}/H_1)$ , а  $p_n(\hat{\mathbf{E}}|H_k)$  – плотность распределения величины отношения правдоподобия  $L(\mathbf{r})$  в случае, когда контрольная выборка  $\mathbf{r}_n$  объема  $n$  принадлежит к классу  $H_k$ ,  $k = 0, 1$ . Тогда вероятность того, что будет принято решение  $H = H_0$  «Аномалия», когда на самом деле  $H = H_1$  поведение «Нормальное», определяется следующим выражением

$$P_{01} = \int_0^{\eta} p_n(L|H_1) dL, \quad (1)$$

где  $\eta$  – порог обнаружения и называется ошибкой первого рода или «ложной тревогой». Вероятность того, что будет принято решение  $H = H_1$  «Нормальное», когда на самом деле  $H = H_0$  поведение «Аномально», определяется выражением

$$P_{10} = \int_{\eta}^{\infty} p_n(L|H_0) dL, \quad (2)$$

и называется ошибкой второго рода – «пропуском цели» или «ошибкой обнаружения» [1]. Достоверность решений  $H = H_k$  определяется как вероятность  $P_{kk}$

принять правильное решение. При  $K = 2$  достоверности решений  $H_0$ ,  $H_1$  соответственно равны

$$P_{00} = 1 - P_{01}, P_{11} = 1 - P_{10}. \quad (3)$$

При этом на достоверности  $P_{00}$  и  $P_{11}$  накладывается очевидное ограничение

$$P_{00} + P_{11} > 1, \quad (4)$$

в противном случае можно предложить решающее правило, дающее не худшие достоверности, теоретически не требующие ни обучения, ни контрольных наблюдений. Доказательство данного свойства приведено в [1].

Как видно из выражений (1) и (2), ошибки принятия решения определяются размером площади функции условной плотности вероятности  $p(L/H_i)$  за порогом  $\eta$  в области гипотезы  $H_j$ , при  $i \neq j$ . Таким образом, надежность системы обнаружения определяется размером площади пересечения областей классов «Нормальное» и «Аномальное». Снижение вероятности ошибок первого и второго рода является взаимоисключаемой процедурой – уменьшение  $P_{01}$  возможно только за счет увеличения  $P_{10}$ , и наоборот. Минимизация же общей вероятности ошибки может быть достигнута лишь путем выбора высокоинформативных и некоррелированных параметров обнаружения  $\{N\}$ , обладающих минимальным пересечением распределений  $p(\mathbf{r}/H_0)$  и  $p(\mathbf{r}/H_1)$ , иначе минимальное  $P_{01}$  при минимальном  $P_{10}$  [2].

На практике требования к надежности процесса обнаружения атак формируются в виде максимально допустимых значений ошибок первого и второго рода  $P_{01mp}$  и  $P_{10mp}$ . При этом данные значения могут изменяться с течением времени в зависимости от условий функционирования системы защиты информации от НСД на определенном этапе, что требует оперативного определения значения порога  $\eta$  для заданных  $P_{01}$  и  $P_{10}$ . Таким образом, существует необходимость в реализации механизмов расчета порога принятия решения (ППР) на этапе обучения процедуры ОАП и последующем ее использовании при изменении условий функционирования СЗИ от НСД.

Поскольку основная цель системы обнаружения НСД заключается в оценке аномальности поведения пользователей, наибольший интерес для администратора безопасности представляет информация о вероятности отнесения нормального поведения пользователя к классу «Аномалия». Поэтому целесообразно характеризовать точность системы обнаружения НСД значениями вероятностей  $P_{00}$  и  $P_{10}$ . Таким образом, для оценки качества правила решения и множества контролируемых признаков предлагается использовать характеристику, отражающую зависимость  $P_{00}$  от  $P_{10}$  при изменении порога  $\eta$ , где

$$P_{00} = \int_{\eta}^{\infty} p(r|H_0)dr, \quad P_{10} = \int_{\eta}^{\infty} p(r|H_1)dr.$$

На рисунке 1 представлено семейство данных зависимостей для различных значений  $d$ , равных геометрическому расстоянию между образами в многомерном пространстве признаков распознавания. Значение  $d$  определяется эталонным профилем поведения пользователя и эталоном, описывающим гипотетический класс «Все чужие». Расстояние между образами  $d$  характеризует степень их разделимости [1]. При выбранном значении порога  $\eta$  значения интегралов (1) и (2) становятся определенными. Как видно из рисунка 1, при  $\eta = 0$   $\ln \eta = -\infty$  и решающее правило всегда выбирает гипотезу  $H_1$  «Свой»,  $P_{11} = 1$ . Следовательно,  $P_{01} = 0$  и  $P_{10} = 1$ . По мере

увеличения  $\eta$  вероятности  $P_{11}$  и  $P_{10}$  уменьшаются. Когда  $\eta = \infty$ , решающее правило всегда выбирает гипотезу  $H_0$  «Чужой», и  $P_{11} = P_{10} = 0$ . Таким образом, каждое значение порога  $\eta$  ставит в соответствие значение  $P_{11}$  к  $P_{10}$  и определяет рабочую точку для системы обнаружения.

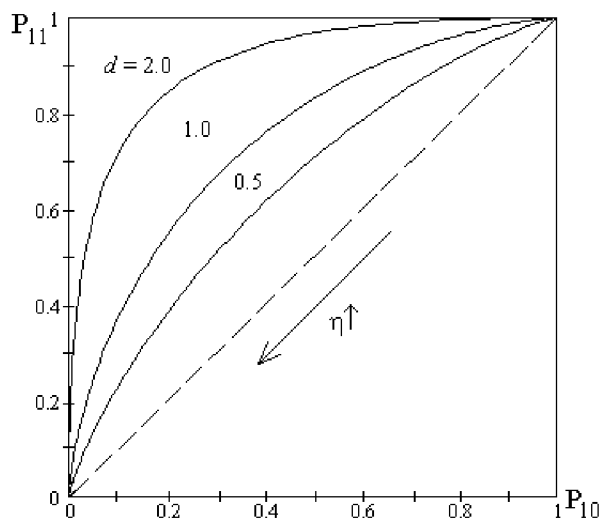


Рисунок 1 – Зависимость достоверности обнаружения аномального поведения от вероятности ошибочного обнаружения аномальности «Своих» при изменении  $\eta$  для различных  $d$

Изображенная на рисунке 1 зависимость называется рабочей характеристикой приемника (РХП) и обладает интересным свойством: тангенс угла наклона РХП в некоторой точке равен значению порога  $\eta$ , необходимого для достижения  $P_{00}$  и  $P_{10}$  в этой точке. При выбранном значении порога значения интегралов становятся определенными. Таким образом, рассчитав по результатам обучения РХП, администратор безопасности может оценить границы качества принимаемых решений, определить порог принятия решения для обеспечения заданного уровня ошибок первого и второго рода или изменить объемы обучающих выборок и набор параметров подлежащих контролю для каждого субъекта.

Таким образом, полное описание качества функционирования системы обнаружения было получено путем построения зависимости условных вероятностей попадания поведения множества пользователей  $\{P\}$  в класс «Свой» ( $P_{11}$  и  $P_{10}$ ) от порога  $\eta$ . Результирующая РХП используется для определения значения порога  $\eta$  для заданных  $P_{11mp}$  и  $P_{10mp}$ . Требуется разработать процедуру расчета  $P_{11}$  и  $P_{10}$  для каждого субъекта на основе анализа обучающей выборки данных аудита.

Адаптивный алгоритм выбора и обоснования достаточности частного множества признаков индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» на основе анализа РХП АСОА приведен на примере обучения системы обнаружения на параметры работы гипотетического легитимного пользователя ИВС. Перевод системы обнаружения в режим обучения может быть вызван одним из следующих факторов: изменением множества легитимных пользователей, изменением условий функционирования ИВС, сменой функциональных обязанностей пользователя. Блок-схема адаптивного алгоритма выбора и обоснования достаточности частного множества признаков индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» на основе анализа РХП АСОА приведена на рисунке 2.

На начальном этапе администратор безопасности задает файл с архивными данными аудита и осуществляет начальную настройку процесса обучения.



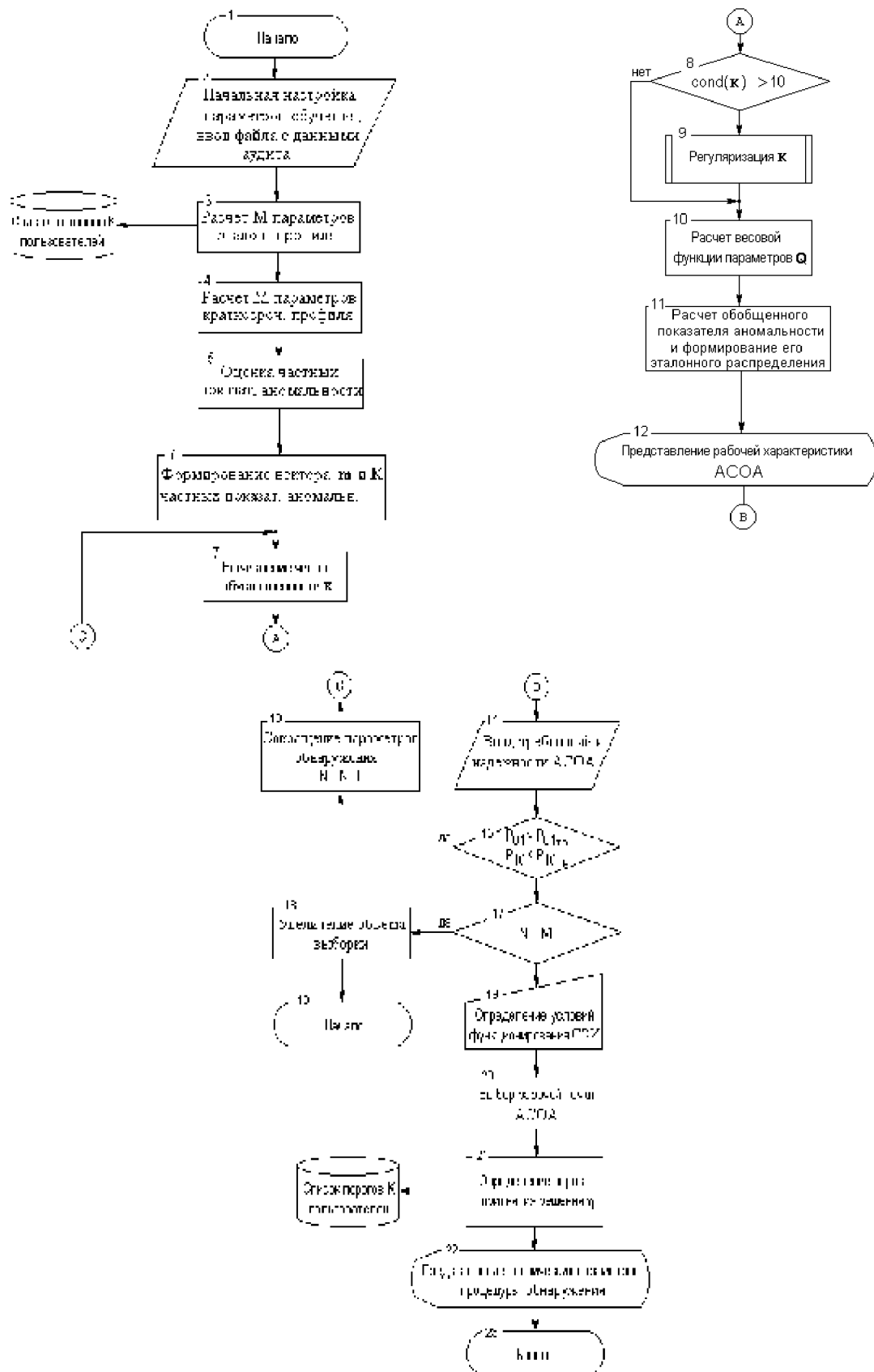


Рисунок 2 – Блок-схема адаптивного алгоритма выбора и обоснования достаточности частного множества признаков индивидуальности

В блоке 3 осуществляется формирование эталонных признаков, характеризующих долговременное поведение субъекта. Все признаки относятся к одному из двух классов: плотность распределения в номинальной шкале (категориальные признаки) и плотность распределения в относительной шкале (числовые признаки). Рассчитанные значения эталонного профиля долговременного поведения хранятся в базе эталонов и модернизируются «один раз в сутки».

В блоке 4 формируется профиль текущего поведения, который пересчитывается с «появлением» каждой новой записи, относящейся к данному пользователю. По окончании этапов формирования эталонного и текущего профилей в блоке 5 осуществляется оценка степени аномальности частных признаков обнаружения. А в блоке 6 формирование оценки максимального правдоподобия вектора средних  $\mathbf{m}$  и дисперсии  $\mathbf{K}$  данных параметров.

В блоке 8 определяется необходимость проведения дополнительного декоррелирующего преобразования вектора частных показателей аномальности параметров обнаружения с целью повышения устойчивости процедуры обращения матриц высокого порядка (в рассматриваемой тестовой ситуации ответ блока 8 позитивный), для чего в блоке 7 оценивается число обусловленности ковариационной матрицы дисперсии  $\mathbf{K}$ . Блок 9 непосредственно реализует процедуру декорреляции частных показателей аномальности, после чего в блоке 10 осуществляется расчет весовой матрицы параметров  $\mathbf{Q}=\mathbf{K}^{-1}$ . В блоке 11 рассчитывается обобщенный показатель аномальности поведения субъекта по формуле:

$$D = (\mathbf{S} - \mathbf{m})^T \mathbf{Q} (\mathbf{S} - \mathbf{m}). \quad (5)$$

Эта мера позволяет измерить расстояние от центра гиперэллипса эталона до предъявленного вектора параметров с учетом взаимных ковариаций параметров. Кроме того, в блоке 11 формируется эталонное распределение обобщенного показателя аномальности – оценки условной плотности вероятности случайной величины  $r$  по гипотезе  $p(r/H_1)$ , и на ее основе рассчитывается РХП. Результат расчета представляется путем вывода графического представления РХП на дисплей в блоке 12. Полученная таким образом зависимость характеризует надежность процесса ОАПП на основе анализа полного множества параметров обнаружения  $\{M\}$ . На этом завершается этап формирования РХП.

На следующем шаге на основе полученных выше данных осуществляется формирование рабочего алфавита параметров обнаружения  $\{N\}$ . Для этого посредством блока 14 осуществляется ввод требований к надежности процедуры ОАПП ( $P_{01тр}$   $P_{10тр}$ ) и формируется рабочая зона допустимых значений РХП. В рамках данной зоны возможно сокращение параметров обнаружения только за счет снижения надежности АСОА. В блоке 15 проверяется данное условие, при этом, если вероятности ошибок обнаружения меньше требуемых значений  $P_{01}$  и  $P_{10}$ , управление передается в блок 13, где осуществляется сокращение исходного множества  $\{M\}$  путем удаления параметра, обладающего наибольшей дисперсией. В результате полученное множество  $\{N\}$  передается в блок 7 для запуска нового цикла расчета РХП.

Вместе с тем возможна ситуация, при которой достижение требуемой степени надежности не может быть обеспечено даже на полном множестве параметров обнаружения  $\{M\}$ . В этом случае блок 17 определяет данное условие и предлагает

администратору безопасности изменить параметры обучения (объемы обучающих выборок, коэффициенты старения) – блок 18. При этом алгоритм формирования рабочего алфавита параметров запускается с начала.

При достижении равенства  $P_{01}$ ,  $P_{10}$  требуемым значениям вероятности обнаружения ошибок путем сокращения исходного множества параметров  $\{M\}$ , процесс формирования рабочего алфавита параметров завершается и управление передается в блок 19. В данном блоке администратор безопасности проводит анализ условий функционирования АСОА, на основе которого принимает решение о конкретном значении рабочей точки СР в рамках рабочей зоны допустимых значений РХП. При этом из блока 20 значения  $P_{01}$  и  $P_{10}$  передаются в блок 21, где осуществляется расчет порога принятия решения для режима распознавания АСОА. Рассчитанное значение  $\eta$  записывается в список порогов  $K$  легитимных пользователей.

В заключении администратор безопасности посредством блока 22 имеет возможность уточнить технические характеристики АСОА: значение рабочей точки ( $P_{01}$ ,  $P_{10}$ ), объем рабочего алфавита параметров  $\{N\}$ , личный идентификационный номер или имя, объем множества  $\{K\}$ .

Таким образом, адаптивный алгоритм (рисунок 2) выбора и обоснования достаточности частного множества признаков индивидуальности обеспечивает синтез системы распознавания для каждого нового легитимного пользователя на этапе обучения АСОА. В ходе эксплуатации АСОА предусмотрена возможность реагирования на изменение условий функционирования СРД вычислительной сети посредством управления параметрами рабочей точки РХП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. – Том I: Теория обнаружения, оценок и линейной модуляции: Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1972 г. – 744 с.
2. Купер Дж., Макгилемм К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. – М.: Мир, 1989 г. – 376 с.

#### **Комашинский Владимир Владимирович**

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры № 33

Тел.: (4862) 41-99-33

E-mail: [vladkom-orel@rambler.ru](mailto:vladkom-orel@rambler.ru)

#### **Можин Сергей Владимирович**

Академия ФСО России, г. Орел

Преподаватель

Тел.: (4862) 41-99-33

E-mail: [kattz@rambler.ru](mailto:kattz@rambler.ru)

УДК 004.258

П. В. РУМЯНЦЕВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАНДОМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АДРЕСНОГО ПРОСТРАНСТВА В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ WINDOWS VISTA

*В статье рассмотрена работа механизма рандомизации распределения адресного пространства в Windows Vista. Подход основан на реализации наиболее типичных сценариев выделения и распределения памяти в Windows Vista, а также статистическом анализе результатов, полученных при многократной реализации этих сценариев. Материал предназначен для специалистов в области защиты информации и системного программирования в операционных системах семейства Microsoft Windows.*

*Ключевые слова:* Vista; безопасность информации; адресное пространство; адрес загрузки; выделение блока памяти; указатель стека; Атлас.

*The article represents the work of Windows Vista address space layout randomization mechanism. The approach is based on the realization of the most typical memory allocation and distribution scenarios in Windows Vista, and also on the statistical analysis of the results, received during the multiple realization of those scenarios. The material is aimed at information security specialists and Microsoft Windows operation systems programmers.*

*Keywords:* ASLR; Address space layout randomization; information security; address space; load address; memory allocation; stack pointer; Atlas.

Перед выходом новой операционной системы Windows Vista фирма Microsoft многократно заявляла, что в состав Windows Vista будет включено новое средство усиления безопасности системы – ASLR (Address Space Layout Randomization – механизм случайного распределения адресного пространства).

Приведём определение ASLR, данное в Wikipedia:

Address Space Layout Randomization – это технология, применяемая для того, чтобы разместить области с важными данными в памяти процесса случайным образом. Обычно под важными данными понимают базовый адрес исполняемого файла и используемых им библиотек динамической компоновки (dll), область стека и кучи (heap).

Предполагается, что ASLR усложняет проведение атак некоторых типов, затрудняя атакующему доступ к некоторым данным, расположение которых легко предсказать.

В ходе исследования механизма работы ASLR в Windows Vista производились исследования следующих объектов рандомизации:

- 1) адрес загрузки исполняемого модуля при последовательных запусках такового;
- 2) адрес загрузки исполняемого модуля при последовательных запусках изменённого исполняемого файла;
- 3) адрес загрузки подключаемых исполняемым модулем dll при последовательных загрузках исполняемого файла;

- 4) адрес загрузки подключаемых исполняемым модулем dll при последовательных загрузках изменённого исполняемого файла;
- 5) указатель стека при последовательных загрузках исполняемого файла;
- 6) адрес блока кучи, выделяемого при помощи функции HeapAlloc;
- 7) адрес кучи, создаваемой при помощи функций HeapCreate и HeapAlloc;
- 8) адрес блока памяти, выделяемого при помощи функции malloc;
- 9) адрес PEB'a (Process Environment Block – блок окружения процесса).

Для проверки по п. 1 исполняемый файл запускался 256 (0x100) раз. При этом фиксировался хэндл модуля, получаемый при помощи функции GetModuleHandle (фактически – адрес загрузки модуля), и смещение некоторой команды в программе, при этом положение этой команды относительно начала модуля было строго фиксированным. Предполагалось, что в результате последовательных запусков будут получены двести пятьдесят шесть пар разных чисел, разность которых, тем не менее, будет постоянной, что, собственно говоря, и должно было явиться критерием правильности получаемых результатов.

В результате оказалось, что во всех случаях разность между адресом загрузки модуля и адресом команды одинакова, более того, при последовательном запуске одной и той же программы адрес её загрузки остаётся постоянным и, значит, никакой рандомизации не происходит.

При проверке по п. 2 при запуске исполняемого файла проверки изменялось только время создания исполняемого файла, других изменений в нём не производилось. Число запусков файла было увеличено до 53 613 (0xd16d).

Оказалось, что при каждом запуске изменённого файла адрес его загрузки изменяется. Кроме того, оказалось, что адрес загрузки выбирается не произвольно, а на границе 64-килобайтных блоков.

Кроме того, в результате эксперимента были получены следующие результаты:

- нижняя граница рандомизации – 0x01 (здесь и далее подразумеваются индексы 64-килобайтных сегментов);
- верхняя граница рандомизации – 0x13e (318);
- по всему диапазону (от 0x01 до 0x13e) число запусков распределено примерно равномерно, при этом не используется диапазон от 0x40 (64) до 0x7f (127).

Ниже приводится график (рис. 1) распределения адресов загрузки исполняемых модулей.

Таким образом, число возможных вариантов размещения исполняемого модуля в памяти равно 254 (318 – 64) и при рандомизации не используются адреса с 0x00400000 по 0x007f0000 включительно.

При проверке п. 3 один и тот же исполняемый файл запускался 256 (0x100) раз. При этом вызывалась функция GetModuleHandle (\_T( «Kernel32.dll» )). В этом случае адрес загрузки оставался одним и тем же. Таким образом, при последовательных запусках одного и того же исполняемого файла адрес загрузки подключаемых модулем dll не рандомизируется.

При проверке п. 4 производилось 256 (0x100) запусков исполняемого файла. При этом перед каждым запуском время создания исполняемого файла изменялось. Во всех случаях адрес загрузки оставался одним и тем же. В связи с этим можно сделать вывод, что при последовательных запусках изменённого исполняемого файла адрес загрузки подключаемых модулем dll не рандомизируется.

В то же время необходимо заметить, что после перезагрузки компьютера адреса загрузки подключаемых модулем dll изменяются.

При проверке по п. 5 один и тот же файл запускался 16384 (0x4000) раз. При этом фиксировалось содержимое регистра ESP. В результате оказалось, что адреса стека рандомизируются, но неравномерно. Всего было получено 1877 адресов, при этом некоторые адреса использовались всего по одному разу, а некоторые – по 16 раз. Минимальный адрес стека – 0x12f654, максимальный – 0x31fe04. Распределение полученных адресов стека показано на диаграмме (рисунок 2) (ось абсцисс – порядковый номер выделенного для стека адреса в отсортированном списке адресов, ось ординат – число выделений адреса с данным порядковым номером).

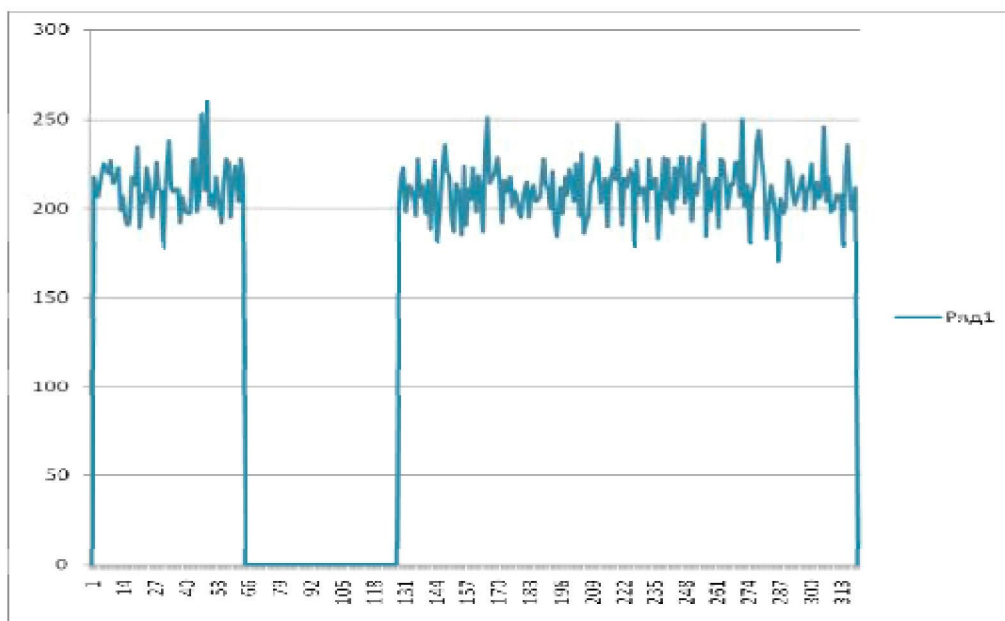


Рисунок 1 – Распределение адресов загрузки исполняемых модулей

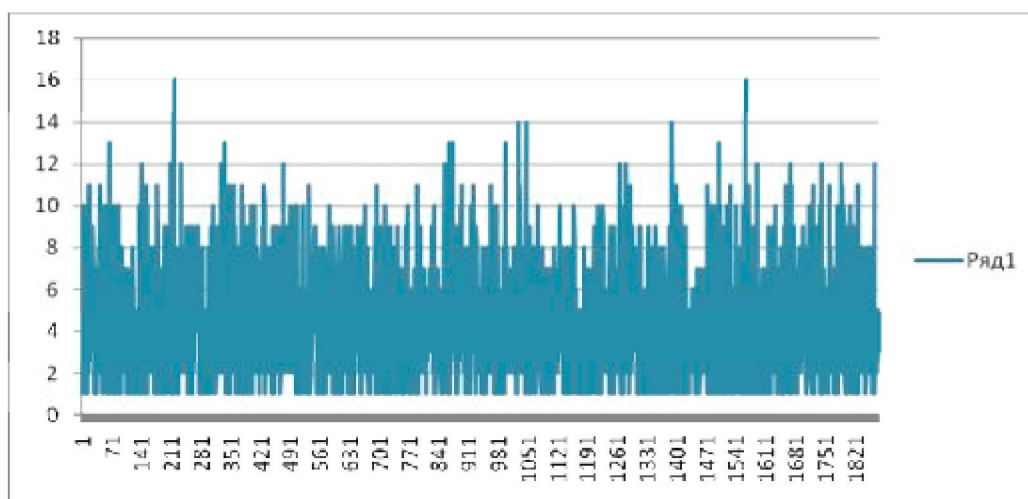


Рисунок 2 – Распределение адресов выделения стека

К сожалению, эта диаграмма не показывает областей, пропускаемых «рандомизатором» стека. Однако можно показать «расстояние» между смежными адресами (рисунок 3) (ось абсцисс – порядковый номер выделенного для списка адреса в отсортированном списке адресов, ось ординат – «расстояние» в байтах

между последовательными адресами в отсортированном списке выделенных адресов).

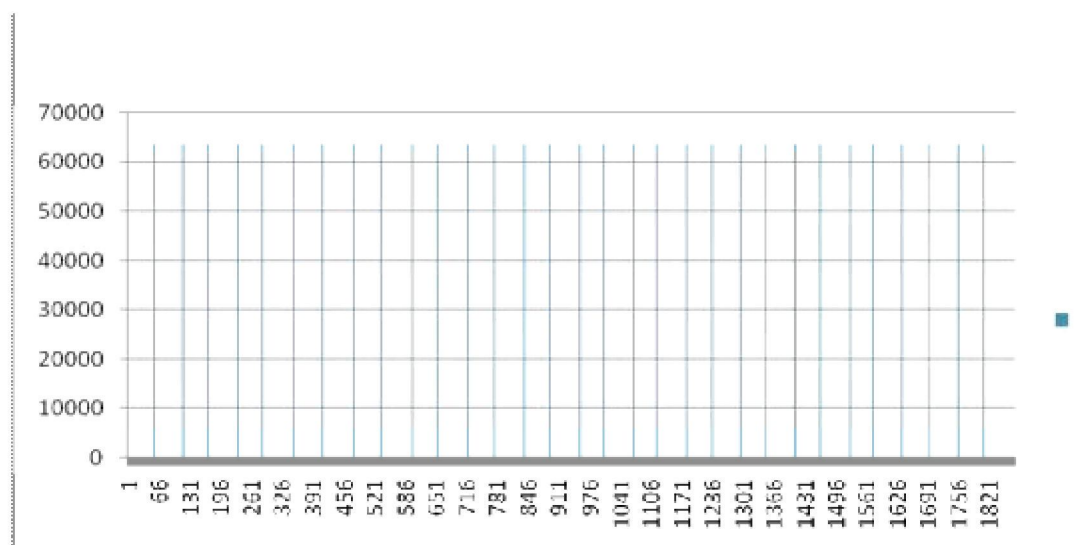


Рисунок 3 – «Расстояния» между выделяемыми последовательными адресами стека

На диаграмме, к сожалению, не заметны «расстояния» между последовательными адресами, равные 16, 32, 48 и т.д. (до 144) байтов (других «малых» расстояний в ходе эксперимента не получено). Однако на графике очень чётко заметны «расстояния» примерно в 64К, которые, как видно из диаграммы, расположены очень регулярно.

Исходя из всего сказанного выше, можно сделать следующие выводы:

- нижняя граница адресов стека равна 0x12f654;
- верхняя граница адресов стека равна 0x31fe04;
- т. к. минимальное «расстояние» между двумя последовательными адресами в отсортированном списке выделенных адресов равно 16 байтам, то адреса стека выделяются по границам 16 байтов;
- адреса стека выделяются крайне неравномерно;
- при выделении стека существует 31 область по 64 К, где адреса не используются для выделения стека. Таким образом, для использования в качестве стека могут выделяться максимум порядка двух тысяч адресов (0x31fe04–0x12f654) – (0x40000 \* 31) (что, собственно, и подтверждено в ходе эксперимента).

При проверке по п. 6 файл, в котором производилось выделение блока из кучи текущего процесса, запускался 4096 (0x1000) раз, при этом каждый раз в файле лога фиксировался адрес выделенного блока памяти.

После работы программы получены следующие результаты:

- минимальный выделенный адрес – 0x0006f628;
- максимальный выделенный адрес – 0x0051f628.

Выделенные адреса распределены следующим образом (рисунок 4).

Заметно выражено достаточно яркое неслучайное распределение.

«Расстояние» между выделенными адресами постоянно и равно 64 К (65536 байтов), исключением является единственный случай, при котором «расстояние» равно 256 К. График «расстояний» между выделенными адресами приведён ниже (рисунок 5).



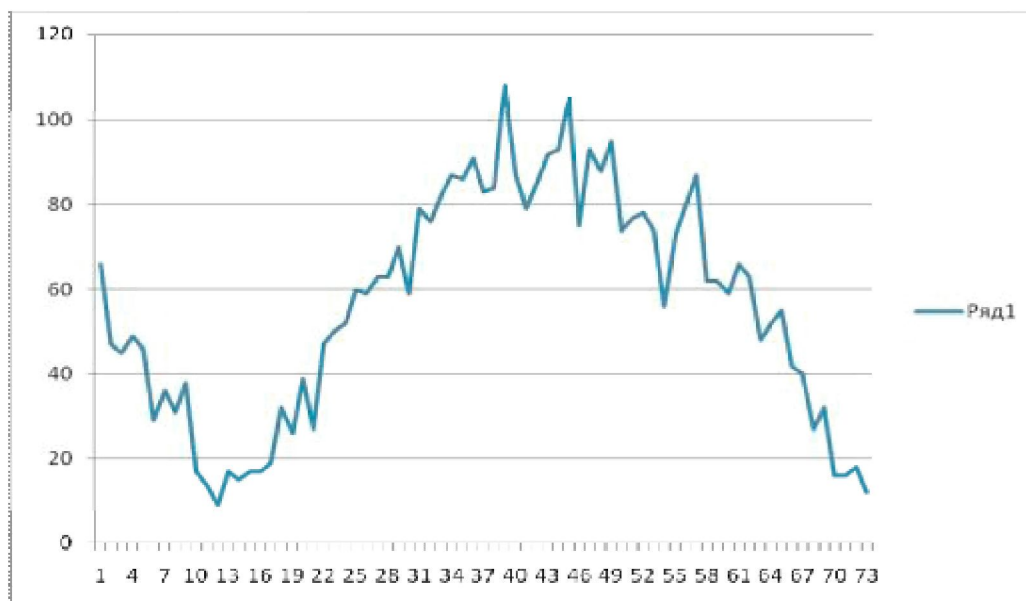


Рисунок 4 – Распределение адресов блока, выделяемого из кучи текущего процесса

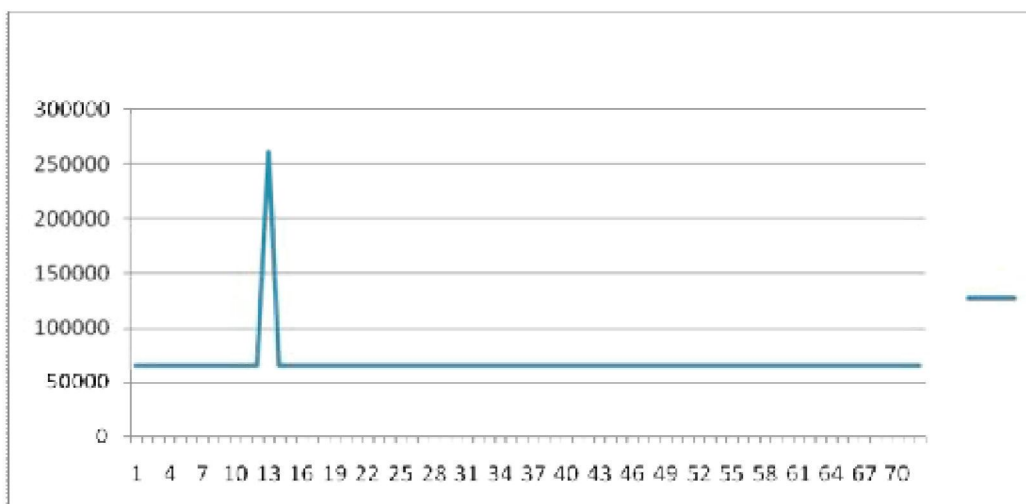


Рисунок 5 – «Расстояния» между выделяемыми адресами блока кучи

При проверке п. 7 файл, в котором производилось создание кучи и выделялся некоторый блок из только что созданной кучи, запускался 256 (0x100) раз, при этом каждый раз в файле лога фиксировался адрес выделенного блока памяти.

В результате многократного выполнения данной программы получены следующие результаты:

- минимальный адрес выделенного блока – 0x00020588;
- максимальный адрес выделенного блока – 0x02070588;
- всего было использовано 248 уникальных адресов.

Распределение количества выделенных адресов приведено на графике ниже (ось абсцисс – порядковый номер адреса выделенного блока в списке выделенных адресов, ось ординат – число использований данного адреса) (рисунок 6). Как видно, распределение выделяемых адресов производится крайне неравномерно.

«Расстояния» между выделенными блоками приведены на следующем графике (рисунок 7).

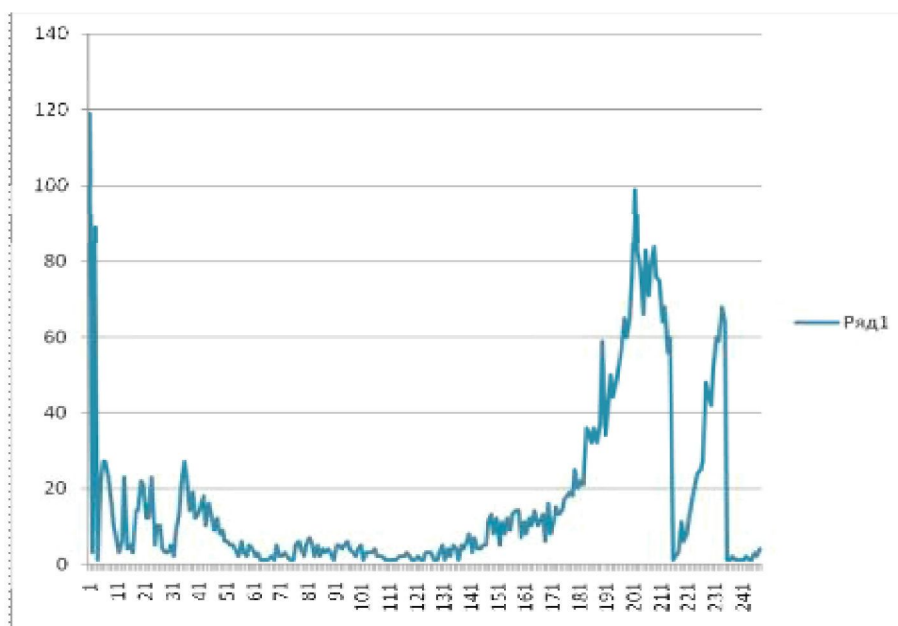


Рисунок 6 – Распределение адресов блоков, выделяемых из созданной кучи

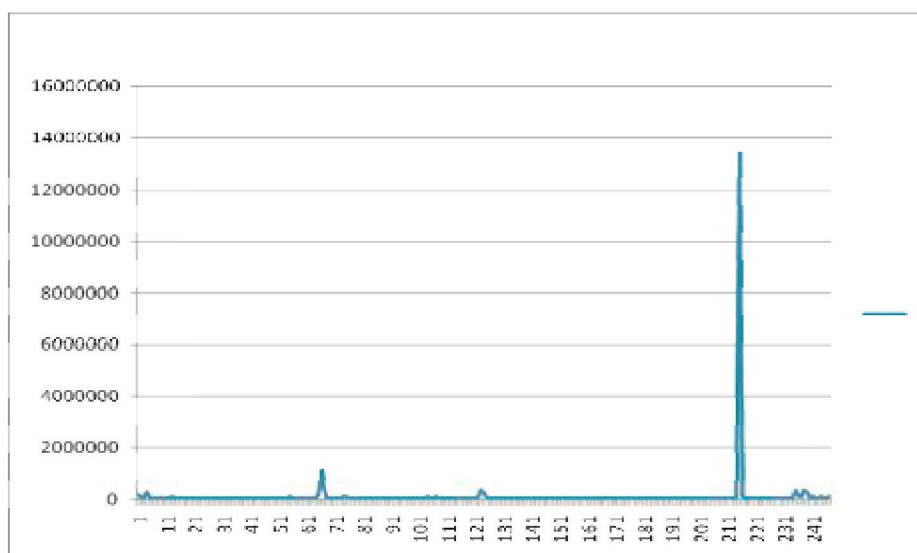


Рисунок 7 – «Расстояния» между блоками, выделенными из созданной кучи

Невооружённым глазом заметно, что в основном «расстояния» между блоками постоянны, однако имеются некоторые отклонения от нормы.

При проверке п. 8 файл, в котором выделялся некоторый блок из кучи, запускался 1024 (0x400) раз, при этом каждый раз в файле лога фиксировался адрес выделенного блока памяти.

После этого были получены следующие результаты:

- минимальный выделенный адрес – 0x000232f0;
- максимальный выделенный адрес – 0x00be32f0;

График распределения числа выделенных адресов приведён ниже (рисунок 8).

Неравномерное распределение выделяется достаточно ярко.

«Расстояния» между выделенными адресами распределены так (рисунок 9).

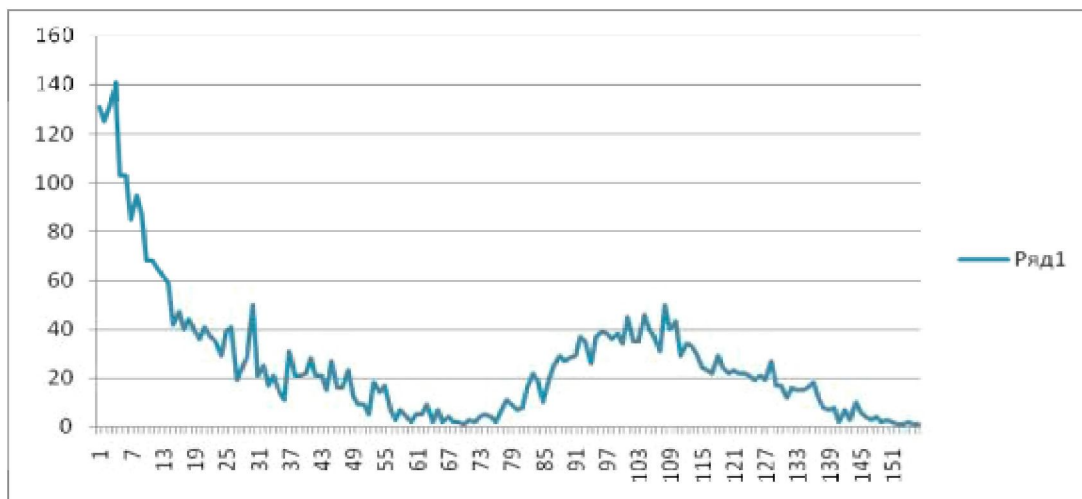


Рисунок 8 – Распределение адресов блоков, выделенных при помощи функции malloc

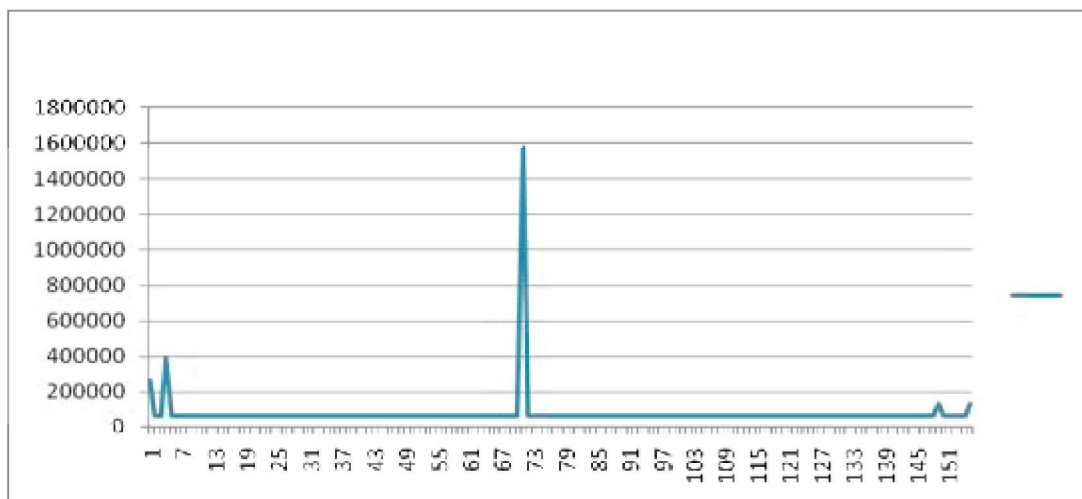


Рисунок 9 – «Расстояния» между блоками, выделенными при помощи функции malloc

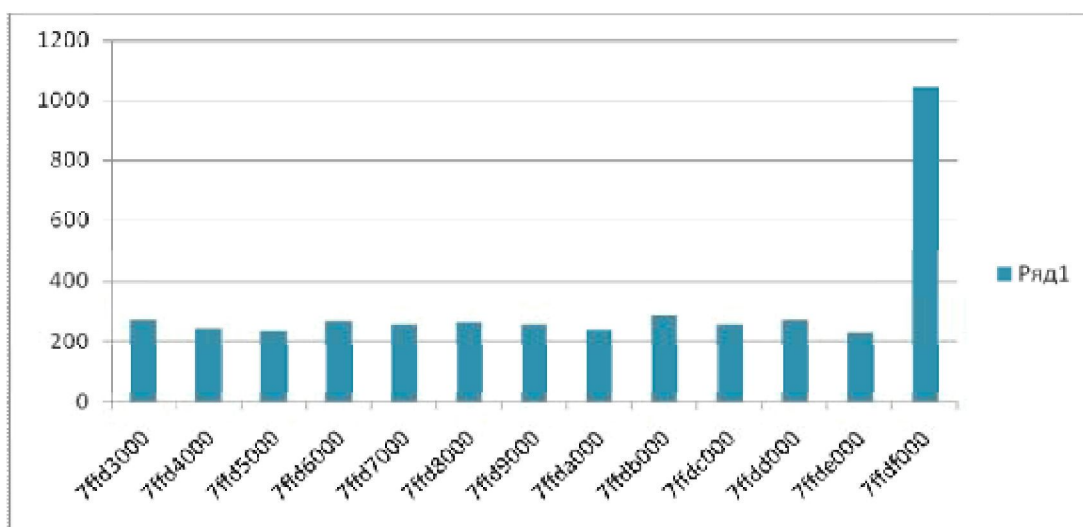


Рисунок 10 – Адреса, выделяемые для PEB'a

При проверке п. 9 оказалось, что рандомизация РЕВ'а сделана наиболее неаккуратно. Файл, в котором производилась фиксация РЕВ'а, был запущен 4096 раз (0x1000). Результаты проверки оказались поразительными – адрес РЕВ'а рандомизируется, но, во-первых, у него всего 13 возможных значений, а во-вторых, вероятности этих значений заметно отличаются друг от друга. Ниже приведена диаграмма (рисунок 10).

На этой диаграмме без труда можно увидеть, что из четырёх тысяч запусков в более чем тысяче случаев, выделяется один и тот же адрес.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- адрес РЕВ'а рандомизируется, при этом выбирается одно из 13-ти фиксированных значений;
- наибольшая вероятность выделения – у адреса 0x7ffdf000.

### Выводы.

1. Механизм ASLR в Windows Vista реализован недостаточно качественно и зачастую позволяет предсказать адрес выделяемого блока памяти.
2. Судя по характеру работы, механизм рандомизации разрабатывался разными командами программистов для применения в конкретных случаях, единый механизм рандомизации в системе не реализован.
3. Каких-либо кардинальных улучшений системы безопасности реализация механизма ASLR в Windows Vista не осуществляет.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Майкл Говард (Michael Howard), Мэтт Томлинсон (Matt Thomlinson). Безопасность Windows Vista для независимых поставщиков программного обеспечения [Электронный ресурс]: <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb430720.aspx>.
2. «Address Space Layout Randomization» – [Электронный ресурс]: [http://en.wikipedia.org/wiki/Address\\_space\\_layout\\_randomization](http://en.wikipedia.org/wiki/Address_space_layout_randomization).
3. [Электронный ресурс]: <http://club.shelek.ru/viewblog.phpid=11227>.
4. Майкл Говард ((Michael Howard). Windows Vista, ASLR, DEP and OEMs – [Электронный ресурс]: [http://blogs.msdn.com/michael\\_howard/archive/2006/12/06/windows-vista-aslr-dep-and-oems.aspx](http://blogs.msdn.com/michael_howard/archive/2006/12/06/windows-vista-aslr-dep-and-oems.aspx).
5. Дэвид ЛеБланк (David LeBlank). Use of ASLR, NX, etc – [Электронный ресурс]: [http://blogs.msdn.com/david\\_leblanc/archive/2008/03/14/use-of-aslr-nx-etc.aspx](http://blogs.msdn.com/david_leblanc/archive/2008/03/14/use-of-aslr-nx-etc.aspx).
6. Олег Бойцев. Безопасность Windows Vista – взлом адекватен защите – [Электронный ресурс]: [http://www.winguard.ru/vista\\_secure.php](http://www.winguard.ru/vista_secure.php).
7. Марк Руссинович. Внутреннее устройство ядра Windows Vista: часть 3. – [Электронный ресурс]: <http://technet.microsoft.com/ru-ru/magazine/2007.04.vistakernel.aspx>.
8. Windows Vista уязвима для нового вида атак. – [Электронный ресурс]: <http://www.interface.ru/home.aspartId=17710>.
9. Поль Тюрро. Об уникальных средствах обеспечения безопасности 64-разрядных версий Windows Vista. – [Электронный ресурс]: [http://www.oszone.net/4455/Windows\\_Vista\\_64](http://www.oszone.net/4455/Windows_Vista_64).
10. Николай Байбородин. Броня для Висты: создание безопасного кода для Windows Vista – [Электронный ресурс]: <http://www.xaker.name/forvb/showthread.phpt=7773>.

**Румянцев Павел Васильевич**  
ФГУП «НТЦ «Атлас», г. Москва  
Начальник отдела  
Тел.: (495) 689-14-96  
E-mail: [pavel\\_r@stcnet.ru](mailto:pavel_r@stcnet.ru)

---

**Уважаемые авторы!**

Просим Вас ознакомиться с основными требованиями к оформлению научных статей.

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.

- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).

- В одном сборнике может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство.

- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.

- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.

- К статье прилагается перечень ключевых слов (не более 10) на русском и английском языке.

- Обязательны сведения об авторах в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта.

- В тексте статьи желательно:

- не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- не применять произвольные словообразования;
- не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.

- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

- Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

- Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.

- Необходимы копии рисунков и других иллюстраций в формате .eps или .jpg.

- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравниваются по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

***Рисунок 1 – Текст подписи***

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте [www.ostu.ru](http://www.ostu.ru).

**Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.**

УДК 519.688

Е.А. ЕМЕЛЬЯНОВА

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИНИЦИИРОВАНИЮ ИМПУЛЬСНОГО ПРОБОЯ В ВАКУУМЕ

*Разработан программный комплекс для реализации вычислительного эксперимента по инициированию вакуумного пробоя на основе модели джоулева разогрева. Программный комплекс позволяет автоматизировать процесс обработки полученных результатов и построения зависимостей определяемых величин от заданных экспериментальных условий, а также повышает точность определения параметров, от которых зависит электрическая прочность вакуумной изоляции.*

**Ключевые слова:** вычислительный эксперимент; программный комплекс; моделирование; вакуумный пробой; электрическая прочность.

*A bundled software is developed for the execution of computational experiment on vacuum breakdown initiation on the basis of joule heating model. The bundled software allows automating the processing of received results and plotting dependences of defined values on certain experimental conditions, and also it rises the accuracy of definition the parameters, which the electric strength of vacuum insulation depends on.*

**Keywords:** computational experiment; bundled software; modeling; vacuum breakdown; electric strength.

Одним из способов теоретического исследования сложных процессов, допускающих математическое описание, является вычислительный эксперимент – исследование естественнонаучных проблем средствами вычислительной математики на основании математических моделей физических процессов и последующего решения полученных задач на ЭВМ.

Исследование процессов, иницирующих пробой вакуумного промежутка, стимулировало проведение вычислительных экспериментов по моделированию катодных процессов в единичном эмиссионном центре [1-3]. Результаты были получены в идеализированных условиях и применялись лишь для изучения температурного распределения эмиссионной поверхности.

С целью оценки электрической прочности вакуумной изоляции и определения параметров импульсного воздействия, обеспечивающих достижение максимальной электрической прочности, разработан программный комплекс для проведения вычислительного эксперимента по инициированию вакуумного пробоя.

Основное назначение разработанного программного комплекса состоит в реализации компьютерного эксперимента, идентичного натурному в условиях затруднительного использования экспериментального оборудования или его отсутствия. В основу создания программного комплекса положено численное моделирование процесса инициирования вакуумного пробоя. Программный комплекс реализует вычислительный эксперимент на импульсах напряжения прямоугольной формы с конечным и бесконечно коротким фронтом и на косоугольной волне для различных материалов электродов.

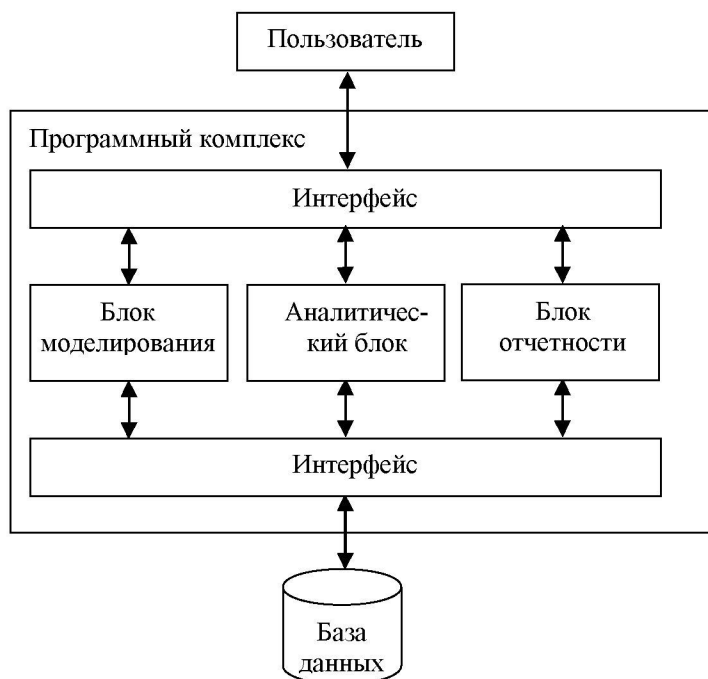


Рисунок 1 – Структура программного комплекса

Структурная схема программного комплекса представлена на рисунке 1. Программный комплекс состоит из трех модулей: моделирования, аналитики и отчетности, взаимодействующих с пользователем посредством графического интерфейса и базой данных.

Основную роль в программном комплексе для проведения вычислительного эксперимента играет блок моделирования, содержащий в себе алгоритмы для реализации численного решения задачи о распределении температуры в эмиттере.

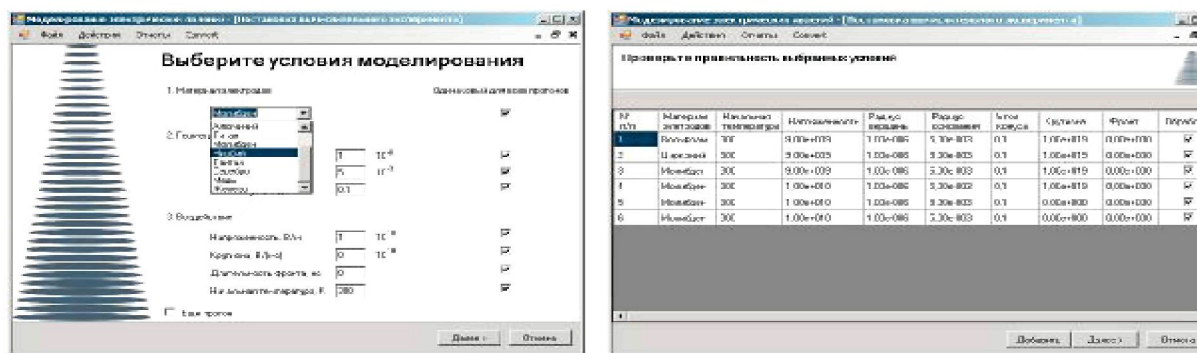


Рисунок 2 – Экранные формы для реализации процесса моделирования

В качестве вспомогательного блока выступает модуль аналитики, который позволяет анализировать расчётные данные, строить графические зависимости, а также сравнивать известные экспериментальные результаты с полученными данными.

Блок отчетности содержит в себе механизмы для вывода полученных зависимостей в удобном пользователю виде на основе данных, содержащихся в базе данных программного комплекса.



Разработанный программный комплекс построен в соответствии с концепцией многооконного диалогового интерфейса, позволяющего в рамках одного приложения обрабатывать данные, относящиеся к различным аспектам моделирования и анализа процесса иницирования импульсного электрического пробоя в вакууме.

На рисунке 2 приведены экранные формы, позволяющие задавать условия моделирования и формировать очередь для последовательного осуществления ряда прогонов математической модели.

После проведения расчёта модели в программном комплексе реализована возможность анализа полученных данных и построения на их основе зависимостей времени запаздывания от различных условий моделирования.

Полученные в результате моделирования и анализа зависимости записываются в базу данных программного комплекса и могут быть просмотрены с помощью журнала расчётов. Экранные формы, позволяющие пользователю работать с журналом расчётов, приведены на рисунке 3.

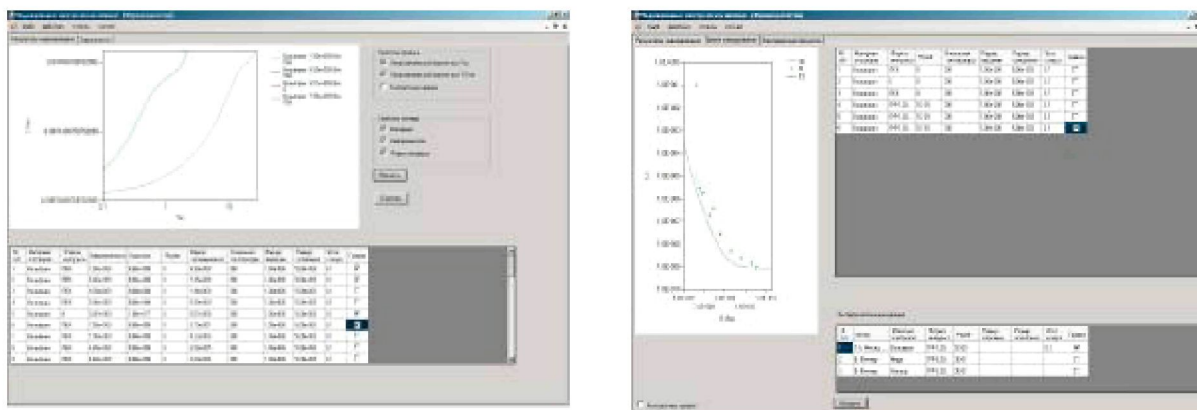


Рисунок 3 – Экранные формы, отображающие результаты вычислительного эксперимента

Журнал расчётов отражает в табличной форме информацию обо всех реализованных прогонах математической модели, а также о полученных зависимостях. Имеется возможность выводить результаты расчётов на одном графике для их последующего сравнения и исследования.

Разработанный программный комплекс для проведения вычислительного эксперимента реализован в виде «Автоматизированной системы моделирования и анализа вакуумного пробоя», что подтверждено свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, выданным Федеральным агентством по промышленной собственности РФ [4].

Разработанный программный комплекс позволяет автоматизировать процесс обработки полученных результатов и построения зависимостей искомых величин от заданных параметров. Применение программного комплекса для проведения вычислительного эксперимента позволяет повысить точность определения величин, от которых зависит электрическая прочность вакуумной изоляции в результате оптимальных режимов обработки электродов импульсами, длительность которых равна времени запаздывания пробоя в вакууме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mitterauer J. Computer simulation of transient heating of surface protrusions initiating cathode induced vacuum breakdown / J. Mitterauer, P. Till // Proc. VI ISDEIV, 1974. – P. 95-100.
2. Mitterauer J. The initiation of cathode induced vacuum breakdown by dynamic field emission (DF-emission) from microprotrusions / J. Mitterauer, P. Till, E. Fraunscheil and M. Haider // Proc. VII ISDEIV, 1976. – P. 83-87.
3. Литвинов Е. А., Шубин А. Ф. Разогрев металлического катода термоавтоэлектронным током большой плотности // Изв. вузов. Физика, 1974. – № 1. – С. 152–154.
4. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ «Автоматизированная система моделирования и анализа вакуумного пробоя» / Е.А. Емельянова. – RU № 200861289, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 июня 2008.

**Емельянова Екатерина Александровна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Аспирант кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы»  
г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел.: (4862)541503  
E-mail: [catherine@orel.ru](mailto:catherine@orel.ru)

УДК 621.039.534.681.3

Ф.В. НИКОЛАЕВ, В.Г. КРИЦКИЙ, С.В. ЗАХАРОВА

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АЭС НА БАЗЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ КОХОНЕНА

*Рассмотрено построение и использование эмпирической модели водно-химического режима контура многократной принудительной циркуляции и конденсатно-питательного тракта АЭС с РБМК на основе нейронной сети Кохонена. Сделан анализ качественных характеристик модели. Приведены результаты расчетов и способы ее применения для диагностирования.*

**Ключевые слова:** нейронная сеть; сеть Кохонена; моделирование; водно-химический режим; АЭС с РБМК.

*The construction and use of empirical model of water-chemistry of multiple forced circulation circuit and condensate-feed tract of NPP with RBMK on the basis of Kohonen's neural network are considered. The analyses of qualitative characteristics of model are made. Results of calculations and ways of model application for diagnosing are given.*

**Keywords:** neural network; Kohonen network; modeling; water-chemistry conditions; NPP with RBMK.

В настоящее время на отечественных АЭС (Ленинградская, Смоленская и т.д.) активно внедряются программно-аппаратные комплексы систем автоматизированного химического контроля водно-химического режима АЭС. Данные системы предназначены для непрерывного мониторинга параметров водно-химического режима (ВХР), обеспечивающего сбор, хранение и представление данных пользователю. Представление данных осуществляется в виде таблиц с возможностями дополнительных статистических вычислений (средние значения показателей качества (ПК) ВХР и т.д.), графиков временных зависимостей и стандартных отчетов.

Таким образом, существующие системы АХК осуществляют лишь функции мониторинга. Остаются нерешенными задачи диагностирования и прогнозирования состояния ВХР. Реализация этих задач обеспечивает эффективное взаимодействие системы с оператором, дающее возможность надежно обнаруживать отклонения в ВХР на ранних стадиях их развития, быстро определять причины отклонений и выдавать рекомендации по необходимым действиям для их устранения. Такие системы относятся к новому поколению интеллектуальных средств контроля и управления объектами. Сложность диагностируемого объекта и отсутствие достоверных математических моделей приводит к тому, что задачи диагностирования и прогнозирования состояния ВХР реализованы не в полной мере. Тем не менее, существует достаточное количество методов диагностирования и прогнозирования развития событий в подобных условиях.

Таким образом, задача разработки системы диагностирования и прогнозирования на основе имеющихся представлений о контроле ВХР АЭС является актуальной.

Основой диагностической системы ВХР АЭС, разработанной нами, является экспертная диагностическая модель [1]. Такой выбор обусловлен отсутствием математической модели, в полной мере описывающей технологические процессы рассматриваемого объекта. В то же время уже имеется большой эксплуатационный опыт, накопленный персоналом АЭС по оптимальному ведению ВХР в соответствии с заданными пределами значений параметров (нормативами), сводящему к минимуму идущие процессы коррозии, массопереноса и накопления радиоактивности. Это позволило сделать вывод о том, что данный объект относится к классу объектов, для работы с которыми успешно используются интеллектуальные системы, основанные на знаниях специалистов-профессионалов.

Однако основанная на нормативных документах [2] и опыте специалистов система диагностики имеет ряд недостатков, что связано, в первую очередь, со значительной априорной неопределенностью, вызванной сложностью формализации высказываний экспертов. Важным аспектом в этом случае является наличие значительного объема ретроспективных данных о диагностируемом объекте. Несмотря на то, что статистические данные для переходных и аварийных режимов либо полностью отсутствуют (например, для тяжелых аварий), либо имеются в малом объеме, тем не менее, они представляются весьма ценными для процедур диагностирования и прогнозирования в нормальных условиях или в условиях проявления часто повторяющихся нарушений. Значения и рекомендации характеризуются степенью соответствия тому или иному классифицированному состоянию объекта и носят рекомендательно-информационный или уточняющий характер.

Для использования совместно с экспертными знаниями, накопленные ретроспективные статистические данные нуждаются в классификации, т.е. в декомпозиции всего накопленного объема данных на категории, обладающие общностью в значениях показателей свойств исследуемой системы.

Для проведения подобной классификации нами была применена нейронная сеть Кохонена [3,4], представляющая собой в общем виде теоретико-графовый алгоритм, основанный на оценке меры близости между объектами классификации. Основная особенность этого алгоритма заключается в использовании неформализуемых начальных условий задачи классификации (выбор центров классов, опорных точек классификации и т.д.) и параметров алгоритма (значение порога меры близости, ее параметры), что придает им эвристический характер. Все вычисленные веса синапсов и коэффициенты в процессе обучения нейросети такого типа имеют четкий математический смысл и могут быть проанализированы при проведении оценки качества обучения.

Выбор диагностических показателей осуществлялся с учетом необходимости диагностирования всех нарушений, приведенных в нормативных документах [2], которые могут происходить в КМПЦ или КПТ. Таким образом, в состав диагностических показателей были включены электропроводимость  $X$ , рН, концентрации ионов натрия, хлора и концентрация кислорода, измеряемые в следующих позициях:

- конденсат турбин на входе конденсатоочистки КПТ (поз.1 на рисунке 1.);
- вода КПТ на выходе конденсатоочистки (поз.2 на рисунке 1);
- вода КПТ на выходе деаэраторов (поз.3 на рисунке 1);
- вход и выход байпасной очистки КМПЦ (поз.4 на рисунке 1);
- вода КМПЦ (поз.5 на рисунке 1);
- вода барабан-сепараторов (поз.6 на рисунке 1).

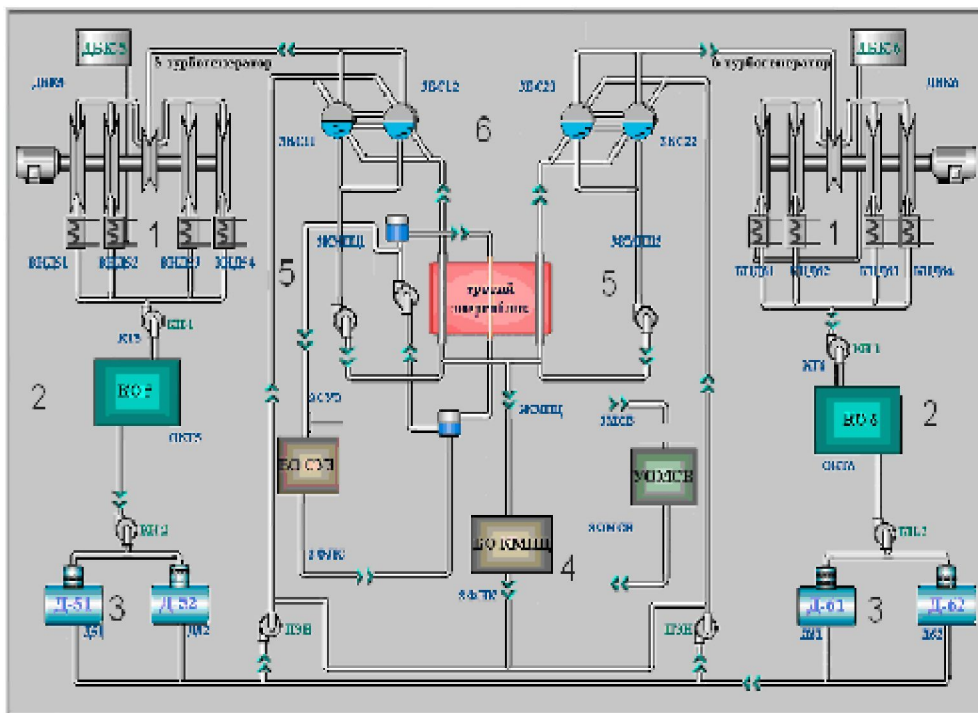


Рисунок 1 – Технологическая схема объекта диагностирования

Всего для процесса обучения нейронной сети было отобрано 24 диагностических показателя. Обучающая выборка составила 800-1400 срезов данных, проверочные выборки – 200-400 срезов в зависимости от энергоблока. В качестве обучающей и проверочной выборок использовались ретроспективные данные состояния ВХР 1-4 энергоблоков Ленинградской АЭС.

Сведения о состоянии оборудования включали в себя режимы работы энергоблока в виде логических значений и нормированные значения периодов работы фильтров конденсатоочисток в часах.

Таким образом, вектор входных значений насчитывал 62 показателя: 24 значения диагностических показателей, 24 значения их динамических оценок, 4 логических значения состояния энергоблока, 10 значений продолжительности работы фильтров конденсатоочистки без регенерации.

Слой Гроссберга составил 25 выходных нейронов идентификации нарушений, 12 нейронов восстановленных значений, 24 нейрона прогнозных значений. Всего слой Гроссберга насчитывал 61 нейрон. Структура нейронной сети приведена на рисунке 2.

Следует отметить, что одним из важных этапов построения модели на основе выбранной нейронной сети является этап начальной инициализации весов синапсов



нейронов слоя Кохонена. В ряде источников рекомендуется проводить инициализацию простейшим способом – случайными значениями от 0 до 1. Такой подход неудобен, так как значения диагностических показателей чаще всего распределены неравномерно, как показано на рисунке 3, и значительное количество нейронов может оказаться в результате обучения неактивным.

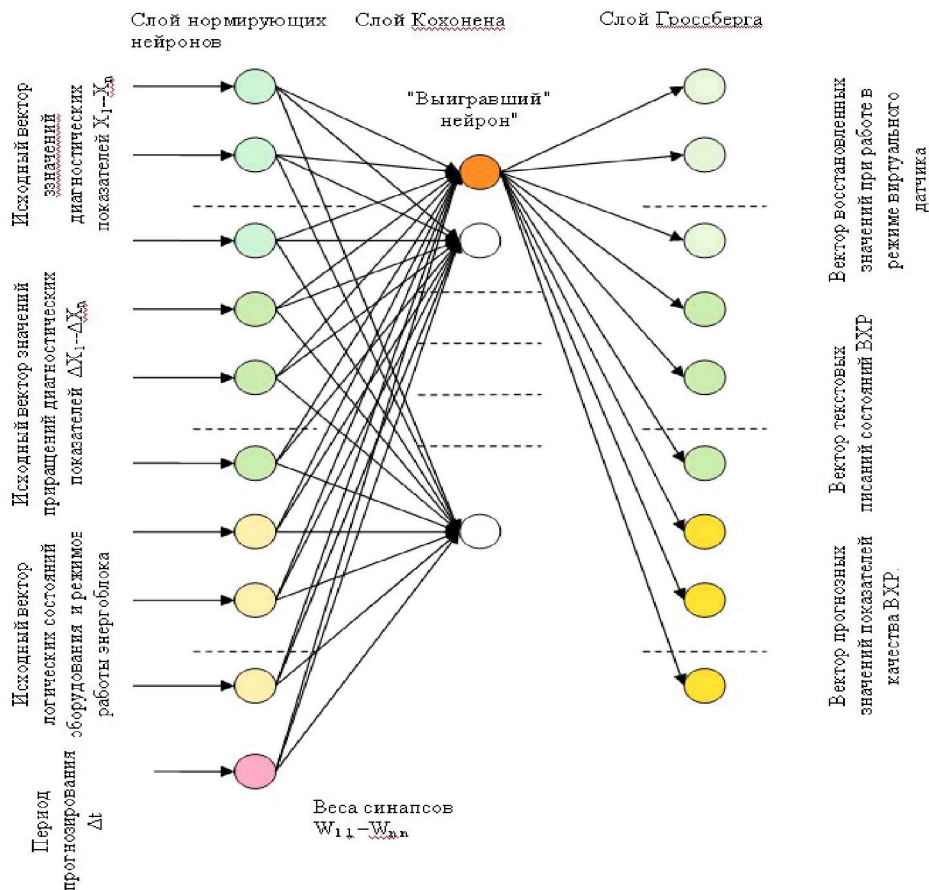


Рисунок 2 – Общий вид нейронной сети для производства предварительных расчетов, диагностирования и прогнозирования

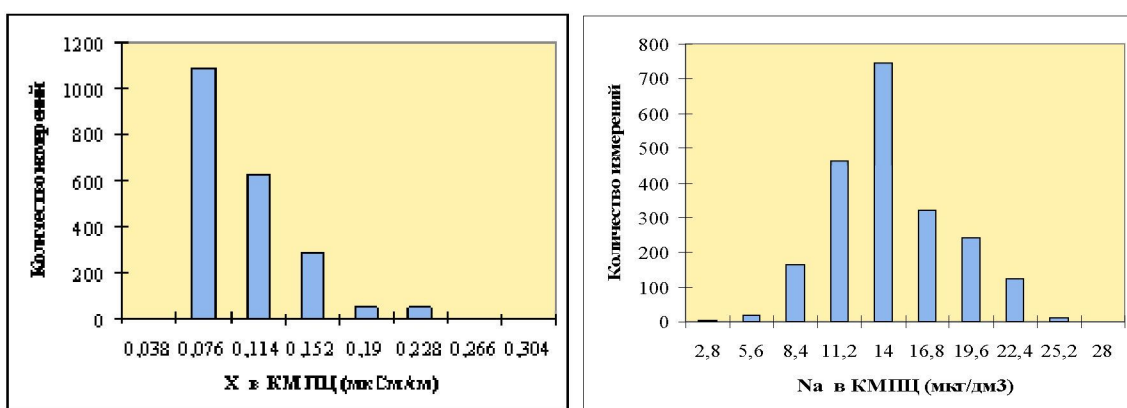


Рисунок 3 – Гистограммы распределения значений диагностических показателей

Поэтому для инициализации была принята формула вида:

$$W_{ij} = \frac{\sum [DP_{ik}] / n + (\text{RND} * 0.2 - 0.1) * \sum [DP_{ik}] / n}{\text{MAX}_n(DP_{ik})}, \quad (1)$$

где  $W_{ij}$  – вес  $j$ -го нейрона для  $i$ -го диагностического показателя;

$DP_{in}$  – значение  $i$ -го диагностического показателя из  $k$ -ой позиции выборки из  $n$  значений;

$RND$  – случайное значение в диапазоне от 0 до 1.

Как видно из приведенной формулы, веса синапсов инициализируются случайными значениями в пределах  $\pm 10\%$  от нормализованного среднего значения соответствующего диагностического показателя. Такой подход является не самым оптимальным, однако достаточно легко реализуемым.

Возможности идентификации состояний ВХР с помощью нейросети верифицировались на основе алгоритмов, приведенных в нормативных документах [2], и на основе результатов работы экспертной диагностической системы.

Следует отметить, что результатом работы слоя Гроссберга является перечень описаний. В соответствие каждому описанию ставится коэффициент его проявления для текущей категории. Данный коэффициент принимался во внимание при проведении сравнительного анализа описаний состояния ВХР, определенных с помощью экспертной диагностической модели и нейросетевой модели.

Для описаний отклонений ВХР от норм, установленных в ходе экспертных опросов, степень совпадения составила 75%, от норм приведенных в нормативной документации степень совпадения составила 85%. Степень совпадения с описаниями, приведенными в нормативной документации, составила величину ниже 100% вследствие того, что границы категорий могут не совпадать со значениями контрольных или диагностических уровней или эксплуатационных пределов.

Верификация разработанной модели производилась на проверочных выборках данных. Качество модели оценивалось по величине среднеквадратичного отклонения и коэффициенту корреляции между расчетными значениями диагностических показателей и соответствующими им значениями входного вектора. Пример верификации модели для показателей качества ВХР электропроводность (X) и Na в КМПЦ приведен на рисунке 4. Средние значения коэффициентов корреляции составляли 0.89, наихудшие – 0.74. Величина среднеквадратичного отклонения в процентном соотношении – не более 12%. Улучшение обоих показателей возможно при обучении с использованием выборок большего объема с одновременным увеличением в несколько раз количества нейронов слоя Кохонена.

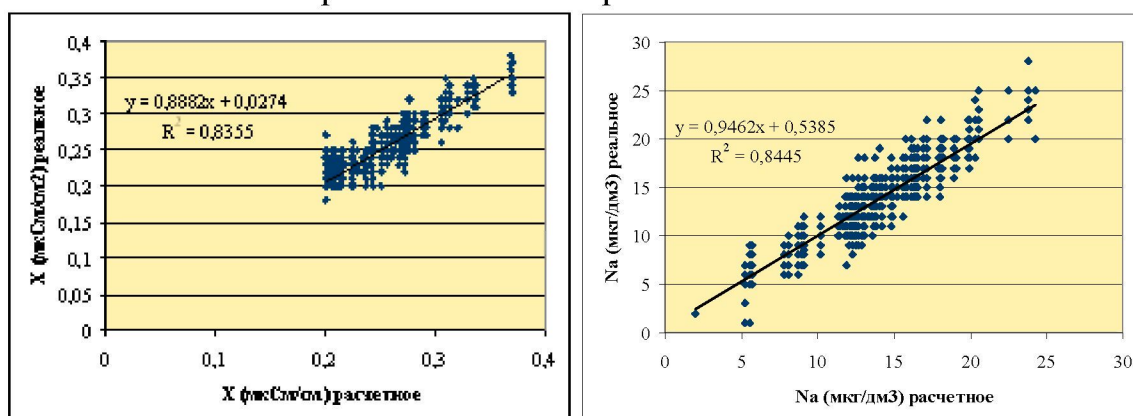


Рисунок 4 – Верификация разработанной модели на основе проверочных выборок

Исследование вариантов перехода системы из категории в категорию позволило уточнять параметры функций принадлежности диагностических показателей, используемых в экспертной диагностической системе. Например, для

диагностического показателя «Na в воде КМППЦ» приведенная на рисунке 5 функция принадлежности (верхняя кривая) значительно завышает значимость данного показателя для диагностирования, начиная со значений 17,5 мкг/дм<sup>3</sup>. Это является следствием погрешностей проведенных экспертных опросов. Аналогичным образом могут быть уточнены функции принадлежности всех диагностических показателей в экспертной системе.

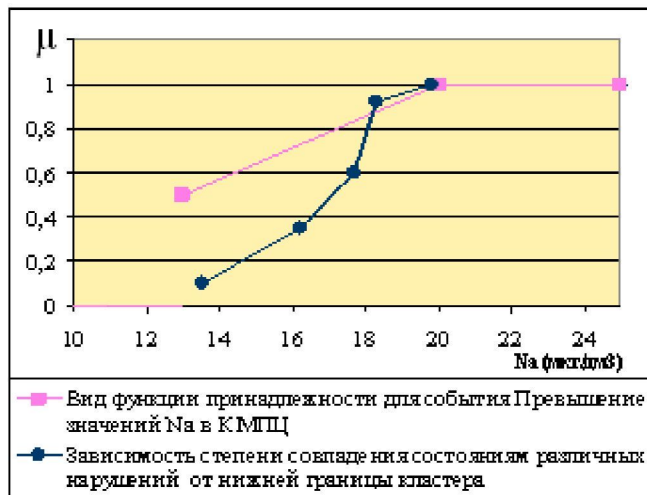


Рисунок 5 – Уточнение функции принадлежности «Превышение значения Na в КМППЦ» экспертной диагностической системы

Возможности модели по восстановлению данных оценивались путем исключения какого-либо диагностического показателя из входного вектора данных нейросетевой модели. Корреляционный анализ выборок исключенных и восстановленных значений позволяет сделать вывод о возможности или невозможности восстановления значений данного диагностического показателя. Невозможность восстановления отсутствующих данных связана в первую очередь с наличием стороннего влияния, неучтенного при построении модели.

Наиболее качественное восстановление данных имело место для диагностических показателей, контролируемых на входе байпасной очистки КМППЦ или петлях КМППЦ и в воде барабан-сепараторов (см. рисунок 6).

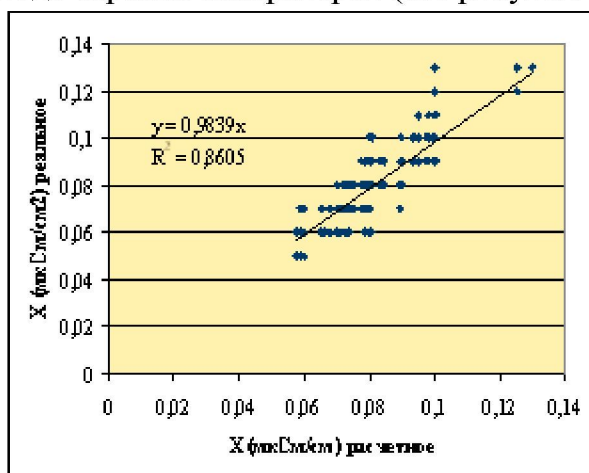


Рисунок 6 – Оценка качества расчета отсутствующего значения электропроводности X (мкСм/см) в воде КМППЦ. По вертикали приведены расчетные значения, по горизонтали – реальные



## ВЫВОДЫ

Практическая реализация эмпирической нейросетевой модели ВХР в рамках диагностической системы позволила получить следующие результаты:

- подтвердить и уточнить параметры функций принадлежности, сформированных на основе экспертных данных;
- повысить качество диагностирования и прогнозирования благодаря отсутствию необходимости выполнения дополнительных химических анализов, производить диагностирование на основании ограниченного числа показателей, измеряемых автоматически;
- разрешать спорные вопросы диагностирования ВХР за счет сравнения результатов диагностирования по экспертной и нейросетевой моделям;
- использовать экспертные описания категорий в модуле пояснения результатов диагностирования и прогнозирования, приводить конкретные примеры из аналогичных ситуаций, имевших место ранее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шведова М.Н. и др. Основные принципы разработки и реализации систем диагностики для оценки состояния ВХР на АЭС: Препринт ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ» / М.Н. Шведова, В.Г. Крицкий, С.В. Захарова, Ф.В. Николаев, В.Б. Бенедиктов – ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ». – М.: ЦНИИ Атоминформ, 2004. – 114 с.
2. Стандарт предприятия. Водно-химический режим основного технологического контура и вспомогательных систем атомных электростанций с реакторами РБМК. СТП ЭО 0005-01, концерн «Росэнергоатом». – Москва, 2001.
3. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: учеб. пособие. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. – 224 с.
4. Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений: непараметрический подход / А.В. Лапко, С.В. Ченцов, С.И. Крохов, Л.А. Фельдман. – Новосибирск: Наука. Сибирская изд. Фирма РАН, 1996. – 296 с.
5. Рабочая книга по прогнозированию. [Отв. ред И.В.Бестужев-Лада]. – М.: Мысль, 1982 – 430 с.

### **Николаев Федор Владимирович**

ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», г. Санкт-Петербург  
Доктор технических наук  
E-mail: [f\\_nikolaev@mail.ru](mailto:f_nikolaev@mail.ru)

### **Крицкий Владимир Георгиевич**

ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», г. Санкт-Петербург  
Профессор, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отделения  
Тел.: +7-812-430-1893  
Факс: +7-812-430-1893

### **Захарова Светлана Викторовна**

ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», г. Санкт-Петербург  
E-mail: [s\\_zakharova@hotmail.ru](mailto:s_zakharova@hotmail.ru)

УДК 621.311

В.Я. ХОРОЛЬСКИЙ, С.В. САПРОНОВ, С.Г. КОВАЛЕВСКИЙ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ

*Для дизель-генераторных установок с самовозбуждением и с отдельным возбуждением проведён аналитический расчёт провала напряжения на ЭВМ. В среде Mathcad построены переходные характеристики дизель-генераторных установок, определено время, в течение которого напряжение на генераторе достигает минимального значения, и значение минимального напряжения на шинах генератора при внезапном включении нагрузки.*

**Ключевые слова:** синхронный генератор с самовозбуждением; синхронный генератор с отдельным возбуждением; нагрузка; система бесперебойного электроснабжения; дизель-генераторная установка; провал напряжения; динамический режим работы; переходная характеристика; компьютерное моделирование; источник питания.

*Analytical calculation of current breaking in computers is fulfilled for diesel-producer installations with self-energization and with individual energization. In Mathcad system some transitional characteristics of diesel-producer installations are designed, the time when tension in generator has minimum value is fixed and the value of minimum tension in wires of generator when a sudden use of consumer is carried out.*

**Keywords:** synchronous generator with self-energization; synchronous generator with individual energization; load; system of regular electrosupply; diesel-producer installation; collapse of the voltage; dynamic state of working; connecting feature; computer modeling; power source.

В системах бесперебойного электроснабжения крупных информационно-вычислительных центров в качестве резервных источников питания используются дизель-генераторные установки (ДГУ).

В случае перехода на такие источники питания при включении нагрузки наблюдаются переходные процессы, приводящие к существенному ухудшению показателей качества электроэнергии на зажимах электроприемников. С целью определения возможных провалов напряжения на выходе синхронного генератора системы бесперебойного электроснабжения было проведено компьютерное моделирование динамических режимов.

Известно [3], что изменение напряжения на зажимах синхронного генератора при включении нагрузки описывается системой дифференциальных уравнений Парка-Горева двенадцатого порядка. С определенными допущениями динамический режим работы ДГУ с отдельным возбудителем при включении внезапно приложенной нагрузки можно представить следующим образом:

$$U(t) = U_y + (U_{нач} - U_y) e^{-\frac{t}{T_d}} + kR \left[ t - t_p - T_d' \left( 1 - e^{-\frac{t-t_p}{T_d}} \right) \right], \quad (1)$$

где  $U(t)$  – изменение напряжения на зажимах синхронного генератора;

$U_y$  – установившееся напряжение генератора без учёта действия регулятора;

$U_{нач}$  – напряжение на зажимах генератора в момент приложения нагрузки;

$t_p$  – время запаздывания регулятора;

$R$  – скорость нарастания напряжения возбудителя;

$T_d'$  – постоянная времени возбудительного контура;

$k$  – постоянный коэффициент.

Время, в течение которого напряжение на генераторе достигает минимального значения:

$$t_{мин} = T_d' \cdot \ln \left[ \frac{U_{нач} - U_y}{kRT_d'} + e^{-\frac{t_p}{T_d'}} \right]. \quad (2)$$

Суть принятых допущений обычно сводится к следующему: не учитывается сверхпереходная составляющая динамических процессов синхронного генератора, частота вращения приводного двигателя принимается постоянной, не рассматривается насыщение машины, оценка ведётся по изменению переходной ЭДС по продольной оси.

Из теории электрических машин [2] известно, что время наступления минимального значения напряжения определяется по формуле:

$$t_{m1} = T_{de}' \ln \left( \frac{(x_d - x_d')(x_q + x_e)}{kRT_{de}' [(r_s + r_e)^2 + (x_d' + x_e)(x_q + x_e)] + 1} \right), \quad (3)$$

где  $T_{de}'$  – постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутой демпферной обмотке и замкнутой обмотке статора;

$k$  – постоянный коэффициент;

$R$  – скорость нарастания напряжения возбудителя;

$x_d$  – продольное индуктивное сопротивление синхронного генератора;

$x_d'$  – переходное индуктивное сопротивление обмотки статора по продольной оси;

$x_q$  – поперечное индуктивное сопротивление синхронного генератора;

$x_e$  – индуктивное сопротивление контуров нагрузки;

$r_s$  – активное сопротивление контуров статора;

$r_e$  – активное сопротивление контуров нагрузки.

Величина снижения напряжения генератора в этом случае будет равна:

$$U(t) = 1 - \frac{(1 + kRt_{m1}) \sqrt{(r_e^2 + x_e^2) [(r_s + r_e)^2 + (x_q + x_e)^2]}}{(r_s + r_e)^2 + (x_d + x_e)(x_q + x_e)}. \quad (4)$$

Для системы автоматического регулирования напряжения синхронного генератора с машинным возбудителем в случае внезапного наброса 100% нагрузки проведён аналитический расчёт провала напряжения на ЭВМ. В среде Mathcad

построена переходная характеристика ДГУ (рисунок 1), определено время, в течение которого напряжение на генераторе достигает минимального значения, и значение минимального напряжения на шинах генератора. Для ДГУ мощностью 100 кВт,  $\cos \varphi = 0,8$  при набросе 100 % нагрузки с коэффициентом мощности  $\cos \varphi = 0,8$  время, в течение которого напряжение на генераторе достигает минимального значения равно 0,5 с., а значение минимального напряжения составило 153 В. При этом время переходного процесса составило 3,3 с.

Максимальный провал напряжения составил 30% номинального значения напряжения на выходе ДГУ.

Принципиальное отличие системы синхронного генератора с самовозбуждением заключается в том, что регулирование напряжения начинается одновременно с наступлением его максимального провала.

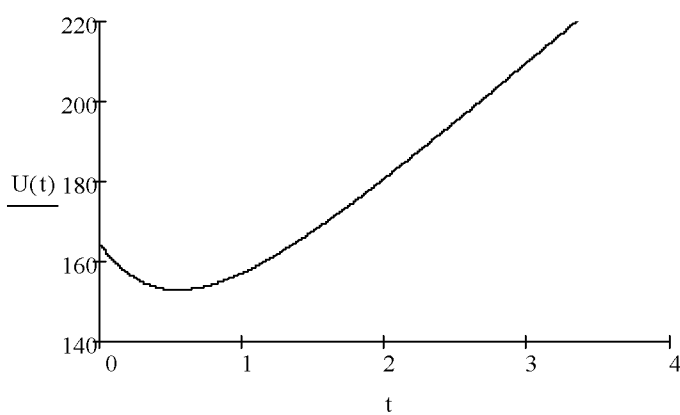


Рисунок 1 – Переходная характеристика ДГУ с отдельным возбудителем при набросе 100% нагрузки, построенная в среде Mathcad

Если предположить, что у генератора с самовозбуждением напряжения до начала и после его завершения равны, то при постоянстве сопротивления включаемой нагрузки изменение напряжения описывается формулой:

$$U(t) = U_n - (U_n - U_0)e^{-\frac{t}{T_d'}}, \quad (5)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение;

$U_0$  – значение минимального напряжения.

После преобразований для синхронного генератора с самовозбуждением получено следующее выражение для времени наступления минимального значения напряжения:

$$t_{m1} = \frac{T_{dk}' T_d''}{T_{dk}' - T_d''} \ln \frac{T_{dk}' (u'' - u')}{T_d'' \left( \frac{u_1}{1 - k_u (1 - u_1)} - u' \right)}, \quad (6)$$

где  $T_{dk}'$  – постоянная времени обмотки возбуждения при замкнутой на внешнюю цепь обмотке статора, разомкнутом демпферном контуре и включенном в контур возбуждения напряжении компаундирования;

$T_d''$  – постоянная времени демпферного контура при замкнутом контуре возбуждения и замкнутой на внешнюю цепь обмотке статора;

$k_u$  – коэффициент компаундирования;

$u_1$  – составляющая установившегося напряжения;

$u'$  – переходное напряжение генератора;

$u''$  – сверхпереходное напряжение генератора.

А величина снижения напряжения генератора может быть определена по следующей зависимости:

$$U(t) = 1 - \frac{u_1}{1 - k_u(1 - u_1)} + \left( \frac{u_1}{1 - k_u(1 - u_1)} - u_1 \right) e^{-\frac{t_{m1}}{T_{dk}}} - (u'' - u') e^{-\frac{t_{m1}}{T_d}}. \quad (7)$$

Переходная характеристика синхронного генератора с самовозбуждением показана на рисунке 2. Для ДГУ с самовозбуждением, при тех же исходных данных, что и для ДГУ с отдельным возбуждением при набросе 100 % нагрузки, значение минимального напряжения составило 165,7 В, а время переходного процесса 2,5 с.

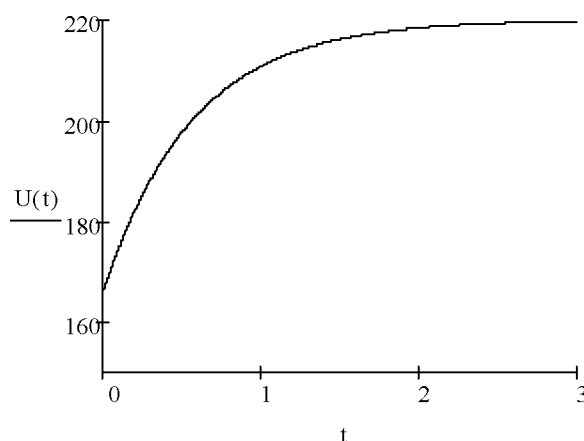


Рисунок 2 – Переходная характеристика ДГУ с самовозбуждением при набросе 100% нагрузки, построенная в среде Mathcad

Максимальный провал напряжения составил примерно 25% номинального значения на выходе ДГУ.

Результаты проведенного компьютерного моделирования показали, что на выходе резервных источников питания с ДГУ крупных информационно-вычислительных центров в динамических режимах работы могут наблюдаться провалы напряжения до 25-30% от номинального значения длительностью до 3 секунд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Супрун Г.Ф. Синтез систем электроэнергетики судов. – Л.: Судостроение, 1972. – 328 с.
2. Хомяков Н.М., Денисов В.В., Мещанинов П.А. Судовые электроэнергетические установки. – Л.: Судостроение, 1966, 400 с.
3. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Анализ и синтез автономного электроснабжения сельскохозяйственных объектов. – Ростов-на-Дону: Терра, 2001. – 222 с.

**Хорольский Владимир Яковлевич**

Ставропольский военный институт связи ракетных войск, г. Ставрополь  
Доктор технических наук, профессор  
Заслуженный работник высшей школы РФ  
Заместитель председателя диссертационного совета  
при Ставропольском военном институте связи ракетных войск.  
Тел.: 8-905-449-76-51

**Сапронов Сергей Владимирович**

Ставропольский военный институт связи ракетных войск, г. Ставрополь  
Кандидат технических наук  
Старший преподаватель кафедры «Технического обеспечения связи и АСУ»

**Ковалевский Сергей Георгиевич**

Ставропольский военный институт связи ракетных войск, г. Ставрополь  
Адъюнкт кафедры «Технического обеспечения связи и АСУ»  
Тел.: 8-928-339-02-13  
E-mail: [ksst83@mail.ru](mailto:ksst83@mail.ru)

УДК 004.75:004.416.6

В.Г. ГРИШАКОВ, Е.В. ЛЕБЕДЕНКО

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ГИБКОГО КОМПЛЕКСА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ГОЛОВНОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ АСУП

*В статье предложена новая модель организации распределенной системы управления запросами комплекса моделирования подразделения администрирования АСУП, обеспечивающая результативность выполнения гибридных запросов на моделирование, корректность которой определяется с использованием теории раскрашенных сетей Петри.*

*Ключевые слова:* моделирование; распределенный гибкий комплекс моделирования; АСУП; администрирование; CALS.

*The new organization model of distributed request control system of hybrid modeling system in CAM maintenance department, provided result of complex request data process, are offered. Its correctness determinate by using theory of colored Petri network.*

*Keywords:* modeling; distributed flexible modeling system; administration; CAM; CALS.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование стандартов систем управления предприятием сконцентрировано в области ресурсной поддержки процесса производства. Своевременное обеспечение предприятия такими ресурсами, как исходное сырье, производственные мощности, человеческие ресурсы, позволяет организовать эффективный производственный цикл. В условиях распределенного характера производственного процесса, а также повышения требований к контролю качества продукции особую роль приобретают технологии сопровождения изделий, объединенные CALS-идеологией [1,2].

В рамках этих технологий подразделение сопровождения корпоративной АСУП играют важнейшую роль в совершенствовании как процессов автоматизации, так и процессов интеграции. Наиболее значимые функции из них выполняет подразделение головного администрирования АСУП. Круг задач, решаемых подразделением головного администрирования, чрезвычайно широк. В общем случае можно выделить следующие функциональные группы задач, решаемые в целях сопровождения корпоративной АСУП: решение задач развертывания информационно-вычислительной сети предприятия (ИВС), оперативного управления ИВС предприятия, управления модернизацией ИВС предприятия и ее отдельных элементов.

Для эффективного использования ресурсов подразделения головного администрирования широко используется моделирование предметной сферы (АСУП, корпоративной ИВС и их составных частей) различными способами: имитационными, аналитическими, агентными, ситуационными и т. д. [3].

Для того чтобы обеспечить процесс одновременного выполнения множества

запросов на моделирование, необходимо иметь соответствующую инфраструктуру, реализуемую распределенными гибридными комплексами моделирования (РГКМ). Ресурсами РГКМ являются комплексы различных моделей и спецификаций, размещаемых на серверах моделирования. Существует проблема диспетчеризации работы компонентов моделирующего комплекса в случаях обработки запроса, схема моделирования которых предусматривает взаимодействие компонентов по входным и выходным параметрам. Таким образом, целесообразным является проведение исследования существующих моделей организации РГКМ с целью повышения результативности обработки гибридных запросов на моделирование.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать модель организации РГКМ для САУ АСУП на основе обоснованно выбранных моделей и механизма диспетчеризации работы ее компонентов, обеспечивающих обработку запросов на гибридное моделирование, а также обоснованных методов верификации полученных решений.

Дано: модель функционирования распределенного моделирующего комплекса вида:

$$M(F_{РГКМ}) = (\{K^i_{РГКМ}\} CV_{РГКМ}). \quad (1)$$

Результат работы РГКМ описывается следующим выражением:

$$A = F_{РГКМ}(Z),$$

где  $F_{РГКМ}$  – функция обработки запросов  $Z$ ;

$Z = (z_1, z_2, \dots, z_m, CM)$  – запрос на распределенное моделирование, требующий диспетчеризации работы компонентов;

$z_j$  – частный подзапрос;

$z_j = (M_j, d_j^{ucx}, t_j^{обп})$  – состав частного подзапроса;

$M_j$  – тип модели или процедура ее порождения;

$d_j^{ucx}$  – исходные данные для  $M_j$ ;

$t_j^{обп}$  – время, требующееся на обработку  $z_j$ ;

$A = (a_1, a_2, \dots, a_m, CM)$  – результат обработки  $Z$ ;

$a_j$  – результат обработки частного подзапроса  $z_j$ ;

$CM$  – схема моделирования, определяющая порядок передачи  $a_j$  между компонентами распределенного моделирующего комплекса при обработке  $z_j$ .

Модель организации компонента распределенного моделирующего комплекса вида:

$$K^j_{РГКМ} = \{M_j, T_j, S_j\},$$

где  $M_j$  – тип модели, выполняемой  $K^j_{РГКМ}$  или процедура ее порождения;

$T_j$  – значение модельного времени в рамках  $K^j_{РГКМ}$ ;

$S_j$  – список результатов  $a_j$  (для имитационных моделей – событий), являющихся исходными данными для функционирования  $M_j$  в разные моменты  $T_j$ .



Требуется: модифицировать  $M(F_{РГКМ})$  путем включения в состав  $СУ_{РГКМ}$  механизма диспетчеризации, обеспечивающего корректную обработку потока запросов  $Z$ , для получения результатов  $A$ .

### МЕТОДЫ, МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

С целью выполнения комплексных запросов на моделирование предлагается модифицировать РСУЗ путем внесения в ее состав системы диспетчеризации в отличие от указанных в [4]. В процессе модификации система диспетчеризации вносится в РСУЗ, как основную подсистему управления обработкой запросов.

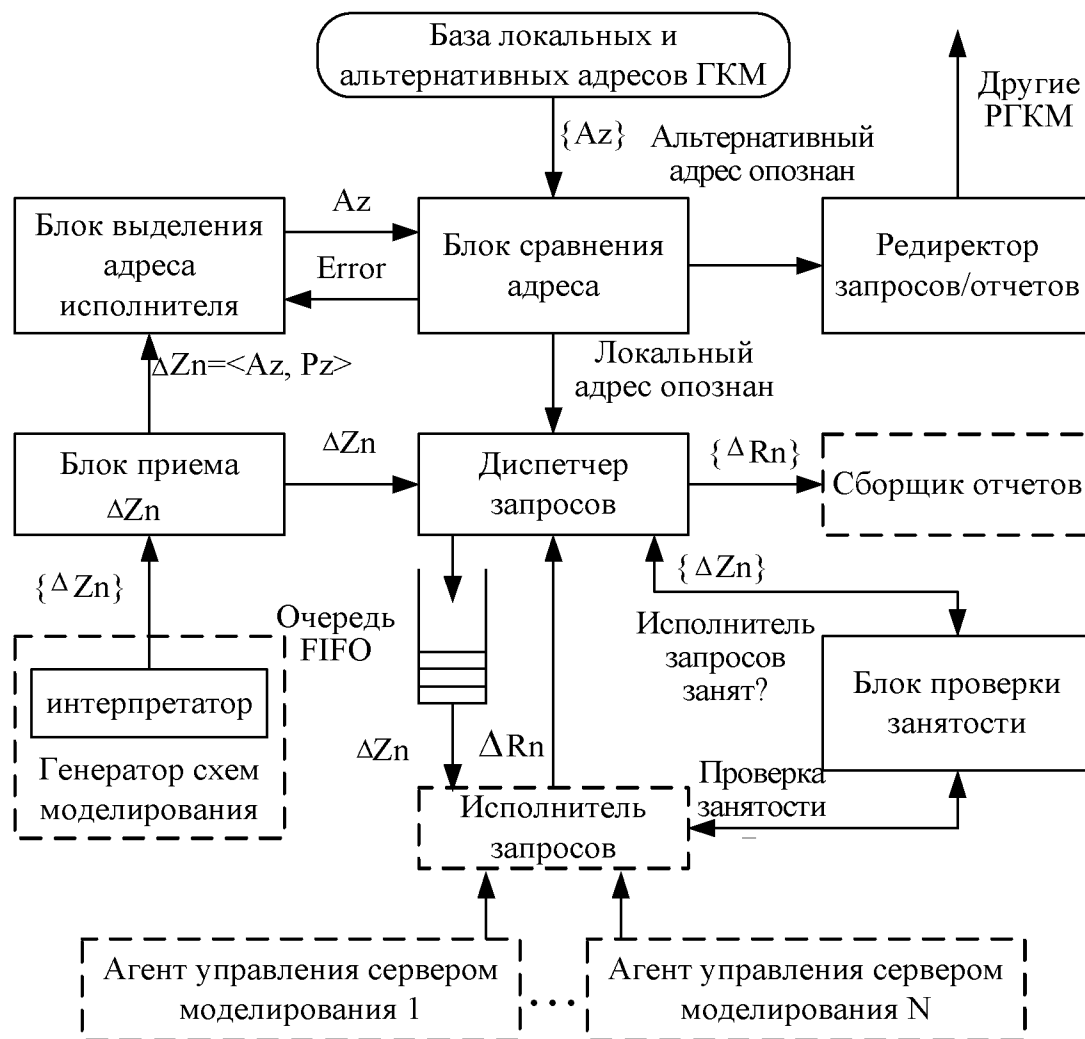


Рисунок 1 – Модель распределенной системы управления запросами

Предлагается добавить генератор схем моделирования, включающий интерпретатор сценариев языка запросов на моделирование, преобразующий корректный сценарий в схему моделирования, и внести изменения в диспетчер запросов, исполнитель запросов, блок проверки занятости и блок приема, связанные с диспетчеризацией при отображении схем моделирования на архитектуру РKM. Организационная модель модифицируемой РСУЗ с добавленной системой диспетчеризацией приведена на рисунке 1.

Для анализа возможностей РГКМ выполнять гибридные запросы на моделирование было проведено исследование динамики функционирования модели РСУЗ. В качестве показателей пригодности РСУЗ как распределенной асинхронной системы выбрано отсутствие зацикливаний и тупиковых ситуаций. Проведенный анализ методов формальной верификации распределенных систем показал наиболее целесообразное использование математического аппарата теории раскрашенных сетей Петри [5].

На основе модели организации РСУЗ разработано ее представление с использованием аппарата раскрашенных сетей Петри, которое исследовалось на возможность возникновения тупиковых ситуаций и зацикливаний. При этом рассматривался комплекс моделей, структура и начальные разметки которых определялись количеством серверов моделирования и частных запросов в гибридном запросе. Количество серверов и запросов варьировалось в диапазоне от двух до семи.

Последовательность состояний варианта модели в одном из опытов, показывающем корректный процесс обработки гибридного запроса, состоящего из трех частных запросов, на трех различных системах моделирования представлен на рисунке 2. При этом предполагается, что входные данные для третьего запроса необходимо получить из результатов обработки первого и второго запросов. Результаты исследований показали корректность обработки гибридных запросов и гарантированную остановку процесса обработки при некорректных входных данных, и были обобщены для использования в РГКМ с большим количеством систем моделирования и частных запросов в гибридном запросе.

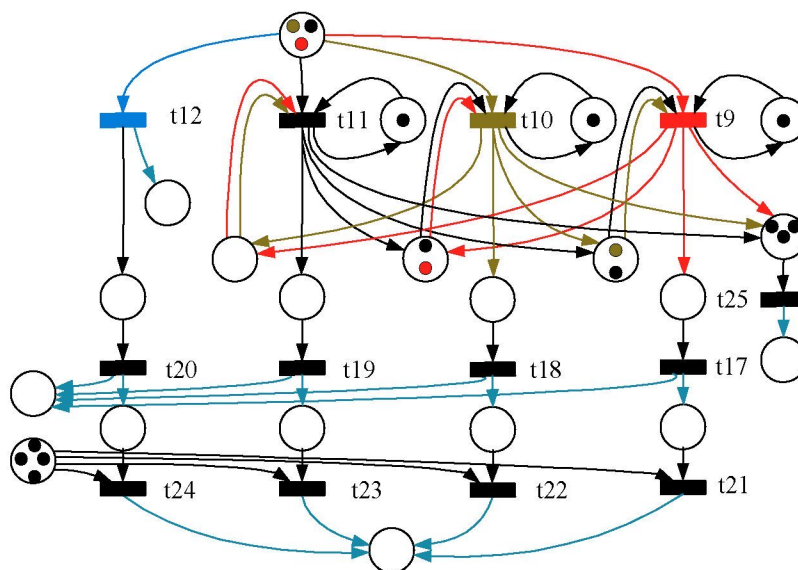


Рисунок 2 – Вариант модели РСУЗ для трех серверов моделирования

На основе предложений автора по модификации РСУЗ путем внесения системы синхронизации в ее состав разработан способ распределенной обработки данных с распределенным управлением, на который получен патент на изобретение №2231113. Способ относится к вычислительной технике и может использоваться в распределенных вычислительных системах и в частности в РГКМ для управления процессом обработки множества запросов пользователей. Предложения автора в

использованном способе заключаются в модификации механизма обработки запросов, часть входных данных которых получается из результата предыдущих запросов. Для решения этой задачи добавлен блок передачи запроса, который преобразует запрос в требуемый для внутреннего представления вид (для РГКМ таким представлением является схема моделирования).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Начальная разметка модели РСУЗ в сетях Петри имеет вид:

$$\{(1 - red, 1 - yellow, 1 - black)p_8, (1 - black)p_{14}, (1 - black)p_{15}, (1 - black)p_{16}, (0)p_{20}, (0)p_{21}, (0)p_{22}, (0)p_{24}, (0)p_{26}, (0)p_{27}, (0)p_{28}, (0)p_{29}, (0)p_{30}, (0)p_{31}, (0)p_{31}, (4 - black)p_{34}, (0)p_{10}, (0)p_r, (0)p_y, (0)p_b, (3 - black)p_{work}, (0)p_{count}\}.$$

Исследование приведенной на рисунке 2 модели РСУЗ проводилось с использованием формальных методов теории раскрашенных сетей Петри [6]. При этом были определены свойства предложенной модели. Указанная модель системы диспетчеризации РСУЗ РГКМ является ограниченной. В любой позиции сети количество меток не может превысить шести при любых значениях начальной разметки. Позиции  $p_{14}, p_{15}, p_{16}$  являются безопасными, так как они представлены одним входящим триггером. Остальные позиции являются небезопасными, так как представить их одним триггером не представляется возможным. Однако безопасность сети не является критичной, поскольку предусмотрены внешние механизмы останова процесса обработки в случае появления метки в  $p_{10}$ . Жизнь сети определяется начальной разметкой (вариантом гибридного запроса). Если запрос пользователя является корректным, то срабатывают все переходы, кроме  $t_{12}, t_{20}, t_{24}$ . Если запрос не корректен (отсутствует требуемый сервер моделирования), то срабатывают переходы  $t_{12}, t_{20}, t_{24}$ .

Для варианта начальной разметки модели РСУЗ, представленной на рисунке 2, в графе достижимости отсутствуют листья, что свидетельствует об отсутствии возможности закликиваний в процессе обработки гибридных запросов на моделирование. Конечное состояние сети определяется следующей разметкой:

$$\{(0)p_8, (1 - black)p_{14}, (1 - black)p_{15}, (1 - black)p_{16}, (0)p_{20}, (0)p_{21}, (1 - black)p_{22}, (0)p_{24}, (0)p_{26}, (0)p_{27}, (0)p_{28}, (1 - black)p_{29}, (0)p_{30}, (3 - black)p_{31}, (0)p_{31}, (1 - black)p_{34}, (1 - black, 1 - red, 1 - yellow)p_{10}, (1 - yellow, 1 - black)p_r, (1 - red, 1 - black)p_y, (0)p_b, (1 - yellow, 1 - red)p_{work}, (4 - black)p_{count}\}.$$

Остановка в случае возникновения тупика происходит в результате проверки отсутствия метки в позиции  $p_{work}$ .

Экспериментальная проверка прототипа РГКМ с модифицированной РСУЗ [7] показала повышение результативности при обработке гибридных запросов на моделирование.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования предложена модель организации РСУЗ со встроенными средствами диспетчеризации, обеспечивающая результативность выполнения гибридных моделей АСУП и ИВС, используемых подразделением администрирования в процессе сопровождения. Корректность предложенной модели подтверждается ее формальной верификацией на основе математического аппарата теории раскрашенных сетей Петри.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гришаков В.Г. Архитектура современной АСУП CALS-типа // Депонированная в ВИНТИ. – №24-В2006, 2006. – 17 с.
2. Мусаев А.А. Интеграция автоматизированных систем управления крупных промышленных предприятий: принципы, проблемы, решения // Автоматизация в промышленности. – М.: 2003. – №10.
3. Бакаев В.В., Судов Е.В., Гомозов В.А. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 624 с.
4. Лебеденко Е.В. Сравнение альтернатив распределенных систем управления гибридным моделированием объектов корпоративных информационно-вычислительных сетей // Датчики и системы. – 2002. – № 4. – С. 7-10.
5. Котов В. Е. Сети Петри. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 160 с.: ил.
6. Bozga M. Automated validation of distributed software using the IF environment. / Workshop on Software Model-Checking, associated with CAV'01 (Paris, France) July, 2001.
7. Гришаков В.Г., Воробьев А.А., Молчанов А.В., Лебеденко Е.В. Архитектура распределенной базы моделей сети гибких инструментальных комплексов // Депонированная в ВИНТИ, 1999. – 17 с.

### **Лебеденко Евгений Викторович**

Академия ФСО России, г. Орел  
Преподаватель, кандидат технических наук  
Тел.: 8(4862)40-83-15  
E-mail: [eugene\\_lebedenko@mail.ru](mailto:eugene_lebedenko@mail.ru)

### **Гришаков Вадим Геннадьевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Начальник отделения  
Тел.: 8(4862)40-83-15  
E-mail: [gvg@academ.msk.rsnnet.ru](mailto:gvg@academ.msk.rsnnet.ru)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

УДК 681.3.06

О.А. САВИНА, А.Л. САВИНА

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВОГО ЦИКЛА  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В статье раскрывается понятие финансового цикла и описываются его основные характеристики. Рассматриваются существующие способы исследования финансового цикла промышленного предприятия и их основные недостатки. Описывается структура разработанной модели финансовых потоков и возможности ее применения для анализа финансового цикла и получения прогнозных оценок финансового состояния предприятия.*

**Ключевые слова:** финансовый цикл; финансовые потоки; имитационная модель; прогнозная оценка; сценарные расчеты.

*In this paper is given the idea of financial cycle and its main characteristics. Here are described the existing methods of cash flow research and their drawbacks. In the paper is considered structure of the simulation model of cash flow and possibilities of using this model for financial analysis and prognosis.*

**Keywords:** financial cycle; cash flow; simulation model; prognosis; script.

Одним из наиболее существенных аспектов рациональной организации финансовых потоков является необходимость обеспечения их количественного и временного соответствия материальным потокам. В процессе функционирования ПП, как правило, подобное движение редко бывает синхронным – осуществляется либо предоплата, либо задержка платежа в результате отсутствия денежных средств (закупка сырья, материалов, расчеты с поставщиками и т.д.). В процессе управления финансовыми потоками следует учитывать, что материальные потоки меняются при изменении финансовых, и отсутствие управления последними приводит к возможности нарушения их динамического равновесия.

Задачи рациональной организации финансовых потоков не могут быть решены без управления ликвидностью и резервами, что предполагает выявление существующих связей материальных и финансовых потоков. Характер этих связей во многом определяется направленностью материальных потоков, которые могут обеспечивать производственную или инвестиционную деятельность. Поэтому для решения задачи синхронизации движения материальных и финансовых потоков, оптимального распределения во времени входящих и исходящих финансовых платежей необходимо разработать алгоритм принятия решений по управлению финансовыми потоками.

Операционная деятельность основана на обмене с другими экономическими субъектами, продуктами труда или титулами собственности, принимающими форму товара. Циклическая смена функциональных форм финансовых ресурсов в процессе их кругооборота, изображенная на рисунке 1, (денежная – товарная – производительная – товарная – денежная) позволяет выделить типовые повторяющиеся элементы – операционный и финансовый цикл [1].

Операционный цикл представляет собой повторяющийся элемент производственно-коммерческого процесса промышленного предприятия от получения сырья до возврата денежных средств в виде выручки. В начале операционного цикла на балансе появляются материальные запасы, по его окончании – выручка от произведенной и проданной продукции. Под финансовым циклом понимается повторяющийся элемент торгово-технологического процесса, в начале которого осуществляется оплата поставщикам сырья и материалов. Окончание финансового цикла также совпадает с поступлением выручки от произведенной и проданной продукции [3].

Для оценки эффективности текущей деятельности в финансовом менеджменте традиционно используются показатели средней продолжительности операционного и финансового цикла [4]. Средняя продолжительность операционного цикла  $D_{oc}$  может быть определена как:

$$D_{oc} = Inv_d + AR_d, \tag{1}$$

где  $Inv_d$  – оборачиваемость средств в запасах (в днях);

$AR_d$  – оборачиваемость средств в дебиторской задолженности (в днях).

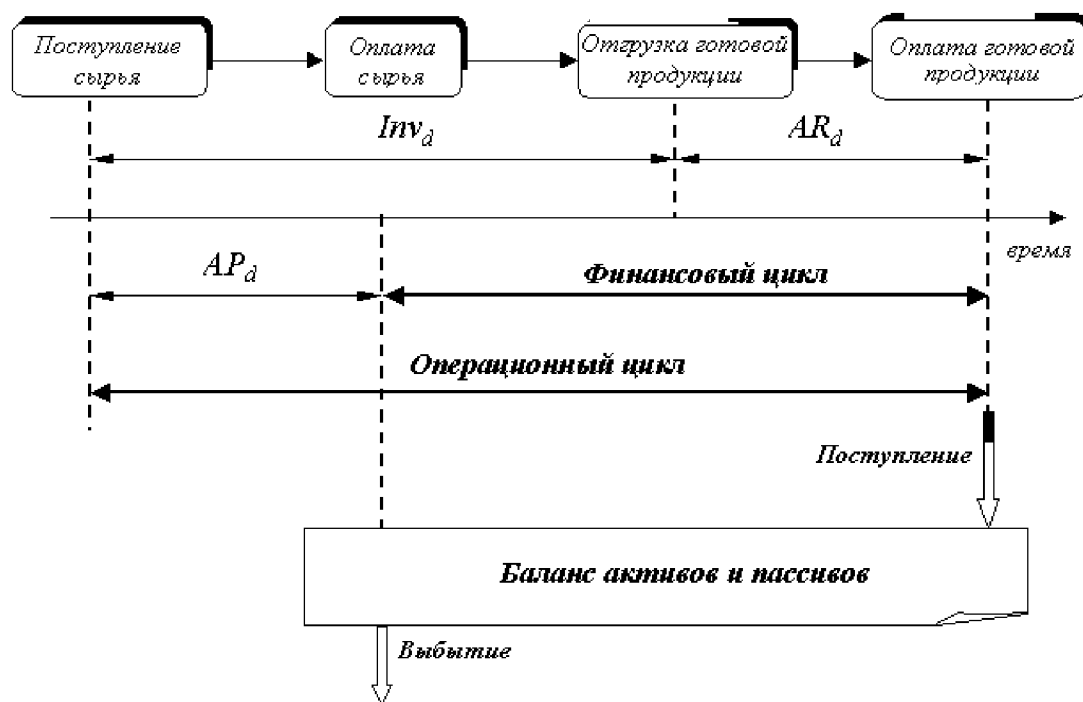


Рисунок 1 – Операционный и финансовый цикл в процессе основной деятельности ПП

Средняя продолжительность финансового цикла  $D_{cc}$  рассчитывается как:

$$D_{cc} = Inv_d + AR_d - AP_d, \tag{2}$$

где  $AP_d$  – оборачиваемость средств в кредиторской задолженности (в днях).

Рациональная организация финансовых потоков основывается на адекватной оценке стратегических целей и перспектив и эффективном управлении движением финансовых потоков в процессе функционирования промышленного предприятия [5].

Это предполагает следующее:

1) на уровне стратегического управления финансовыми потоками:

- разработку долгосрочного стратегического плана инвестиционной и финансовой деятельности промышленного предприятия и обеспечение его выполнения;
- обеспечение необходимого уровня финансовой устойчивости предприятия в процессе его развития.

2) на уровне операционного управления финансовыми потоками:

- осуществление эффективного регулирования финансовых потоков;
- оптимальное использование фондов денежных ресурсов (и их эквивалентов);
- обеспечение постоянной платежеспособности и заданного уровня ликвидности.

Анализ финансового цикла – мощный инструмент финансового планирования. В числе существенных недостатков этого метода следует отметить, что при его использовании исследуются усредненные составляющие. Для эффективного управления финансовыми ресурсами необходимо получить прогнозные оценки, например, с использованием инструментария имитационного моделирования [2]. Имитационное моделирование предоставляет возможность учета факторов неопределенности и риска в управлении финансовыми потоками. К ним относятся: неравномерное поступление заказов, несвоевременная их оплата, сбои в поставках и работе оборудования и т.д. Учет влияния этих факторов на финансовые показатели деятельности предприятия в модели осуществляется на основании эмпирических оценок их вероятностных характеристик, что позволяет уточнить основные параметры финансового цикла и получить его более достоверный прогноз.

Имитационная модель финансовых потоков была разработана в среде Delphi с использованием библиотеки SMPL. Информационное обеспечение модели составляет база данных, реализованная с помощью СУБД Interbase. В разработанной имитационной модели финансовых потоков разыгрываются наиболее существенные события в рамках операционного цикла предприятия:

- поступление заказа от клиента;
- планирование и приход поставок;
- оплата поставок;
- начало и окончание производства;
- отгрузка продукции;
- получение оплаты продукции.

В модели также отражены операции, связанные с финансовой деятельностью:

- выплата заработной платы и единого социального налога;
- выплата налога на добавленную стоимость;
- получение кредитов и выплата процентов по ним;
- начисление амортизации основных средств и нематериальных активов;
- расчет себестоимости продукции, прибыли за период и выплата налога на прибыль.

По результатам каждого периода составляется финансовая отчетность – бухгалтерский баланс и проводки по счетам. Отчетность реализована в упрощенной форме, то есть в нее включены лишь те статьи и счета, которые имеют отношение к финансовой деятельности предприятия. Тем не менее, на основании отчетности



можно формировать достаточно достоверные оценки рентабельности, прибыльности, устойчивости и других финансовых показателей.

В модели принят ряд допущений. Во-первых, предполагается, что реализована система поставок «точно вовремя», то есть материалы поступают на предприятие ко времени начала производства, а произведенная продукция немедленно отправляется заказчику. Во-вторых, считается, что производственные мощности достаточны для выполнения заказа без задержек. В-третьих, не принимается в расчет постоянный штат работников, а оплата труда производится сдельно, то есть начисляется в конце каждого месяца в зависимости от объема произведенной за этот месяц продукции.

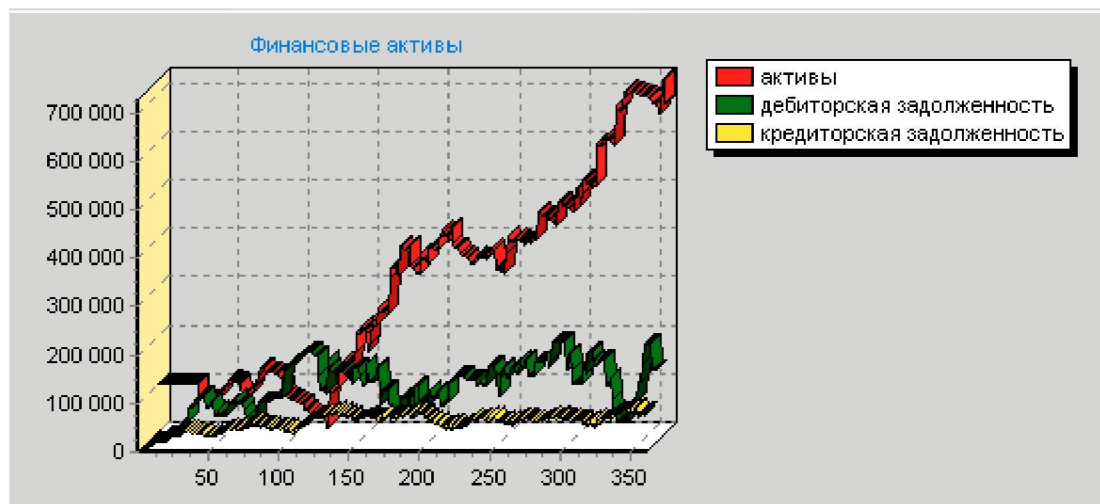


Рисунок 2 – График движения денежных средств в процессе основной деятельности ИП

С учетом этих допущений в результате выполнения модели формируется картина состояния финансовых активов предприятия. На рисунке 2 показан график изменения величины финансовых активов предприятия в течение одного года: свободных денежных средств, дебиторской и кредиторской задолженности. Приведенный график иллюстрирует устойчивое финансовое состояние и стабильное получение прибыли предприятием, что сопровождается ростом свободных денежных средств на расчетном счете (красная линия).

С помощью разработанной модели можно проводить различные расчеты и эксперименты. Например, оценить, насколько удобна схема расчетов с поставщиками и заказчиками. На рисунке видно, что дебиторская задолженность постоянно превышает кредиторскую, что приводит к ухудшению финансовых результатов, так как теряется возможность использования оборотных средств. Ущерб от этого можно оценить как процент за использование краткосрочного банковского кредита на среднехронологическую разность между дебиторской и кредиторской задолженностью.

Анализ результатов работы модели также показывает, когда и в каком объеме у предприятия появляются свободные денежные средства, и на основании этих данных можно составить план вложения в строительство, обновление производственной базы или покупку ценных бумаг. Если же в какой-то момент собственных денежных средств предприятия оказывается недостаточно для необходимых выплат, то с помощью модели можно определить необходимый размер кредита и оптимальную схему его погашения.



Особенно актуальной в условиях мирового экономического кризиса становится задача проведения сценарных расчетов с варьированием различных показателей. Так, например, сейчас большая часть предприятий не может поручиться за объем заказов, которые получит в ближайший период, поэтому необходимо разработать несколько среднесрочных финансовых планов, рассматривая возможности временной приостановки или сокращения производства. С другой стороны, необходимо учитывать возможные изменения условий расчета с поставщиками, поскольку некоторые из них могут уйти с рынка, а другие будут вынуждены ужесточить требования.

Имитационное моделирование предоставляет широкие возможности для финансовых менеджеров. Преимущество его перед другими средствами финансового анализа состоит в том, что оно предоставляет возможность учитывать факторы неопределенности, неизбежно сопутствующие всем аспектам деятельности предприятия. Таким образом, имитационное моделирование позволяет получить прогнозные оценки финансового состояния предприятия с достаточно высокой степенью достоверности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Хорн Дж. Основы управления финансами. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 799 с.
2. Кельтон В., Лоу А.. Имитационное моделирование. Классика CS. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
3. Ковалев В.В. Финансовый анализ: Управление капиталом. Выбор инвестиций. Анализ отчетности. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 512с.
4. Ковалев В.В. Управление денежными потоками, прибылью и рентабельностью: учебно-практическое пособие. – М.: ТК Велби, изд-во «Прспект», 2007. – 336 с.
5. Перар Ж. Управление финансами: с упражнениями. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 360 с.

#### **Савина Ольга Александровна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Профессор кафедры «Информационные системы», доктор экономических наук  
Тел.: 8(4862)76-19-10  
E-mail: [olsavina@yandex.ru](mailto:olsavina@yandex.ru)

#### **Савина Александра Леонидовна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Студентка кафедры «Информационные системы»  
Тел.: 8(4862)76-19-10  
E-mail: [alsavina@rambler.ru](mailto:alsavina@rambler.ru)

О.В. ТАРАКАНОВ, Е.И. НОВИКОВ

## МОДЕЛЬ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭТНОКОНФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ В СУБЪЕКТАХ РФ

*Предложена структура модели обучения процесса этноконфессиональной напряженности в субъектах Российской Федерации типа «авторегрессия скользящего среднего». Особенностью модели является учет времени запаздывания влияния контролируемых факторов на значения исследуемой переменной. Описан способ априорного анализа модели с использованием критериев устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Представлена модель краткосрочного прогнозирования этноконфессиональной напряженности, включающая помимо оценок влияния авторегрессии исследуемой переменной и контролируемых факторов оценку времени запаздывания влияния контролируемых факторов как независимой переменной.*

**Ключевые слова:** математическая модель; структурная идентификация; время запаздывания; мультиколлинеарность; линеаризация; устойчивость; этноконфессиональная напряженность; наблюдаемость; краткосрочный прогноз; априорный анализ модели; управляемость; точность модели.

*It structure of model of ethnoconfessional tension teaching in the regions of the Russian Federation of the «autoregression of sliding average» type is described. The essential feature of the model is consideration of the after-event time effect on controllable factors on the meaning of the variable under consideration. A means of a priori analysis of the model and criteria of stability, manageability and observability are described. We also describe the model of short-term prognosis of ethnoconfessional tension, evaluation of effects of autoregression of the variable under consideration and controllable factors, estimation of the after-event time effect and its influence on controllable factors as the independent variable.*

**Keywords:** mathematical model; structural identification; after-event time; multicollinearity; linearization; ethnoconfessional tension; a priori analysis of the model; stability; manageability; observability; short-term prognosis; accuracy of the model.

Принятие решений по управлению сложными объектами, к которым относятся общественно-политические процессы, занимает центральное место в деятельности органов государственной власти различного уровня. Процесс протекает, как правило, в условиях многокритериальности, многофакторности и неопределенности, что без дополнительной аналитической и инструментальной поддержки приводит к выбору неэффективных решений. Многофакторность и многокритериальность исследуемых объектов управления обуславливает актуальность создания в помощь лицу, принимающему решение, системы поддержки принятия решений (СППР).

СППР обеспечивают информационно-аналитическую поддержку процесса принятия решений, состоящего из следующих основных этапов: исследование объекта, формулировка критериев и ограничений, формирование альтернатив, анализ и выбор альтернативы, реализация выбранного решения, обратная связь и корректировка. Ключевым этапом процесса принятия решений является формирование альтернатив, поскольку неадекватная исходная информация для

принятия решений приводит к ошибочным управленческим решениям.

Математическое моделирование социально-политических процессов, как объектов управления, является одной из важнейших составляющих принятия адекватных управленческих решений, поскольку наличие математической модели исследуемого процесса позволяет осуществлять его прогнозирование и физическую интерпретацию отображаемых взаимосвязей. В настоящее время для прогнозирования социально-политических процессов в основном используются традиционные методы, опирающиеся на эвристические экспертные оценки и аналогии, что позволяет сделать вывод о недостаточной проработанности данной проблемы. В связи с этим актуальной является задача снижения числа эвристик в инструментальном аппарате с целью повышения точности прогнозов путем внедрения в СППР специальных математических и информационных моделей, для того чтобы лица принимающие решения могли понимать и анализировать полученные при моделировании результаты.

В настоящее время одной из доминирующих составляющих в формировании и развитии кризисных ситуаций в стране является этноконфессиональная напряженность (ЭКН), характеризующаяся множеством составляющих. Исходя из сказанного, становится очевидной необходимость комплексного изучения этноконфессиональной обстановки для принятия своевременных превентивных и адекватных мер в этноконфессиональной сфере как на федеральном уровне, так и на уровне субъектов Российской Федерации.

В статье предложена математическая модель прогнозирования уровня ЭКН, на основе которой возможно формирование множества альтернатив для принятия административных решений по устранению угроз возникновения кризисных ситуаций в сфере этноконфессиональных отношений.

Анализ процесса формирования этноконфессиональной напряженности показал, что он обладает следующими особенностями:

- на уровень ЭКН в субъектах РФ оказывают влияние большое число факторов потенциала этноконфессиональной напряженности;
- структура процесса формирования ЭКН в субъектах РФ качественно отличается для различных субъектов;
- структура процесса формирования ЭКН в субъектах РФ изменяется с течением времени и скорость изменений различна для различных субъектов;
- влияние ряда факторов, определяющих потенциал ЭКН, на уровень ЭКН, вследствие социальной природы этноконфессиональной обстановки, зачастую сказывается через определенный промежуток времени;
- для процесса формирования ЭКН характерно взаимное влияние показателей потенциала этноконфессиональной напряженности на уровень ЭКН, и степень этого влияния зависит от времени.

Для решения задач прогнозирования в этноконфессиональной сфере в настоящее время, как правило, используют традиционные методы, опирающиеся на экспертные оценки и эвристические подходы. Их недостатки – зачастую невысокая точность, а также неприменимость для количественной оценки вклада тех или иных факторов в формирование ЭКН.

Повышение точности и объективности получаемых результатов, а значит, и эффективности вырабатываемых управленческих решений возможно на основе применения математического моделирования исследуемого процесса, поскольку

наличие математической модели позволяет осуществлять его прогнозирование и физическую интерпретацию отображаемых взаимосвязей.

Вышеописанные особенности процесса формирования ЭКН позволяют сформулировать основные требования к системе прогнозирования уровня ЭКН в субъектах РФ:

- для описания процесса формирования ЭКН необходимо использовать динамические модели прогнозирования уровня ЭКН;
- применяемая модель оценки и прогнозирования должна обеспечивать высокую точность формируемых оценок;
- в процессе моделирования этноконфессиональной напряженности необходимо обеспечить учет запаздывания влияния факторов потенциала ЭКН на уровень ЭКН;
- необходимо обеспечить возможность априорного анализа модели исследуемого процесса;
- необходимо формировать отдельные прогнозы уровня ЭКН для каждого субъекта РФ.

Анализ моделей прогнозирования показал, что для решения задачи краткосрочного прогнозирования уровня ЭКН целесообразно использовать модель процесса типа «авторегрессия скользящего среднего» (АРСС) с различным числом членов ряда для каждого влияющего фактора. Известно, что для одношагового прогноза рекомендуется использовать только предыдущие значения исследуемой переменной и значения контролируемых и неконтролируемых факторов [1].

Исходя из этого, в качестве модели обучения процесса ЭКН предлагается использовать модель, представленную следующим выражением:

$$y_0(k+1) = \beta_0(k) + \beta_1(k) \cdot y(k) + \sum_{i=2}^p (\beta_i(k) \cdot v_i(k - \tau_i)) + \varepsilon(k), \quad (1)$$

где  $y_0(k+1)$  – оценочное значение уровня ЭКН на  $k+1$  шаге;

$\beta_1(k)$  – коэффициент, определяющий значимость значения уровня ЭКН на  $k$  шаге;

$y(k)$  – значение уровня этноконфессиональной напряженности в момент времени  $k$ ;

$\beta_i(k)$  – коэффициенты, определяющие значимость контролируемых факторов  $v_i$  в момент времени  $k$ ;

$v_i(k - \tau_i)$  – значения контролируемых показателей в момент времени  $k - \tau_i$ ;

$\tau_i$  – время запаздывания влияния контролируемых факторов на значение этноконфессиональной напряженности;

$\varepsilon(k)$  – значение случайной величины, сопутствующей наблюдению, в момент времени  $k$ ;

$p$  – количество контролируемых факторов.

Численное значение уровня ЭКН  $y_j$  в  $J$ -ом субъекте РФ находится

взвешенным суммированием количества проявлений этноконфессионального характера (с учетом балльных оценок масштабности проявлений ЭКН), наблюдавшихся в данном субъекте в заданный интервал времени:

$$y_j = \sum_{i=1}^m n_i \cdot R_{ij},$$

где  $R_{ij}$  – балльная оценка масштабности  $i$ -го проявления ЭКН в  $j$ -ом субъекте РФ;

$n_i$  – число проявлений ЭКН  $i$ -го вида, наблюдавшихся в  $j$ -ом субъекте РФ в заданный интервал времени;

$m$  – число различных видов проявлений.

Анализ мнений экспертов показал, что среди контролируемых факторов наибольшее влияние на уровень ЭКН оказывают следующие факторы:

- этническое разнообразие субъекта;
- территориальное обособление этнических групп;
- приток мигрантов, этнически чуждых основному населению субъекта;
- конфессиональное разнообразие в субъекте (наличие конфессий, деноминаций, религиозных направлений);
- наличие (распространенность) нетрадиционных религиозных и псевдорелигиозных направлений;
- диспропорции этнического состава органов власти субъекта относительно этнического состава его населения;
- активность деятельности органов государственной власти в сфере этноконфессиональных отношений;
- наличие государственных, религиозных, национальных праздников, международных мероприятий (саммитов, олимпиад, чемпионатов, фестивалей и т. д.), переизбрания религиозных, национальных и государственных лидеров в описываемый период времени на территории субъекта РФ;
- уровень безработицы;
- уровень преступности в сфере оборота наркотиков

Перечисленные факторы необходимо включать в модель (1) после их анализа на взаимную коррелированность и мультиколлинеарность.

Для определения взаимной корреляции необходимо рассчитать парные выборочные коэффициенты корреляции для всех независимых показателей с использованием следующего выражения [2]:

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}_i) \cdot (x_j - \bar{x}_j)]}{\tilde{\sigma}_{x_i} \cdot \tilde{\sigma}_{x_j}},$$

где  $x_i, x_j$  – наблюдавшиеся значения исследуемых величин;

$\bar{x}_i$  и  $\bar{x}_j$  – выборочные средние исследуемых величин;

$\tilde{\sigma}_{x_i}$  и  $\tilde{\sigma}_{x_j}$  – выборочные средние квадратические отклонения исследуемых величин;

$n$  – объем выборки.

Для интерпретации полученные результаты расчетов можно представить в виде корреляционной матрицы, общий вид которой изображен в таблице 1.

Таблица 1 – Значения парных коэффициентов корреляции

Показатели	$x_1$	$x_2$	.....	$x_p$
$x_1$	1	$r_{12}$	.....	$r_{1p}$
$x_2$	$r_{21}$	1	.....	$r_{2p}$
.....	.....	.....	.....	.....
$x_p$	$r_{p1}$	$r_{p2}$	.....	1

Если коэффициент парной корреляции  $r_{ij} \geq 0,7$ , то показатели явно коллинеарные. В этом случае они дублируют друг друга и один из них рекомендуется исключить из уравнения регрессии.

Парные коэффициенты корреляции позволяют обнаружить лишь явную коллинеарность независимых показателей. Однако при использовании множественного регрессионного анализа часто возникают ситуации, когда более чем два показателя связаны между собой линейной зависимостью, то есть имеет место мультиколлинеарность показателей.

Для выявления мультиколлинеарности показателей необходимо исследовать матрицу  $X^T \cdot X$ , где  $X$  – матрица значений независимых факторов. Если определитель матрицы  $X^T \cdot X$  близок к нулю (например, одного порядка с накапливающимися ошибками вычислений), то это свидетельствует о наличии мультиколлинеарности. В этом случае необходимо выявить определяющие ее показатели. С этой целью рассчитываются множественные коэффициенты корреляции:

$$R_{i,12\dots p} = \sqrt{1 - \frac{|q_p|}{q_{ii}}}$$

где  $q_p$  – матрица значений парных коэффициентов корреляции;

$|q_p|$  – определитель матрицы  $q_p$ ;

$q_{ii}$  – алгебраическое дополнение элемента  $r_{ii}$  матрицы  $q_p$ .

При этом в качестве зависимой переменной поочередно выбирается каждый из независимых факторов.

Априорный анализ модели (1) предлагается осуществлять с использованием методов теории автоматического управления, в которой разработаны формальные требования к обучаемым моделям прогноза развития динамических процессов и критерии проверки пригодности выбранной модели для применения в системе обучения [3]. В частности, известно, что задача идентификации прогнозирующей модели динамического процесса имеет единственное решение тогда и только тогда, когда выбранная для обучения модель этого процесса устойчива, управляема и

наблюдаема.

Априорный анализ модели (1) предлагается осуществлять с помощью известных критериев устойчивости, управляемости и наблюдаемости динамических систем, разработанных А. М. Ляпуновым и Р. Калманом.

Для осуществления априорного анализа модель (1) необходимо представить в каноническом виде в пространстве состояний:

$$\begin{cases} x(k+1) = F(k) \cdot x(k) + G(k) \cdot \xi(k) \\ y(k) = H(k) \cdot x(k) + \varepsilon(k), \end{cases}$$

где  $x(k)$  – вектор переменных состояния, сформированный из параметров модели (1);

$\xi(k)$  – вектор управляющих воздействий;

$\varepsilon(k)$  – погрешность измерения исследуемой переменной;

$F(k)$  – функциональная матрица состояния системы (объекта);

$G(k)$  – функциональная матрица управления (входа);

$H(k)$  – функциональная матрица выхода по состоянию.

Для проверки управляемости системы необходимо построить матрицу управляемости  $Q$ . Необходимым и достаточным условием управляемости системы, полученным американским ученым Р. Калманом [3], является условие, при котором ранг матрицы управляемости  $Q$  будет равен  $n$ , т. е. эта матрица будет невырожденной.

В общем виде матрица управляемости имеет следующий вид:

$$Q = \begin{bmatrix} G(k) & F(k) \cdot G(k) & F(k)^2 \cdot G(k) & \dots & F(k)^{n-1} \cdot G(k) \end{bmatrix},$$

где  $n$  – количество переменных состояния.

Необходимым и достаточным условием наблюдаемости системы, полученным американским ученым Р. Калманом [3], является условие, при котором ранг матрицы наблюдаемости  $N$  будет равен  $n$ .

В общем виде матрица наблюдаемости имеет следующий вид:

$$N = \begin{bmatrix} H^T & F(k)^T \cdot H^T & (F(k)^T)^2 \cdot H^T & \dots & (F(k)^T)^{n-1} \cdot H^T \end{bmatrix},$$

где  $n$  – количество переменных состояния.

Модель (1) является нелинейной по параметрам, поскольку в неё входят времена запаздывания  $\tau_i$  влияния контролируемых факторов на исследуемую переменную. С целью упрощения решения задачи оценивания параметров модели, а также для осуществления возможности априорного анализа свойств модели, предлагается осуществить её линеаризацию.

Линеаризация заключается в оценке времени запаздывания как независимого параметра. Предлагается несколько возможных подходов для определения времени запаздывания влияния факторов на этноконфессиональную напряженность.

1. Визуальный метод. Данный метод позволяет определить время запаздывания путем наложения графиков, отражающих динамику изменения факторов и индекса этноконфессиональной напряженности во времени (рисунок 1).

Данный метод можно использовать: во-первых, для определения факта наличия запаздывания; во-вторых, для оценки временных границ, в которых может изменяться время запаздывания влияния фактора на прогнозируемую величину. Полученные значения временных границ в последующем целесообразно использовать в более точных математических методах.

2. Методы оптимизации. Одним из методов оптимизации является метод полного перебора. Данный метод позволяет наиболее точно определить время запаздывания, но в то же время он обладает наибольшей вычислительной сложностью.

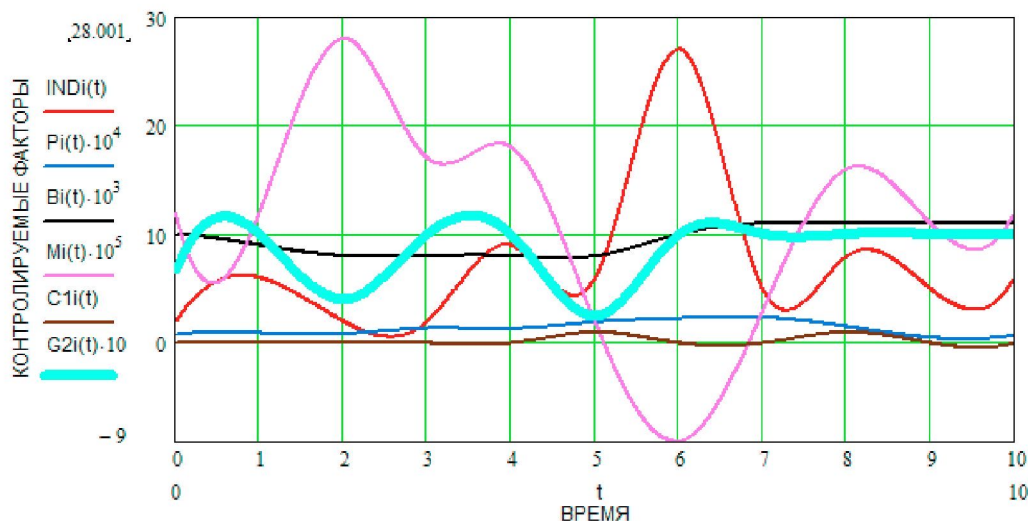


Рисунок 1 – Динамика изменения уровня этноконфессиональной напряженности и значений контролируемых факторов (фрагмент)

Альтернативным является метод, в основе которого лежит использование генетических алгоритмов, которые позволяют получить оптимальное по выбранному критерию решение за гораздо меньшее число операций, чем при полном переборе. Следует отметить, что точность данного метода уступает точности метода полного перебора и определяется заранее заданной точностью метода.

3. Анализ корреляционной функции. Данный метод позволяет оценить время запаздывания по взаимным корреляционным функциям [1] влияющих факторов и индекса ЭКН путем перебора возможных значений времени запаздывания по выражению:

$$r_k^j = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (x_{i-\tau_k}^j) \cdot y_i - (\sum_{i=1}^n x_{i-\tau_k}^j) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n x_{i-\tau_k}^j{}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{i-\tau_k}^j)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}},$$

где  $\tau_k$  – время запаздывания влияния контролируемого фактора  $x^j$  на ЭКН, причем значение  $k$  лежит в диапазоне от 0 до значения, определённого по визуальному методу;

$r_k^j$  – коэффициент корреляции, определяющий тесноту линейной связи между



контролируемым фактором  $x^j$  и индексом ЭКН  $y$ , соответствующий  $\tau_k$ ,  $j = \overline{1, m}$ , где  $m$  – количество контролируемых факторов;

$n$  – размер выборки.

Значение  $\tau_k$ , при котором  $|r|$  примет наибольшее значение из отрезка  $[0, 1]$ , будет соответствовать искомому времени запаздывания.

Данный подход предполагает, что исследуемый процесс является эргодическим.

С целью экспериментальной проверки предлагаемой модели была проведена параметрическая идентификация с использованием метода наименьших квадратов для субъектов-представителей одного из федеральных округов РФ. Оценка точности моделей с применением показателя «средняя абсолютная процентная ошибка МРАЕ» (Mean Percent Absolute Error) показала, что её значение лежит в пределах от 2% до 11%, что свидетельствует о высокой точности моделей.

Обученную модель (1) можно использовать для краткосрочного прогнозирования уровня этноконфессиональной напряженности в субъектах РФ. Модель прогноза представляется следующим выражением:

$$y_{\text{п}}(k+1) = \beta_0(k) + \beta_1(k) \cdot y(k) + \sum_{i=2}^p \beta_i(k) \cdot v_i(k - \epsilon_i) + \varepsilon(k), \quad (2)$$

где:  $y_{\text{п}}(k+1)$  – прогнозное значение этноконфессиональной напряженности на шаг  $k+1$ ;

$y(k)$  – значение уровня этноконфессиональной напряженности в момент времени  $k$ ;

$\beta_1(k)$  – оценка коэффициента, определяющего значимость значения уровня ЭКН на  $k$  шаге;

$\beta_i(k)$  – оценки коэффициентов, определяющих значимость контролируемых факторов  $v_i$  в момент времени  $k$ ;

$v_i(k - \epsilon_i)$  – значения контролируемых факторов в момент времени  $k - \epsilon_i$ ;

$\epsilon_i$  – оценка времени запаздывания влияния контролируемых факторов на значение этноконфессиональной напряженности;

$\varepsilon(k)$  – значение случайной величины, сопутствующей наблюдению, в момент времени  $k$ ;

$p$  – количество контролируемых факторов.

С целью оценки точности краткосрочного прогноза этноконфессиональной напряженности по модели (2) ретроспективные данные были разделены на две совокупности – обучающую и контрольную. Результаты оценки точности прогноза, произведенного по данным контрольной совокупности, показали, что средняя точность прогноза составила величину 12%.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности прогноза и целесообразности использования описанной в статье структуры модели для мониторинга этноконфессиональной напряженности в субъектах РФ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 376 с.
2. Кремер Н. Ш. Теория вероятности и математическая статистика: учебник для вузов. – 2-е изд. – М. : Юнити, 2006. – 574 с.
3. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и её применение в связи и управлении; пер. с англ.; под ред. проф. Б. Р. Левина. – М.: «Связь», 1976. – 496 с.

**Тараканов Олег Викторович**

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры № 32

Тел.: 41-99-31

**Новиков Евгений Иванович**

Академия ФСО России, г. Орел

Старший преподаватель кафедры № 32

Тел.: 41-99-32

E-mail: [nei05@rambler.ru](mailto:nei05@rambler.ru)

А.В. ГРЕБЕЛЬНЫЙ

## ОЦЕНКА ПОСТАВЩИКОВ НА ОСНОВЕ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Данная статья описывает общие подходы к процессу выбора поставщиков. Процесс выбора поставщика состоит не только из просмотра списка цен. Правильный выбор зависит от ряда факторов, таких, как деньги, качество, быстрота работы и уровень сервиса. Вес этих факторов зависит от приоритетов и стратегии отдельно взятого предприятия. Эта статья описывает различные методы процесса выбора поставщиков. Кроме того, представлено краткое описание вовлечения информационных технологий в данный процесс.*

**Ключевые слова:** *распределенная система мониторинга; многопараметрическая оптимизация; проектирование.*

*The article below describes supplier selection process. Choosing the right supplier involves much more than scanning a series of price lists. The right choice will depend on a wide range of factors such as value for money, quality, reliability and service. How to weigh up the importance of these different factors are being based on business' priorities and strategy of particular company. This article describes different methods of the supplier selection process. Also there is description of involvement and importance of Information Technology in this process.*

**Keywords:** *distributed system of monitoring; multiparameter optimization; designing.*

Использование инструментов маркетинга в управлении закупками в современных условиях имеет общепризнанное значение. В странах с развитой рыночной экономикой маркетинговой сфере уделяется большое внимание, поскольку неэффективная маркетинговая система фирмы может привести не только к упущенной выгоде, но и прямым убыткам. Прежде всего, это связано с тем, что промышленным предприятиям приходится действовать на рынке в условиях изменчивой внешней среды, большинство факторов которой являются негативными. Поэтому они вынуждены осуществлять мониторинг внешней среды, в том числе и области поставок. Очень важным при этом является наличие полноценной информации, возможность ее эффективной обработки, проведение анализа существующего положения на рынках, прогнозирование и планирование деятельности на всех уровнях.

На ранних стадиях развития рынка от снабжения требовалось только одно – постоянное наличие необходимого товара. Позднее стали требовать минимальную цену. Потом пришла пора качества и дополнительного сервиса. Относительно недавно многие рынки вошли в такую фазу развития, которая требует создания конкурентных преимуществ совместно с поставщиками, то есть партнерства.

Процесс закупки представляет собой цепочку взаимосвязанных действий. Начинается он с составления заявок, а заканчивается практическим поступлением требуемых товаров в нужном количестве с соблюдением качества в заданные сроки, а

самое главное, что может оказаться лимитирующим фактором, – на приемлемых условиях. Таким образом, процесс закупки заканчивается выполнением заказа, сделанного на основании имеющихся заявок конкретному поставщику. Поэтому необходимо, чтобы заявки на закупку были вовремя сформулированы, поставщики правильно выбраны, а заказы на поставку и договора с поставщиками верно и своевременно составлены и оформлены.

Планирование и проведение деятельности по закупке и поставке начинается с выбора соответствующих данной заявке поставщиков. Выявление и изучение источников закупки и поставки не является разовым мероприятием, а должно проводиться систематически, базируясь на различных источниках информации. Исходя из таких критериев, как масштаб, форма собственности, география деятельности, поставщиков можно классифицировать, как это представлено на рисунке. Таким образом, разнообразие и большое число потенциальных поставщиков требуемой продукции делает весьма актуальной проблему выбора тех из них, которые могли бы с наибольшим эффектом обеспечить успешную производственно-сбытовую деятельность отдельно взятой компании или фирмы.

Принимая решение в пользу какой-либо бизнес-единицы, с которой предприятие планирует вести коммерческую деятельность по поставке материалов или оказанию услуг, менеджер выбирает не только данного поставщика, но и также всю цепь поставок и процессы, которые осуществляются впереди него в логистической цепи.

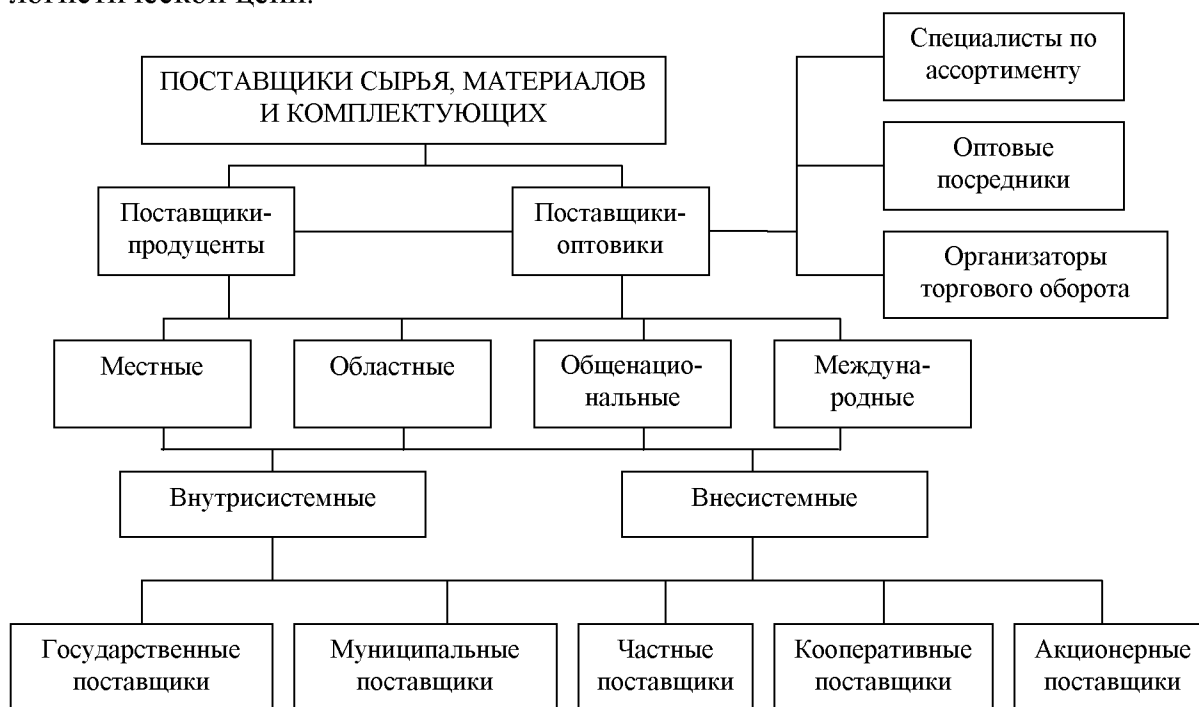


Рисунок 1 – Классификация поставщиков

Для оценки потенциальных поставщиков различные авторы предлагают следующие методики [1,2]:

- сравнение коммерческих предложений (котировочных цен);
- размещение пробного (пилотного) заказа;

- обращение к услугам специализированных агентств и государственных служб;
- метод неформальной (личностной) оценки;
- метод регламентированной дистанционной оценки;
- логистический аудит.

В большинстве случаев используется правило «10 «С» для эффективной оценки поставщика», которое включает следующие критерии [4]:

- Competence – компетентность поставщика решать поставленные задачи;
- Capacity – мощности поставщика, способные удовлетворить потребности покупателя;
- Commitment – обязательство поставщика перед потребителем относительно качества, цены и обслуживания;
- Control systems – системы контроля материальных запасов, издержек, бюджетов, персонала и информации;
- Cash resources and financial stability – ресурсы наличности и финансовая стабильность, свидетельствующие о финансовой устойчивости поставщика и его способности продолжать бизнес в обозримом будущем;
- Cost – цена в соответствии с качеством и уровнем обслуживания;
- Consistency – стабильные поставки (где это возможно), совершенствование качества и услуг;
- Culture – и поставщик, и потребитель имеют общие ценности;
- Clean – поставщики и поставляемый ими товар должны соответствовать требованиям законодательства и экологической безопасности;
- Communication – возможность общаться с поставщиком с помощью электронных средств.

Технический и производственный потенциал определяет возможности поставщика выполнить требуемые условия поставки, которые в агрегированном виде включают цену, количество и качество товара, сервисные услуги. Оценке, помимо документальных подтверждений пределов таких возможностей, подлежат опыт осуществления им аналогичных поставок, объем его производственных мощностей, наличие у него необходимых машин и оборудования, а также квалифицированных кадров. Если потенциальный поставщик является дистрибьютором, то объектом исследования выступают его дистрибьюторские возможности. Наряду с квалификацией персонала оценке подвергаются: стратегия дистрибуции, политика формирования и поддержания запасов, сервисные услуги и конкурентоспособность.

Оценка финансового состояния потенциальных поставщиков весьма существенна, поскольку в современных условиях появляются новые тенденции, вызванные приспособлением последних к дефициту финансовых ресурсов:

- падение объемов производства (возникает риск невыполнения поставщиком своих договорных обязательств);
- вынужденная замена одних материальных ресурсов на другие или изменение очередности выполнения заказов (повышается вероятность снижения качества поставляемой продукции и снижается уровень логистического обслуживания потребителей);
- адаптация производственного ассортимента к структуре имеющихся в распоряжении ресурсов (повышается вероятность роста ассортиментных отклонений поставки от договора).

В настоящее время основной подход, применяемый к поставщикам, основан на оценке их финансового состояния, которое отражено в соотношении структур его активов и пассивов, т.е. средств предприятия и их источников. Анализ проводится на основе исследования динамики абсолютных и относительных финансовых показателей. К примеру, балансовый отчет за последние 3 – 5 лет, показывая долгосрочную рентабельность, на практике служит основным доказательством устойчивости финансового положения потенциального контрагента.

С другой стороны, существует мнение [5], что в разрезе логистической концепции управления цепями поставок существующие подходы не дают возможности провести компетентный анализ и не позволяют принять во внимание основные факторы, негативно влияющие на процессы движения материальных ресурсов по цепи до необходимого звена.

Концепция управления цепями поставок предусматривает управление процессами во всей цепи поставок, осуществление интеграционных процессов, которые позволяют оптимизировать материальные потоки между звеньями, а также обмен информацией в режиме *on-line*. Данная концепция позволяет понять, насколько изменится цепь и процессы в ней при переходе с одного поставщика на другого. Необходимо учитывать, что данный процесс может оказаться намного сложнее, чем кажется на первый взгляд. Это связано с возрастанием объемов информации, используемой для анализа при поддержке принятия решений, а необходимость длительного хранения этой информации требуют применения в системах поддержки принятия решения специализированных баз данных.

Использование информационных систем в современном бизнесе позволяет значительно упростить процесс анализа и выбора поставщиков. Эффективная информационная система, обеспечивающая поддержку принятия управленческих решений, должна быть основана на базе знаний, в которой содержится информация о возможных вариантах и правилах принятия решений [3].

С 1985 по 1997 год различные отрасли промышленности инвестировали миллиарды долларов в системы планирования корпоративных ресурсов и управления цепочками поставок, но не получили хоть сколько-нибудь ощутимого возврата от инвестиций. Одной из причин такого положения является необходимость ориентации на потребителя. Реалии современного мира оказались таковы, что потребители, а не производитель или дистрибьютор, выбирали канал поставки. Производитель должен был иметь возможность быстро реагировать в зависимости от того, какой из каналов предпочел потребитель. Примером одного из первых успешных проектов по интеграции цепей поставок является сотрудничество между подразделением U.S. Foods Group компании Nabisco и его клиентом – компанией Wegmans Food Markets, имеющей сеть супермаркетов. Обе компании добились серьезных финансовых результатов в рамках пилотного проекта, при реализации которого проводилось тестирование охватившей всю отрасль расширенной цепочки поставок, получившей название Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR). Во время пилотного внедрения CPFR компании сформировали группы для разработки совместного бизнес-плана, определения целей и развития партнерских отношений, дабы повысить эффективность обмена информацией в рамках всей цепочки поставок. CPFR – это отраслевая группа, в состав которой входит более 30 консалтинговых, производственных и торговых компаний, в том числе Benchmarking Partners, Nabisco,

Kmart, Levi Strauss and Co., Procter&Gamble и Wal-Mart, а также производители систем управления цепочками поставок, такие как Manugistics и Logility. Группа применяет новые методы ведения бизнеса, предполагающие тесную интеграцию между торговыми партнерами, электронный обмен данными (EDI) и использование Internet-технологий для сокращения затрат и объема товаров, хранящихся на складе, и повышения уровня обслуживания потребителей. Входящая в состав CPFR ассоциация Voluntary Interindustry Commerce Standards (VICS) публикует базовые принципы, чтобы помочь участникам цепочки поставок лучше планировать, предсказывать спрос и пополнять запасы продуктов. Совместный проект оказался плодотворным именно потому, что позволил производителю и торговой организации согласовывать планы поставок и бюджет.

Организации используют системы управления цепочками поставок, чтобы добиться значительных преимуществ перед конкурентами. С помощью системы управления цепочками поставок компании стремятся улучшить обслуживание потребителей, увеличить точность прогнозов, сократить объем товаров на складах и снизить затраты, а также сократить время выпуска товаров на рынок. Со временем системы управления цепочками поставок будут влиять на пользователей так же, как системы планирования корпоративных ресурсов (ERP).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бродецкий Г.Л., Терентьев П.А. Применение метода аналитической иерархии для оптимизации места расположения регионального распределительного центра // Логистика и управление цепями поставок. – №1. – февраль 2005. – С. 26- 34.
2. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. и научн. редакцией проф. В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 976 с.
3. Лашкевич И. Информационные технологии управляют предприятием [Электронный ресурс] // [http://www.aishkp.ru/articles/h2\\_99.htm](http://www.aishkp.ru/articles/h2_99.htm).
4. Леншин И.А. Основы логистики. – М.: Машиностроение, 2002. – 464 с
5. Stephen Guth. Vendor management: Measuring value for the money. CIO (US). 02/20/2008 с. 98

#### **Гребельный Антон Владимирович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Аспирант  
Тел.: + 7(926)9812368  
E-mail: [bst7@yandex.ru](mailto:bst7@yandex.ru)

УДК 681.3.011.013

Т.З. АРАЛБАЕВ, Р.Р. ГАЛИМОВ

**МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ  
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Предлагается метод оптимизации распределенной системы мониторинга технологических объектов по критерию минимальных стоимостных затрат с комплексным учетом требований по производительности, надежности функционирования и размещения подсистем на местности.*

**Ключевые слова:** распределенная система мониторинга; проектирование; многопараметрическая оптимизация.

*The method of optimisation of the distributed system of monitoring of technological objects by criterion of the minimum cost expenses with the complex account of requirements on productivity, reliability of functioning and placing of subsystems on district is offered.*

**Keywords:** distributed system of monitoring; multiparameter optimization; designing.

Одной из основных задач разработки сложных распределенных систем мониторинга (РСМ) является выбор совокупности проектных решений, в комплексе обеспечивающих оптимум целевой функции. Не случайно, этой задаче в теории проектирования уделено особое внимание. В частности, в работе [1] представлена топологическая модель размещения базовых станций с учетом дальности действия радиоканала. В статье [2] рассматриваются особенности обеспечения надежности распределенных систем.

Анализ этих работ позволил сделать вывод, что, несмотря на детальность проработки отдельных вопросов по проектированию распределенных систем, в них мало уделено внимания системному подходу к построению РСМ с комплексным учетом требований по оптимальности размещения подсистем, по обеспечению требуемого уровня производительности и надежности функционирования.

Целью работы является разработка метода многопараметрической оптимизации РСМ по критерию минимальных стоимостных затрат на разработку системы и ее эксплуатацию.

Опишем задачу следующим образом. Существует множество распределенных на большой территории технологических объектов. Каждый объект содержит некоторое множество датчиков, являющихся источниками технологических данных (ИД), передаваемых на средства обработки данных (СОД) по каналам связи. Все множество ИД обозначим как  $D=\{d_1, d_2, \dots, d_N\}$ , а множеств СОД - как  $S=\{s_1, s_2, \dots, s_M\}$ , где  $N, M$ - соответственно количество источников данных и средств обработки.

Для каждого ИД и СОД заданы координаты расположения на местности. На



рисунке 1 представлена обобщенная граф-схема РСМ.

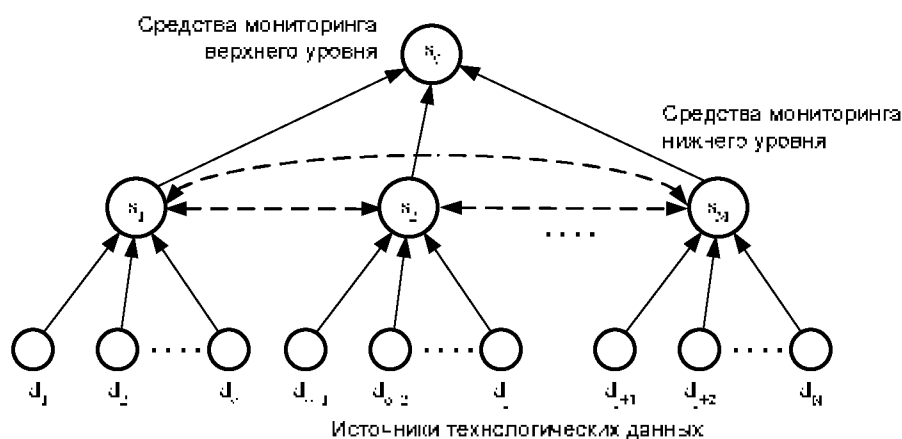


Рисунок 1 – Граф-схема обобщенной распределенной системы мониторинга

Передача данных от источника к средству обработки рассматривается как процесс подачи заявок на обслуживание. Каждый  $i$ -ый ИД характеризуется интенсивностью потока заявок  $\lambda_i$ , а средство обработки данных – интенсивностью обслуживания заявок  $\mu_i$ , вероятностью безотказной работы  $p_i$  за период эксплуатации  $T$  и стоимостью оборудования  $z_{u.i}$ .

Система мониторинга должна обеспечивать непрерывный контроль и управление состоянием технологических объектов, что требует своевременной обработки данных от всех датчиков. Основным показателем качества функционирования РСМ является ее пропускная способность (ПС), которая оценивается коэффициентом  $B$  по следующей формуле:

$$B = \frac{N_S}{N_A}, \quad (1)$$

где  $N_S$  – количество обслуженных заявок за период  $T$ ;

$N_A$  – общее количество заявок от источников данных за период  $T$ .

Обобщенная целевая функция исследований имеет следующий вид:

$$Z = \min Z(X), E \leq E_{\max}, \quad (2)$$

где  $Z$  – суммарные стоимостные затраты на создание системы;

$X$  – вектор проектных показателей РСМ, включающий показатели по производительности, надежности и конфигурации размещения подсистем;

$E$  и  $E_{\max}$  – соответственно, проектные и допустимые затраты от неточной идентификации состояния объектов контроля в результате потери данных от ИД.

Затраты  $E$  оцениваются следующей формулой:

$$E = (1 - B) \cdot N_A \cdot z_e, \quad (3)$$

где  $z_e$  – среднее значение затрат при потере одной заявки.

Проектируемая РСМ должна обеспечить следующее условие:

$$B \geq B_{tr}, \quad (4)$$

где  $B$ ,  $B_{tr}$  – соответственно проектное и требуемое значение коэффициента пропускной способности системы.

В случае отказа оборудования системы в течение  $T_{vos}$  РСМ должна обеспечить

условие по пропускной способности для аварийного режима:

$$B_{av} \geq B_{tr.av}, \quad (5)$$

где  $B_{av}$ ,  $B_{tr.av}$  – соответственно, проектное и требуемое значение коэффициента пропускной способности системы при аварийном режиме работы.

Суммарные стоимостные затраты на построение РСМ определяются следующей формулой:

$$Z = Z_T + Z_W + Z_H; \quad (6)$$

где  $Z_T$  – затраты на реализацию каналов связи системы;

$Z_W$  - затраты на средства обработки;

$Z_H$  – дополнительные затраты на средства обработки и передачи данных, обусловленные необходимостью замещения этих средств в случае отказа.

В выражении (6) каждое из слагаемых является функцией от аргументов, определяемых условиями задачи проектирования, в частности:

$$Z_T = f(M, X, Y, Q), \quad Z_W = f(A, W, V, B_{tr.av}, M), \quad Z_H = f(A, B_{tr.av}, k_r) \quad (7)$$

где  $A$  - общая интенсивность поступления заявок в систему;

$W$  –общая интенсивность обработки заявок системой;

$V = \{v_1, v_2 \dots v_L\}$ ,  $v_i = \langle \mu_i, z_{u.i}, p_i \rangle$  - множество доступных средств обработки и передачи данных;

$Q = \{q_1, q_2 \dots q_N\}$  - множество коэффициентов сложности реализации канала связи в зависимости от рельефа местности;

$P$  – множество оценок вероятности безотказной работы подсистем РСМ.

Анализ аргументов функций затрат показал, что:

- задача построения оптимальной РСМ имеет многовариантный характер;

- одним из решений ее является обеспечение требуемых характеристик по производительности и надежности на основе минимизации всех составляющих затрат в выражении (6).

В функции затрат на каналы связи и средства обработки в качестве аргумента входит величина  $M$ . Поэтому для минимизации затрат в комплексе, в первую очередь, должно быть определено оптимальное значение количества СОД.

Для оптимизации РСМ необходимо:

- определить зависимость затрат  $Z_T$  от количества СОД  $M$  и их размещения на местности;

- определить зависимость затрат на средства обработки данных от их цены, общей производительности и количества  $M$ ;

- определить зависимость дополнительных затрат на резервирование СОД и каналов связи от допустимых потерь и количества СОД.

На основании данных зависимостей определяется оптимальное значение величины  $M$ , позволяющее минимизировать затраты  $Z$ .

Оптимизация РСМ на этапе эксплуатации включает в себя выравнивание нагрузки по подсистемам в случае ее изменения по технологическим причинам или выхода из строя одной или нескольких СОД.

Определение затрат на каналы связи РСМ

Затраты на каналы связи  $Z_T$  определяются следующей формулой:

$$Z_T = Z_{nm} + Z_{mm}, \quad (8)$$

где  $Z_{nm}$  – общие стоимостные затраты на каналы связи между ИД и СОД;

$Z_{mm}$  – общие затраты на каналы связи между средствами обработки данных.  
Затраты  $Z_{nm}$ ,  $Z_{mm}$  определяются параметрами  $N$ ,  $M$  и топологией РСМ:

$$Z_{nm} = k_{nm} \cdot R_{nm}, Z_{mm} = k_{mm} \cdot R_{mm}, \quad (9)$$

где  $R_{nm}$ ,  $R_{mm}$  – характеризуют протяженность каналов связи в условных единицах;  
 $k_{nm}$ ,  $k_{mm}$  – соответствующие стоимостные коэффициенты.

В зависимости от топологии РСМ величины  $R_{nm}$  и  $R_{mm}$  определяются различными аналитическими выражениями. В частности, для линейной топологии нефтепроводов, они определяются следующими формулами:

$$R_{nm} = 2 \cdot M \cdot \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{N}{2M} \rfloor - 1} \left( \lfloor \frac{N}{2M} \rfloor - i \right); \quad (10)$$

$$R_{mm} = N - \frac{N}{M}, \quad (11)$$

где скобками обозначена операция округления в большую сторону.

Выражения (8)-(11), позволяют определить оптимальное значение величины  $M$ , обеспечивающее минимальные затраты  $Z_T$ , для заданной топологии РСМ. Увеличение числа СОД позволяет сократить затраты  $Z_{nm}$ , но при этом возрастают затраты  $Z_{mm}$ . Для нахождения оптимального значения  $M$  по критерию минимума затрат  $Z$ , необходимо знать зависимости затрат на средства обработки данных от количества СОД.

Определение общих затрат на средства обработки данных

Затраты на средства обработки данных определяются следующим образом:

$$Z_W = Z_S + Z_{VO}; \quad (12)$$

$$Z_S = k_W \cdot W^*; \quad (13)$$

$$Z_{VO} = k_{VO} \cdot M, \quad (14)$$

где  $Z_S$  – прямые затраты на средства обработки данных;

$Z_{VO}$  - затраты на вспомогательное оборудование СОД;

$k_W$ ,  $k_{VO}$  – стоимостные коэффициенты.

В большинстве систем мониторинга, в частности «Каскад-САУ», затраты на вспомогательное оборудование составляет более 70% стоимости самого СОД [3].

Для определения затрат  $W$ , считаем, что поток заявок от каждого источника данных пуассоновский. Соответственно, суммарный поток заявок  $A$  от всех  $N$  источников данных, поступающих в РСМ, также является пуассоновским:

$$A = \sum_{i=1}^N \lambda_i. \quad (15)$$

В этом случае, коэффициент пропускной способности РСМ определяется следующей формулой [4]:

$$B = \frac{A}{W + A}. \quad (16)$$

Требуемая суммарная интенсивность обслуживания системы  $W$  определяется с учетом (4) и (16) следующим выражением:

$$W \geq \frac{A \cdot (1 - B_{tr})}{B_{tr}} \tag{17}$$

Определение зависимости затрат на резервную производительность СОД и дополнительные каналы связи

Для минимизации потерь заявок в случае отказа СОД, каждый ИД обслуживается  $kR$  средствами обработки данных, где  $kR$  – кратность резервирования. Дополнительные затраты на резервирования СОД и транспортные расходы  $ZH$  определяются следующими выражениями:

$$Z_H = \Delta Z_W + \Delta Z_T; \tag{18}$$

$$\Delta Z_W = k_W \cdot \Delta W; \tag{19}$$

$$\Delta Z_T = k_T \cdot Z_{nm}, \tag{20}$$

где  $\Delta Z_W$  – затраты на резервную производительность РСМ;

$\Delta Z_T$  – затраты на дополнительные каналы связи от источников данных к средствам обработки данных;

$k_T$  – стоимостной коэффициент.

На рисунке 2 представлена схема резервирования СОД на случай их отказа. Множество  $S$  делится на  $M/kR$  подгрупп. Отказ  $m$  устройств в подгруппе, при условии  $m < kR$ , не приведет к потере её работоспособности. Производительность РСМ должна быть рассчитана с учетом возможности отказа  $(kR-1)$  СОД в каждой подгруппе. Это соответствует появлению в системе дополнительной нагрузки:

$$\Delta A = (k_R - 1) \cdot A. \tag{21}$$

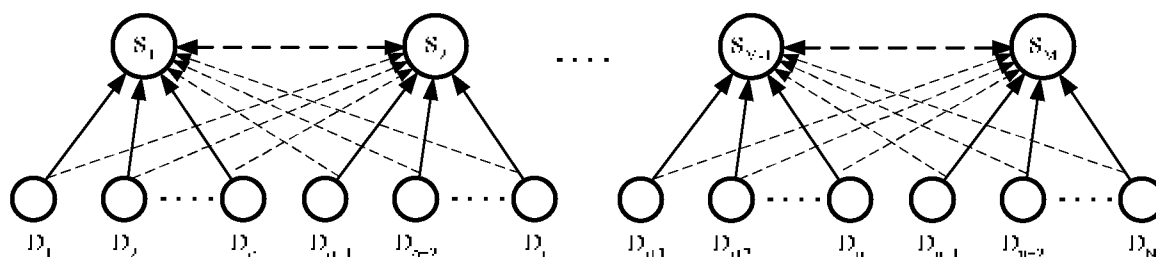


Рисунок 2 – Схема резервирования при  $kR=2$

Дополнительная интенсивность обслуживания определяется следующим выражением:

$$\Delta W \geq \frac{\Delta A \cdot (1 - B_{av.tr})}{B_{av.tr}} \tag{22}$$

Для определения параметров выражений (9)-(22) разработана интегрированная модель, включающая в себя модель РСМ как системы массового обслуживания, модель топологии РСМ и модель замещения элементов РСМ в случае их отказа [5].

В результате исследования интегрированной модели определены зависимости затрат на создание РСМ от технических характеристик, а также алгоритмы выбора оптимальной топологии РСМ и выравнивания нагрузки средств обработки данных в случае отказа отдельных звеньев системы.

На рисунке 3 представлены графики зависимости затрат от количества СОД. Штриховыми линиями выделены зависимости затрат с учетом резервирования производительности РСМ и дополнительных каналов связи.

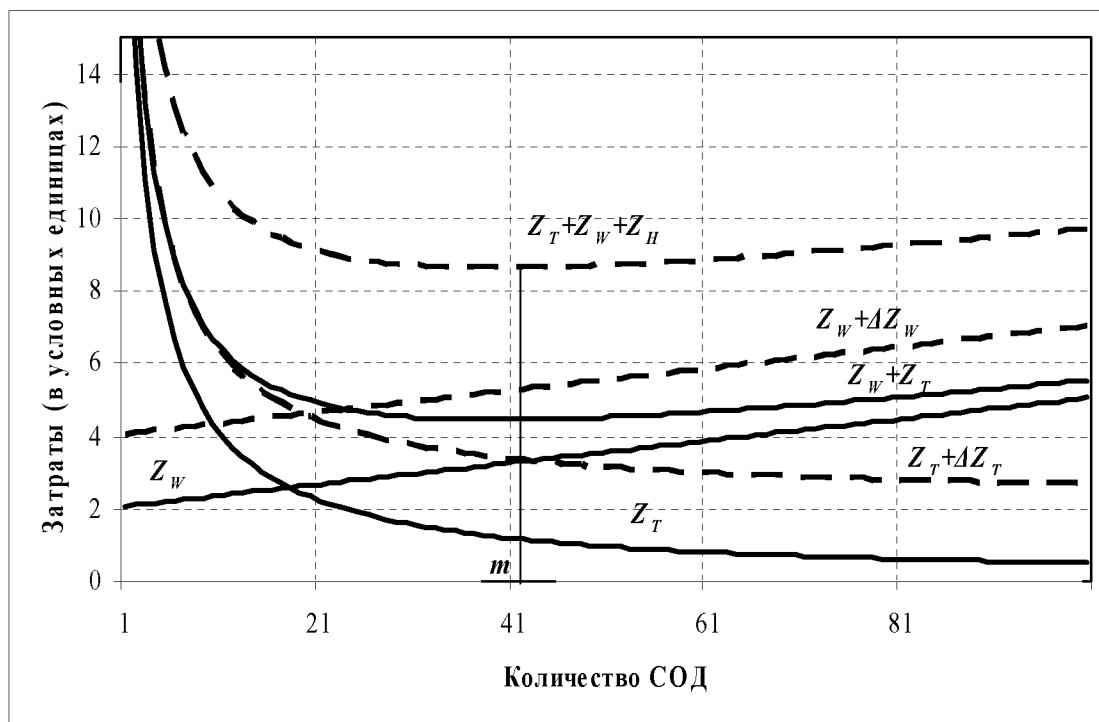


Рисунок 3 – Графики зависимостей затрат от количества СОД

Особенностью разработанных алгоритмов является то, что они базируются на принципах самоорганизации, позволяющих выбирать оптимальное решение на уровне подсистем без управляющих средств верхнего уровня, что повышает оперативность принятия решения и снижает стоимостные затраты [6,7]. На основе данных алгоритмов разработан программный комплекс «СинАР-1» для оптимизации проектных решений в процессе разработки систем и на этапе их эксплуатации. Программный комплекс использован при исследовании топологии системы мониторинга объектов нефтедобычи в ООО «БугурусланНефть», при разработке подсистемы мониторинга несанкционированного подключения к трубопроводам транспортировки нефтепродуктов в Оренбургской области, а также в учебном процессе ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бернер Л.И. Применение методов графического анализа при решении задачи размещения оборудования системы телемеханики нефтегазового промысла / Л.И. Бернер, Н.К. Богданов, А.Г. Лыков, К.В. Панькин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – №5. – С.26-29.
2. Богатырев В. А. К распределению функциональных ресурсов в отказоустойчивых многомашинных вычислительных системах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – №12 – С.1-5.
3. Мочалов Р., Худов А., Язев А. Автоматизация сети газораспределительных станций на базе программно-технического комплекса «Каскад-САУ». // СТА. – 2008. – №2. – С. 36-45.
4. Башарин В.Г. Анализ очередей в вычислительных сетях. – М.: Наука, 1989. – 334 с.

5. Галимов Р.Р., Аралбаев Т.З. Интегрированная модель многопараметрической оптимизации распределенной системы мониторинга технологических объектов: Современные информационные технологии в науке, образовании и практике. Материалы VII всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – С.188-192.
6. Аралбаев Т.З., Галимов Р.Р. Оптимизация топологии управляющих средств нижнего уровня системы мониторинга распределенных объектов на основе принципа самоорганизации. – М: ВНИИЦ, 2008. -№50200802283.
7. Аралбаев Т.З., Галимов Р.Р. Распределение нагрузки управляющих средств нижнего уровня системы мониторинга распределенных объектов. – Оренбург: ОГУ УФАП, 2008. – №377.

**Аралбаев Ташбулат Захарович**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург  
Доктор технических наук, зав. кафедрой «Вычислительная техника»,  
Старший научный сотрудник  
Тел.: (3532)36-10-01  
[E-mail:atz53@mail.ru](mailto:atz53@mail.ru)

**Галимов Ринат Равилевич**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург  
Ассистент кафедры «Вычислительная техника»  
Тел.: 922-555-42-44  
[E-mail:rin-galimov@yandex.ru](mailto:rin-galimov@yandex.ru)

УДК 681.3.06

Н.И. КОРСУНОВ, Е.В. КОРСУНОВА, М.В. МИХЕЛЕВА

## ВЫДЕЛЕНИЕ МАКСИМУМА ДОЛЕВОЙ ЭНЕРГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ МЕЛЬНИЦЕЙ ПОМОЛА

*В статье рассматривается алгоритм управления мельницей помола при изменениях нагрузки, с незначительным влиянием сигналов других источников, используется тональный сигнал в качестве информационного. Показано, что вместо амплитуды выходного сигнала целесообразно использовать в качестве информативного параметра частотный интервал сосредоточения максимума энергии в сигнале микрофона.*

**Ключевые слова:** мельница помола; доленая энергия; тональные сигналы; спектральный анализ.

*In article the control algorithm is considered by a grinding mill at load changes, with insignificant influence of signals of other sources with usage of a voice-frequency signal as the informational. Instead of amplitude of an output signal it is expedient to use as informative parameter a frequency interval of focusing maximum energy in a microphone signal.*

**Keywords:** a grinding mill; share energy; voice-frequency signals; spectral analysis.

Во многих отраслях промышленности одной из операций технологического процесса является измельчение материала. Для этих целей используются мельницы помола вращающегося типа.

Обеспечение качества помола зависит от многих факторов и требует взаимосвязи параметров, обеспечивающих экстремум некоторого функционала [1].

Взаимосвязь параметров возлагается на автоматизированную систему управления скоростью вращающегося барабана в зависимости от наполнения мельницы мелющим материалом, диаметра выходной горловины, конструктивных параметров мельницы и т.д.

Определение степени заполнения мельницы осуществляется либо измерением объема мелющей массы с известным удельным весом, либо косвенным методом, используя амплитудную или частотную характеристику шума, издаваемого работающей мельницей. Звукометрический метод регулирования может основываться на измерении общего уровня шума мельницы или интенсивности той части звукового спектра, которая, как считают, наиболее точно характеризует производительность мельницы [1]. Оба метода не относятся к классу высокоточных и допускают дискретизацию в формировании управляющих воздействий, направленных на изменение частоты напряжения инвертора асинхронного двигателя без регулирования его тока и потока. Это приводит при изменениях нагрузки на валу двигателя к скачкам и колебаниям тока, что сказывается на показателях его надежности и энергопотреблении, так как в таких условиях двигатель должен работать в режиме больших перегрузок [2]. Поскольку шум мельницы является сложным сигналом, представляющим совокупность сигналов, возбуждаемых другими источниками, то выделенная тональность сигнала весьма приближительна.

Это приводит к существенному отличию в поддерживаемой зависимости скорости от требуемой для действительной загрузки мельницы.

Предпринимаемые меры по снижению влияния сигналов других источников не всегда приводят к желаемому результату, так как зависят от конкретных условий эксплуатации.

Целью проведенных исследований, приводимых в данной статье, является обеспечение управления мельницей помола при использовании тонального сигнала в качестве информационного, с незначительным влиянием сигналов других источников и регулируемым током и потоком двигателя при изменениях нагрузки.

Тональность сигнала зависит от нагрузки и определяется соответствующим датчиком, амплитудно-частотные характеристики которого приведены в работе [3].

Приведенное семейство амплитудно-частотных характеристик представляет прямую линию до некоторой частоты, которую обозначим  $W_i(p)$  ( $i$  – номер кривой семейства), и резким спадом при превышении частотой этой граничной точки. Подобной характеристикой обладает КИХ-фильтр [2], коэффициент усиления которого зависит от частоты. Выходной сигнал КИХ-фильтра в частотной области представляется спектральной характеристикой

$$Z(\omega) = X(\omega) \cdot K(\omega), \quad (1)$$

где  $X(\omega)$  – сигнал на входе датчика;

$K(\omega)$  – сигнал усиления датчика.

На основании экспериментальных данных, приведенных в работе [4] можно сделать выводы, что энергия в различных частотных интервалах различна.

Известны математические методы в определении частотного распределения тональных сигналов: эмпирические, спектральные, корреляционные.

Анализ корреляционных методов оценивания частоты тональных сигналов, показал, что все они работают в ограниченном диапазоне частот.

Рассмотрим метод спектрального анализа частоты шаровой мельницы.

Функцию  $f(t)$  с конечной или неограниченной областью определения  $t \in [a, b]$  можно представить в виде [3]

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(j\omega t) d\omega / 2\pi,$$

дуальное к нему преобразование Фурье:

$$F(\omega) = \int_a^b f(t) \exp(-j\omega t) dt,$$

где функция  $F(\omega)$  называется трансформантой Фурье (основная частотная характеристика), аргумент  $\omega$  – круговой частотой.

Энергия определяется равенством Парсеваля, выражающим квадрат нормы элемента в векторном пространстве со скалярным произведением через квадраты модулей коэффициентов Фурье этого элемента по некоторой ортогональной системе векторов [3]:

$$\int_a^b f^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega / 2\pi. \quad (2)$$



Для мельницы помола необходимо определить вид функции  $f(t)$  – частотной характеристики.

Для определения энергии воспользуемся работой [4], где показана возможность избежать вычислений трансформант Фурье и при этом вычислять точные значения долей энергии отрезков эмпирических данных, попадающих в выбранный частотный интервал.

Равенство (2) преобразовывают к виду:

$$\int_a^b f^2(t)dt = \sum_{r=0}^{\infty} \int_{\omega \in D_r} |F(\omega)|^2 d\omega / 2\pi,$$

где интервалы  $D_r$  определяют разбиение оси частот вида:

$$D_r = [-\Omega_{r+1}, -\Omega_r) \cup [\Omega_r, \Omega_{r+1}), \Omega_0 = 0.$$

Таким образом, оказывается возможным осуществить частотный анализ энергетических характеристик исследуемой функции, так как интегралы

$$P_r = \int_{\omega \in D_r} |F(\omega)|^2 d\omega / 2\pi$$

определяют доли энергии, попадающие в выбранные частотные интервалы [4].

Представление для сосредоточенной в частотном интервале части энергии исследуемого вектора [4]:

$$P_r = \vec{f}' A_r \vec{f},$$

где  $A_r = \{a_{ik}^r\}$  – матрица соответствия частотным интервалам;

$$a_{ik}^r = (\sin(v_{r+1}(i-r)) - \sin(v_r(i-k))) / (\pi(i-k)); i, k = 1, \dots, N,$$

где  $\vec{f}$  – вектор эмпирических данных;

$\vec{f}'$  – транспонированный вектор эмпирических данных;  $v_r$  - границы частотных интервалов;  $N$  – величина дискретизации.

Данный метод применяется в задачах анализа свойств эмпирических данных на основе частотных представлений.

В работе [4] показана возможность осуществления частотного анализа энергетических характеристик исследуемой функции и определение доли энергии, попадающей в выбранные частотные интервалы.

При изменении внутримельничной загрузки изменяется не только сила звука, но и спектральный состав сигнала. Анализ спектральных характеристик позволит наиболее точно определять степени загрузки мельницы материалом, а значит и эффективно управлять технологическим процессом помола. Таким образом, можно разбивать ось частот спектра звуковой энергии шаровой мельницы помола на частотные интервалы и эффективно определять максимумы энергии, соответствующие различной степени загрузки мельницы.

Известен подход анализа типовых сглаженных частотных спектров звуковых давлений шаровой мельницы для технологической диагностики перегрузки шаровых мельниц рудой [3]. Однако этот подход предполагает измерение частоты колебаний и силы звука и их анализ, но не позволяет управлять мельницей помола.

Поскольку шумы мельницы относятся к тональным сигналам, то для управления мельницами помола целесообразно воспользоваться методом выделения максимума энергии на ограниченном интервале частотного спектра. Шумы различаются по тональности, их достаточно разделить на частотном диапазоне, что позволит определять степень загрузки мельницы. Следствием является возможность управления мельницей помола не по абсолютным значениям параметров сигнала, а по попаданию точек максимумов энергии в тот или иной частотный диапазон.

Максимум энергии спектра звуковой энергии шаровой мельницы соответствует экстремуму  $\frac{dE}{d\omega} = 0$  и определяется из:

$$\frac{dE}{d\omega} = X'(\omega) \cdot K(\omega) + X(\omega) \cdot K'(\omega) . \quad (3)$$

Если  $X(\omega)$  представляет шум, то первое слагаемое обращается в нуль на множестве значений частот  $\omega$ , являющихся случайными величинами. Второе слагаемое равно нулю при конкретном значении частоты, соответствующей точки перегиба характеристики  $W_i(p)$ .

Равенство нулю второго слагаемого в (2) свидетельствует о максимуме долевой энергии, определяемой коэффициентом усиления датчика при фиксированной загрузке мельницы. Изменение загрузки приводит к появлению частотного диапазона  $D_r$ , включающего значения частот  $W_i(p)$ , в которых долевая энергия для  $i$ -ой загрузки мельницы максимальна. Значения  $i$  определяются в области загрузки мельницы от минимума до максимума.

Выполнив аппроксимацию сигмоидальной функцией  $F(x) = \frac{1}{1 + e^{-kx}}$ , угла наклона и граничной частоты в зависимости от нагрузки, получаем частотный диапазон максимумов энергии (рисунок 1).

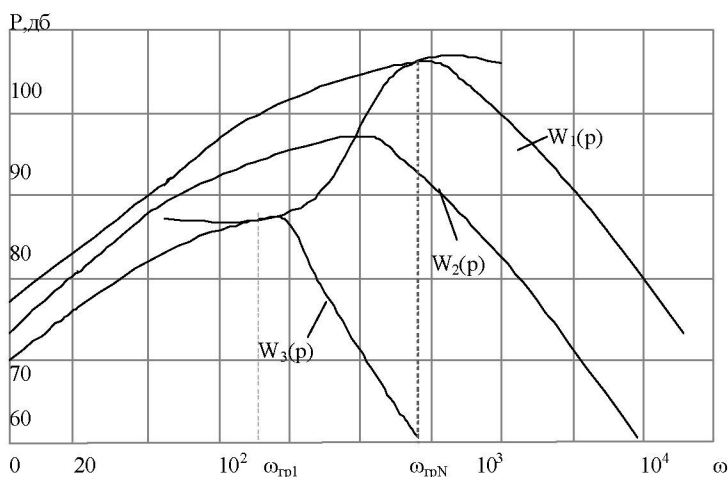


Рисунок 1 – Сглаженные типовые частотные спектры звуковых давлений мельницы

- $W_1(p)$  — при полной разгрузке;
- $W_2(p)$  — номинальный режим работы;
- $W_3(p)$  — режим перегрузки

Проведём дискретизацию выбранного частотного диапазона на подинтервалы  $\Omega$ , основой для дискретизации может служить погрешность в измерении загрузки по тональности сигналов и длительность интервалов, через которые следует измерять скорость.

Выбираем количество  $N$  кривых семейства и определяем  $\omega_{грi}$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Далее поставим в соответствие  $i$  – параметры, с помощью которых будем управлять двигателем.

Для управления скоростью двигателя при изменении загрузки мельницы в соответствии с [1] рассчитываем угол наклона и определяем значение граничной частоты.

Выбираем сигнал шума и для него в заданном окне определяем максимум долевой энергии и точку  $\omega$ , в которой он достигается. По данной точке возможно определить номер подинтервала в окне, а по дискретному расстоянию от соседних подинтервалов и полученному номеру установить новые точки.

Ослабление воздействия помех связаны с тем, что экстремум определяется по  $K(\omega)$  и нет влияния  $X(\omega)$ , хотя помехи и влияют на определение попадания в интервал, кроме того, это делает и адаптация.

При загрузке мельницы цепь регулирования связанная со скоростью обрывается на время достижения током и скоростью установившегося значения. Существуют максимальные ограничения, скорость вращения в пределах 20 -30 % от наибольшей скорости [1]. По установившимся значениям тока, потока и скорости в области границы окна задается номер подинтервала и рассчитывается номер подинтервала. Если они не совпадают, то рассчитанный номер корректируется, и это значение коррекции используется в дальнейших расчетах.

Считают, что скорость изменяется линейно во времени и при подходе её к крайним значениям либо открывают дозатор, либо останавливают мельницу и отбирают лишнюю массу механическим способом [1].

Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 2.

В блоке 2 скорость вращения барабана устанавливается по характеристикам, поскольку скорость вращения является функцией:

$$n = f(L, D, \varphi, N, v), \quad (4)$$

где  $L$  – длина мельницы, мм;

$D$  – диаметр мельницы, мм;

$\varphi$  – степень заполнения объема мельницы мелющей средой, %;

$N$  – число шаров в мельнице,  $m^3$ ;

$v$  – скорость аспирационного воздуха, м/с.

Конструктивные параметры мельницы длина мельницы, диаметр мельницы являются качественными неуправляемыми параметрами.

Степень заполнения объема мельницы мелющей средой, число шаров в мельнице и скорость аспирационного воздуха являются производными, управляемыми, регулируемые параметрами.

Для цифровой обработки сигналов использовался цифровой сигнальный процессор (ЦСП).

Прикладное программное обеспечение состоит из программы для ЦСП и программы анализа данных. Программа для ЦСП создана в среде VisualDSP++. Программа анализа данных создается в среде LabVIEW.

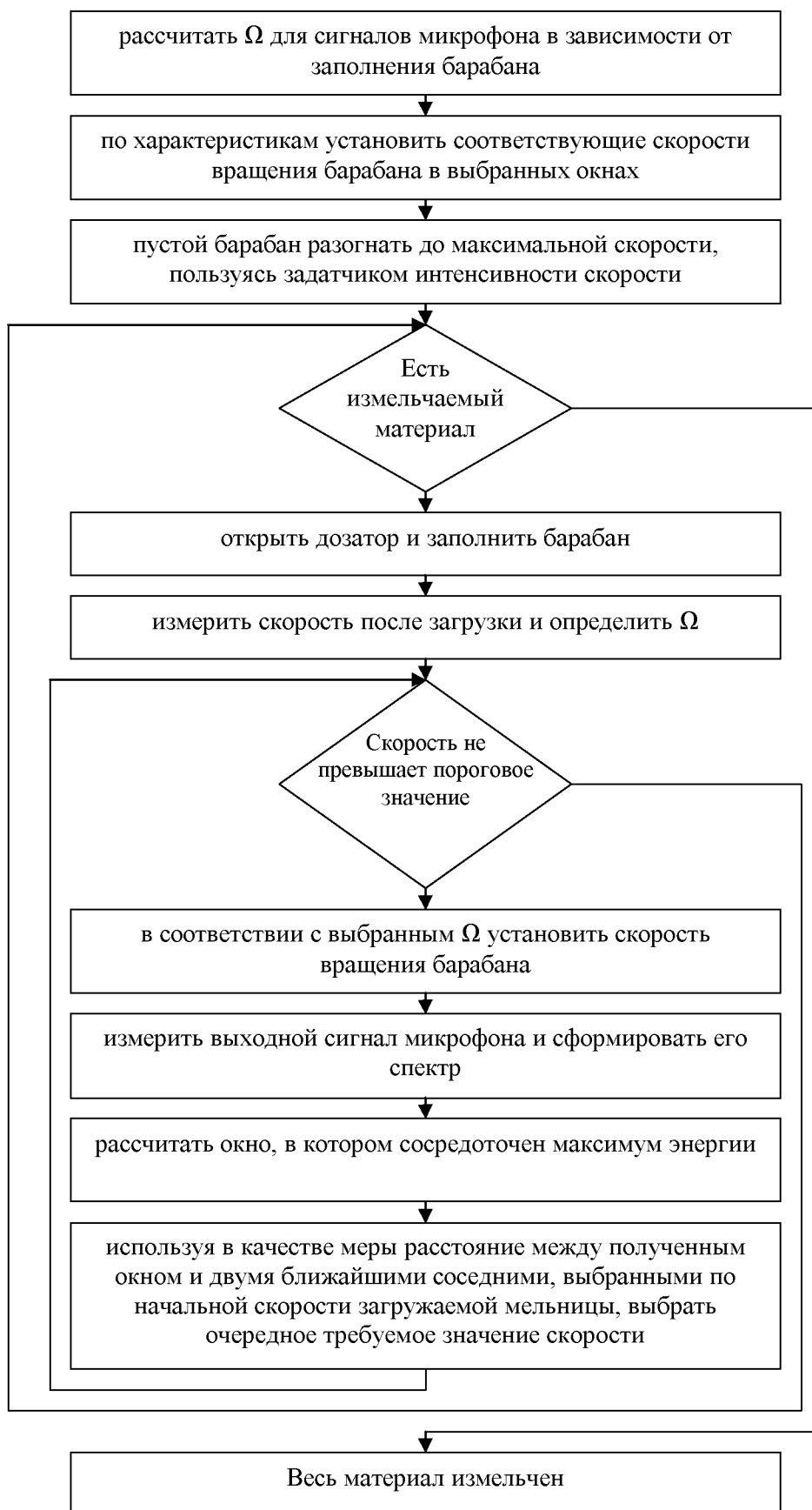


Рисунок 2 – Алгоритм адаптивного управления мельницей помола

Таким образом, используя приведенный алгоритм, возможно управление мельницей помола при изменениях нагрузки, с незначительным влиянием сигналов других источников, с использованием тонального сигнала в качестве информационного. Вместо амплитуды выходного сигнала целесообразно использовать в качестве информативного параметра частотный интервал сосредоточения максимума энергии в сигнале микрофона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Утеуш, Э.В., Уееуш З.В. Основы автоматизации измельчения материалов в шаровых мельницах. – М. Химия, 1968. – С. 16, 97.
2. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. – М.: Наука, 1971. – С. 24 - 26.
3. Шамаллах Х. К. Методы автоматического контроля перегрузки барабанных мельниц рудой: автореф. дис. канд. техн. наук. – Днепропетровск: Изд-во НГУ, 2005. – 15 с.
4. Жиликов Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 11 с.

#### **Корсунов Николай Иванович**

Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники  
и автоматизированных систем, доктор технических наук  
Тел.: 8(4722)54-98-53

#### **Корсунова Евгения Владимировна**

Белгородский государственный университет, г. Белгород  
Доцент кафедры  
Тел.: 8(4722)54-98-53

#### **Михелева Мария Владимировна**

Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и  
автоматизированных систем.  
Тел.: 8-961-173-94-05  
E-mail: [mikheleva\\_mv@mail.ru](mailto:mikheleva_mv@mail.ru)

УДК 681.51:669.13

А.И. СУЗДАЛЬЦЕВ, В.В. БАГРОВ

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУНА

*В статье представлен общий алгоритм получения мокрой заготовки формовочной смеси, а так же алгоритмы оценки качества мокрой заготовки по параметрам прочности и уплотняемости. Приведены математические основы автоматизации процесса изготовления формовочных смесей.*

**Ключевые слова:** производство чугуновых отливок; качество литейных форм; металл; газопроницаемость; песок; блескол.

*In clause the general algorithm of reception of wet preparation of a forming mix, and as algorithms of an estimation of quality of wet preparation on parameters of durability and compatibility is submitted. Mathematical bases of automation of process of manufacturing of forming mixes are resulted.*

**Keywords:** system manufacture mixes; casting submitted production; automated; complex; specified; resulted.

В настоящее время одной из важнейших проблем в литейном производстве является проблема получения формовочной смеси, соответствующей определённым качественным показателям – уплотняемости, прочности и т.д.

Формовочная смесь изготавливается в смесителях, снабженных механизмами дозирования и подачи исходных материалов, механизмом дозирования подачи воды и собственно механизмом смешивания. Физико-химические свойства исходных материалов не позволяют получить качественную смесь одноразовой загрузкой воды, что и определяет определенную последовательность работы исполнительных механизмов с промежуточным контролем основных параметров [1].

В таблице 1 представлены общие исходные данные процесса изготовления мокрой заготовки формовочной смеси, а на рисунке 1 - общий алгоритм процесса получения мокрой заготовки. Перед запуском смесителя осуществляется ввод исходных данных в программу управления в соответствии с таблицей 1.

После запуска производится взвешивание компонентов смеси (горелый песок, блескол, глина бентонитовая и т.д.) и последующая их подача в миксер (поз.2 рисунок 1). С этого момента начинается стадия сухого смешивания, продолжительность которого равна  $t_{\text{сух}}$ . По истечении этого времени в миксер поступает вода, начинается предварительное мокрое смешивание (поз.5 рисунок1), объём воды рассчитывается по формуле (1).

$$V_2 = D_{\text{пред}} V_1, \quad (1)$$

где  $V_2$  – объём воды стадии предварительного смешивания;

$D_{\text{пред}}$  – доля предварительной воды;

$V_1$  – общий объём воды предыдущего цикла смешивания.

Таблица 1 – Общие исходные данные процесса изготовления мокрой заготовки формовочной смеси.

Наименование параметра	Единицы измерения	Обозначение параметра	Численное значение параметра
1. Заданная уплотняемость	%	$Y_{зад}$	36-45
2. Заданная прочность формовочного материала	Н/см <sup>2</sup>	-	17-23
3. Продолжительность сухого смешивания	С	$t_{сух}$	0-30
4. Доля предварительной воды	%	$D_{пред}$	5-50
5. Неизменяемая продолжительность предварительного смешивания	С	$t_{пост}$	0-20
6. Специфическая продолжительность предварительного смешивания	с/л	$t_{спец1}$	Изначальный выбор
7. Неизменяемая продолжительность мокрого смешивания.	С	$t_{мок1}$	$\geq 15$
8. Специфическая продолжительность мокрого смешивания	С	$t_{спец2}$	Задаётся изначально
9. Загружаемый вес (масса)	кг	$M(m)$	измеряется
10. Продолжительность повторного смешивания	С	$t_{повт}$	25
11. Минимальный расход воды	л/с	$V_{min}$	2-5
12. Верхний предел 2-го измерения уплотняемости	%	$Y_{зад2}$	+4 (предварительно)
13. Нижний предел 2-го измерения уплотняемости	%	$Y_{зад1}$	-4 (предварительно)
14. Корректирующее значение уплотняемости	%	$Y_{ко}$	+15 (для положительного значения) -10 (для отрицательного значения)
15. Фактор добавки воды	Л	F	0,00033л (предварительно)
16. Общий объём воды предыдущего общего цикла	Л	$V_1$	По реальному расходу

Время предварительного смешивания определяется по формуле (2):

$$t_{пред} = t_{вар} + t_{пост}, \quad (2)$$

где  $t_{пред}$  – время предварительного смешивания;

$t_{вар}$  – переменная продолжительность смешивания;

$t_{пост}$  – постоянная продолжительность смешивания – время в течении которого подаётся вода (задаётся изначально).

Переменная продолжительность смешивания (время смешивания после подачи воды) рассчитывается по формуле (3):

$$t_{вар} = V_2 t_{спец1} , \quad (3)$$

где  $t_{спец1}$  – специфическая продолжительность предварительного смешивания (задаётся изначально, сек/л).

После стадии предварительного смешивания производится первое измерение уплотняемости формовочной смеси (поз.6 рисунок 1). Данное измерение служит основой для расчёта объёма воды подаваемой на следующей стадии смешивания, а также времени этого смешивания (поз.7 рисунок 1).

Расчёт воды основывается на предпосылке, что уплотняемость имеет линейную зависимость от содержания воды в формовочном материале. Однако имеются также нелинейные воздействия, которые связаны с оборудованием, технологией и свойствами формовочного материала. Эти воздействия учитываются корректирующим значением уплотняемости, которое адаптируется в зависимости от отклонения.

Корректирующее значение рассчитывается по формуле (4):

$$Y_k = Y_{изм1} + Y_{ко} , \quad (4)$$

где  $Y_k$  – корректирующее значение уплотняемости;

$Y_{изм1}$  – первое измеренное значение уплотняемости;

$Y_{ко}$  – общее корректирующее значение уплотняемости (задаётся изначально).

Песок с большой долей мелких фракций (пыли, бентонита, углерода и т.д.) требует больше воды для достижения одинаковой уплотняемости по сравнению с песком, имеющим небольшую долю мелких фракций. Также средний размер частиц оказывает сопоставимое влияние на потребность в воде. Специфичная поверхность грубозернистой частицы меньше чем у мелкозернистых частиц. Поэтому грубозернистые частицы требуют сравнительно меньше воды. Эти воздействия учитываются с помощью «фактора добавки воды».

Объём воды, подаваемой на стадии мокрого смешивания, (поз.8 рисунок 1) рассчитывается по формуле (5):

$$V_{вод} = m \cdot (Y_{зад} - Y_{изм1} + Y_k) F , \quad (5)$$

где  $V_{вод}$  – объём воды на стадии мокрого смешивания;

$m$  – масса сухой смеси;

$Y_{зад}$  – заданное значение уплотняемости;

$F$  – фактор добавки воды.

Дозирование воды осуществляется с помощью водомера, который закрывает клапан, когда достигнуто заданное количество воды. Однако, если система расхода работает неправильно, в смеситель может течь чрезмерно большое количество воды. Во избежание этого производится контроль продолжительности добавки воды. Как только истекло допустимое значение времени, клапан воды закрывается, несмотря на показание счетчика.



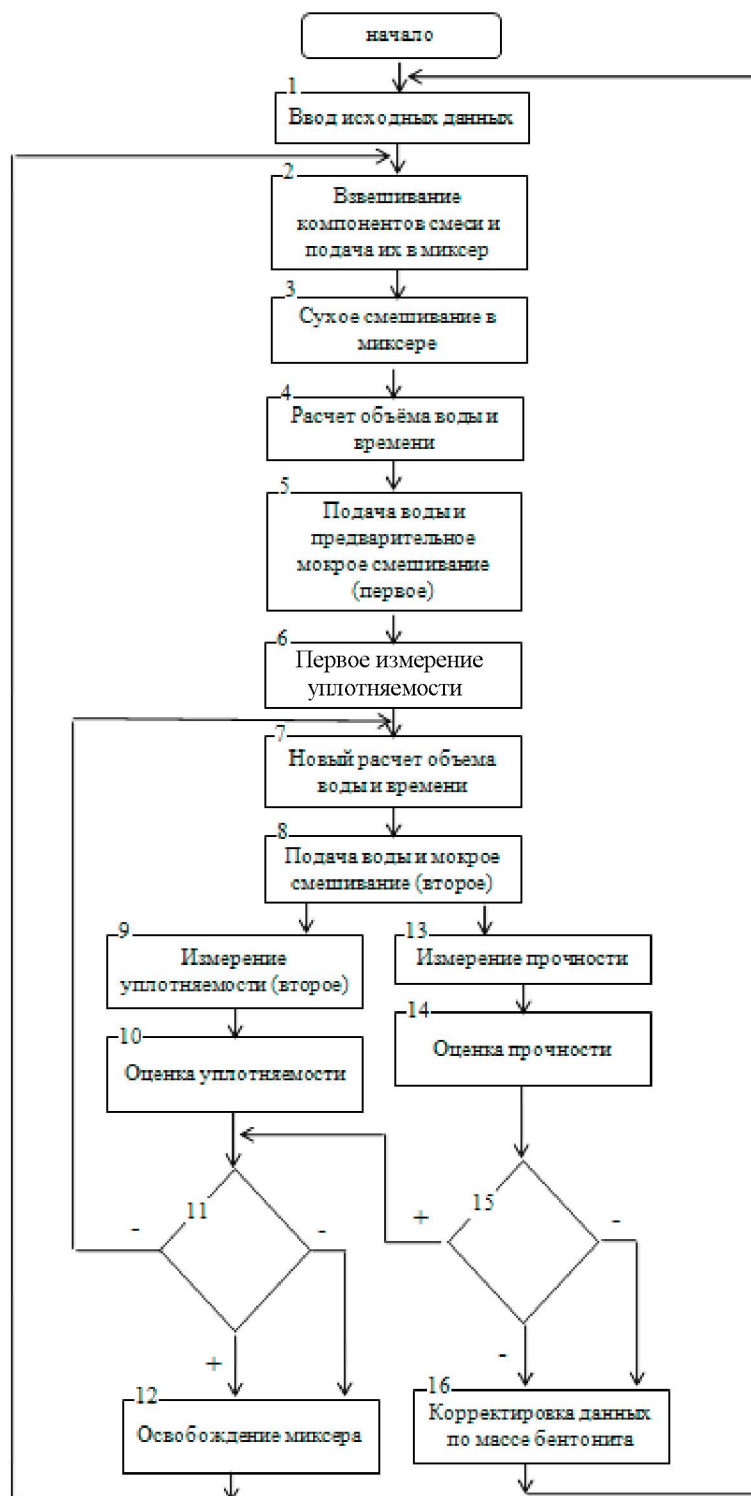


Рисунок 1 – Общий алгоритм процесса получения мокрой заготовки

Продолжительность открытия клапана рассчитывается по формуле (6):

$$t_{\text{клап}} = V_{\text{вод}} \cdot t_{\text{спец2}}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{клап}}$  – время открытия клапана;

$t_{\text{спец2}}$  – специфичная продолжительность мокрого смешивания (задаётся изначально).

Дозировка воды осуществляется в течение постоянной продолжительности мокрого смешивания ( $t_{\text{клян}}$ ), после чего производится окончательное смешивание в течении переменной продолжительности мокрого смешивания, которая рассчитывается по формуле (7):

$$t_{\text{вар}2} = V_{\text{вод}} \cdot t_{\text{сней}2}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{вар}2}$  – переменная продолжительность мокрого смешивания.

После стадии мокрого смешивания производится второе (N-е,  $N \leq 6$ ) измерение уплотняемости (поз.9 рисунок 1), измерение прочности (поз.13 рисунок 1), а также оценка качества мокрой заготовки формовочной смеси по этим параметрам (поз.11,14 рисунок 1).

Алгоритм оценки качества мокрой заготовки по параметру уплотняемости показан на рисунке 2.

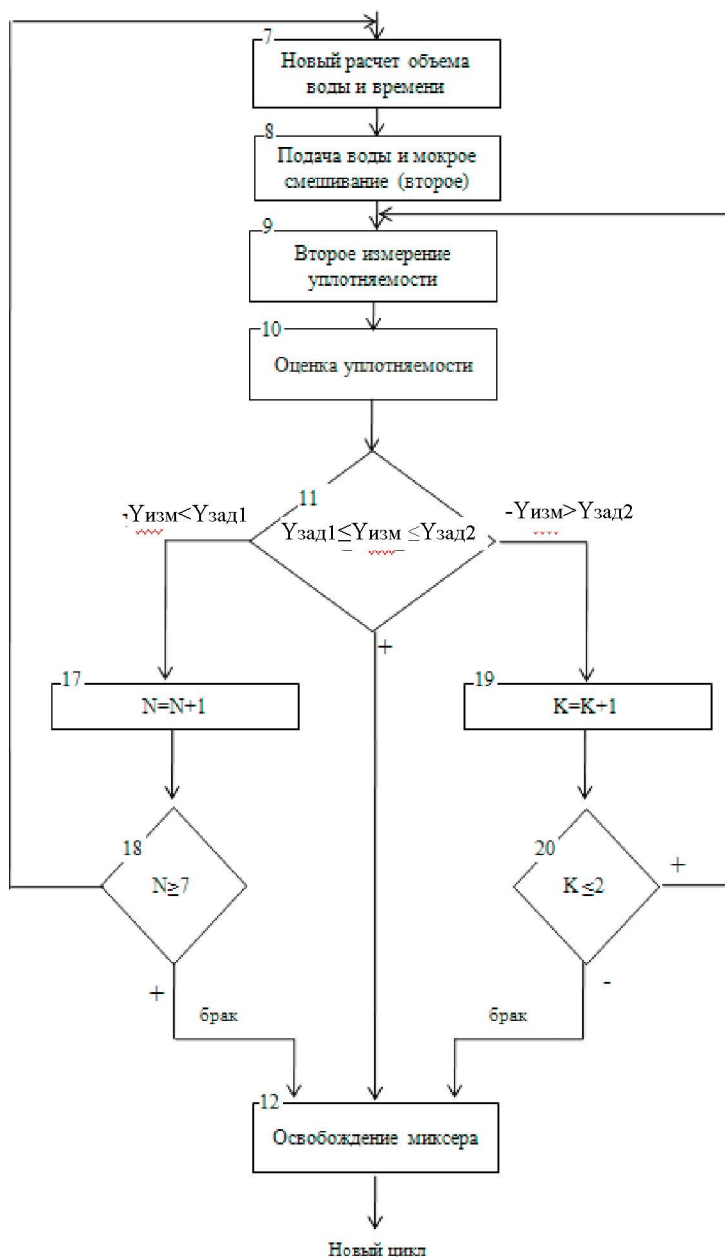


Рисунок 2 – Алгоритм оценки качества мокрой заготовки по параметру уплотняемости

На основе отклонения измеренных значений уплотняемости от заданного корректируется общее скорректированное значение  $Y_k$  по формуле (8):

$$Y_k = Y_{ко} + Y_{зад} - Y_{изм}. \quad (8)$$

Если измеренное значение уплотняемости лежит в заданных пределах (поз.11 рисунок 2), то смесь считается качественной, после чего происходит освобождение смесителя (поз.12 рисунок 2). Если измеренное значение больше верхнего заданного предела  $Y_{зад2}$ , происходит отсчёт в счётчике К на 1 (поз.19 рисунок 2), и если  $K \leq 2$  (поз. 20 рисунок 2), осуществляется ещё одно измерение (переход к поз.9 рисунок 2), если  $K > 2$  то выводится информация о том, что смесь не качественная, смеситель освобождается, а цикл смешивания начинается с начала.

Если измеренное значение уплотняемости не лежит в заданном пределе и не больше  $Y_{зад2}$ , тогда оно меньше  $Y_{зад1}$  нижнего заданного предела уплотняемости. Происходит отсчёт счётчика N на 1 (поз.17 рисунок 2). Если N (число добавок воды) меньше 6 (включая добавку воды мокрого смешивания) происходит корректировка параметра  $Y_k$  по формуле 8 и расчёт требуемого объёма воды времени мокрого смешивания (поз.7 рисунок 2), а затем подача вновь рассчитанного объёма воды (переход к поз.8 рисунок 2). Если N больше 6 тогда выдаётся сообщение о браке и миксер освобождается. На рисунке 3 представлен алгоритм оценки качества мокрой заготовки по параметру прочности.

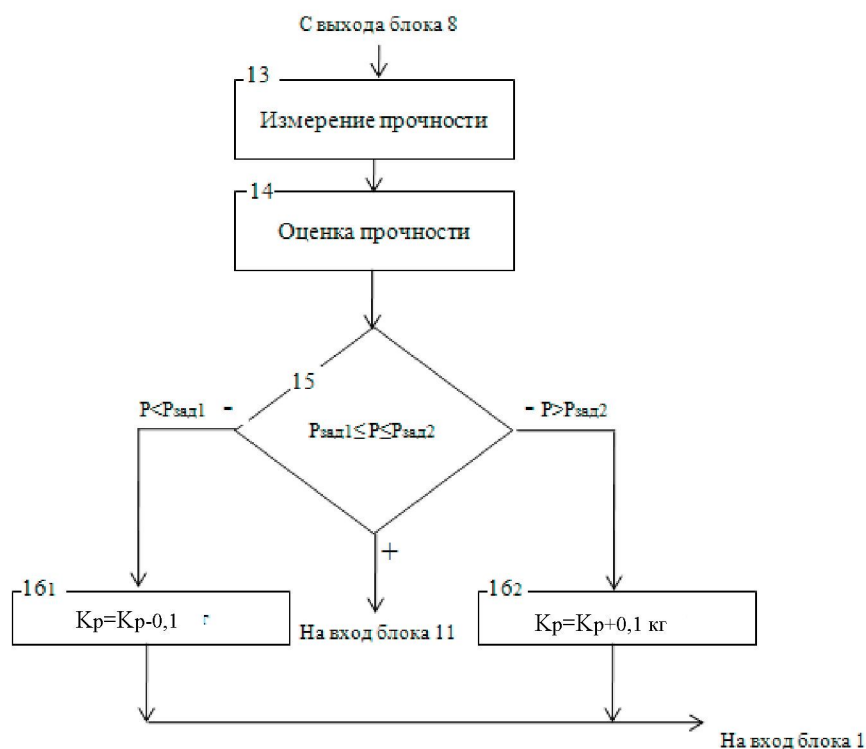


Рисунок 3 – Алгоритм оценки качества мокрой заготовки по параметру прочности

В каждом цикле процесса изготовления формовочной смеси измеряется прочность формовочного материала (поз.13 рисунок 3). Данный параметр смеси зависит от содержания бентонита. Чем выше содержание бентонита, тем выше будет прочность формовочного материала, тем больше будет потребление воды. Специальный прибор измеряет прочность формовочного материала, а контроллер

изменяет это количество, если измеренное значение очень сильно отклоняется от заданного значения. Если измеренное значение больше верхнего заданного предела  $P_{зад2}$ , тогда к параметру  $K_p$  прибавляется 0,1 кг., при этом в следующем цикле вес бентонита будет увеличен на 0,1 кг (поз.16<sub>2</sub> рисунок 3). Если измеренное значение меньше нижнего заданного предела  $P_{зад1}$ , тогда из параметра  $K_p$  вычитается 0,1кг, а в следующем цикле вес бентонита будет уменьшен на 0,1кг (поз.16<sub>1</sub> рисунок 3).

До настоящего времени на соответствующих предприятиях указанные операции осуществляются отдельными самостоятельно функционирующими устройствами (дозаторы компонентов, дозатор воды, смеситель, полуавтоматические измерители уплотняемости и плотности смеси) со своими автономными системами управления. Сказанное приводит к частому браку мокрой заготовки, к неоптимальному расходу энергии и снижению производительности [2]. Поэтому актуальными становятся задачи, связанные с повышением уровня автоматизации процесса изготовления мокрой заготовки, в том числе:

- объединение управляющих и вычислительных функций в едином центре (специальном контроллере);
- создание новых методов и средств контроля уплотняемости и плотности смеси;
- разработка новых критериев оценки качества и принятия решений по выработке управляющих воздействий системой управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1985. – С.292-295
2. Суздальцев А.И., Багров В.В. – Об особенностях процесса изготовления формовочных смесей для литейных форм при производстве чугуна. – Орёл, Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии». – 2008. – №1-3/269(544). – С.273-276

#### **Суздальцев Анатолий Иванович**

Орловский государственный технический университет, г. Орёл  
Профессор, доктор технических наук  
Тел.: 8-910-200-02-24  
E-mail: Suzdalcev\_a\_i@mail.ru

#### **Багров Владимир Викторович**

Орловский государственный технический университет, г. Орёл  
Соискатель кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Тел.: 8-910-301-62-55

УДК 004.9:504.06:656

О.А. ИВАЩУК

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КАК ОСНОВА РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

*В статье рассматриваются основные принципы современной системы управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса, обосновывается необходимость использования автоматизации для их успешной реализации. Предложена модель автоматизированной системы управления.*

**Ключевые слова:** автоматизация; система управления; экологическая безопасность; промышленно-транспортный комплекс.

*In article the main principles of the modern control systems by ecological safety of an industrially and transport complex are considered, necessity of use of an automation is substantiated. The model of the automated control systems is offered.*

**Keywords:** automation; the control system; the ecological safety; an industrially and transport complex.

В настоящее время уровень развития промышленности и транспорта во многом определяет социально-экономическое благополучие, качество жизни населения любого государства планеты. Промышленно-транспортный комплекс (ПТК) – это важнейшая составляющая экономики России, необходимая для производства товаров и услуг, являющаяся крупнейшим источником занятости и дохода населения страны. Сегодня это сложная организационно-техническая система, которая объединяет промышленные и транспортные предприятия, подвижной состав различных видов собственности; сферы их проектирования, строительства, реконструкции и содержания; дорожное хозяйство; службу управления движением.

После имевшего место в конце прошлого столетия существенного спада производства в России с 1995 г. число различных промышленных предприятий и организаций выросло более чем в 2 раза и составило к 2008 году около 5 млн. (рисунок 1, по материалам [1]). Большая их часть сосредоточена на европейской территории РФ – около 80 %. При этом на Центральный Федеральный округ (ЦФО) приходится 39 % всех российских промышленных предприятий и организаций.

Их оборот (в денежном эквиваленте) только за 2007 г. составил более 40000 млрд. руб. При этом основная доля также приходится на ЦФО – более 38 %, в том числе экономической деятельности: на обрабатывающие производства – более 30 %; торговлю, ремонт автотранспортных средств и бытовых изделий – около 30 %; транспорт и связь – более 10 %; добычу полезных ископаемых – около 10 % [1].

Следует особо отметить, что с каждым годом в регионах России, особенно на густонаселенных городских территориях, увеличивается численность подвижного состава всех форм собственности, прежде всего автомобилей [2]. Так, за 15 лет (с 1992 по 2007 г.) прирост автотранспортных средств в стране составил более 300%, а за последние 5 лет – свыше 150%. В 2008 г. их количество приблизилось к 40 млн. ед. (что составляет уже около 5 % от общего количества автомобилей в мире) и продолжает расти [3]. Основная доля автопарка РФ (около 75 %) так же, как и



промышленных предприятий и организаций, сосредоточена на территории ее европейской части. При этом на ЦФО приходится около 30 % всех российских автомобилей.

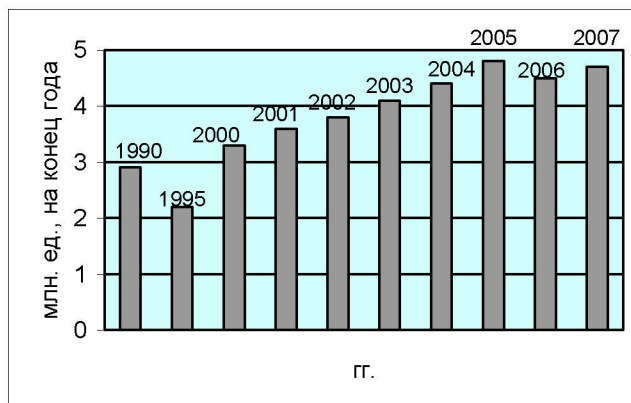


Рисунок 1 – Динамика численности промышленных предприятий и организаций в РФ

Следует отметить, что в настоящее время внешняя среда (геополитическая, экономическая, социальная и технологическая, а также природная) для любых организационно-технических систем [4], в том числе и для ПТК, все более приобретает свойства нестабильности и неопределенности. Первое связано с тем, что темпы изменения внешней среды постоянно растут, изменяя требования ко всем составляющим ПТК, а второе свойство определяется частым возникновением новых проблемных ситуаций, что уменьшает возможность принятия аналогичных предшествующим организационных и управленческих решений.

Особо важным является тот факт, что сегодня ко всем составляющим ПТК (в том числе, к отдельным объектам промышленности и транспорта) предъявляются требования перехода к организации инновационной деятельности. Они должны генерировать и использовать конкурентоспособные технологии, соответствующие мировому уровню, их продукция и услуги должны обладать значительным потенциалом коммерческой реализации. При таком подходе все элементы ПТК должны быть готовы и способны в любой момент и сжатые сроки перейти на создание и реализацию новых, более эффективных или видоизмененных видов продукции и услуг с новым качеством. Вышесказанное определяет высокую динамику рассматриваемой сложной организационно-технической системы в целом и всех ее составляющих как объектов экономики.

Все этапы функционирования ПТК сопровождаются негативными воздействиями на природную сферу [5]. Проблема обеспечения экологической безопасности (ЭБ) ПТК (в том числе и его отдельных объектов) на сегодняшний день является крайне актуальной.

Исходя из системных представлений, уровень ЭБ ПТК характеризует способность данной организационно-технической системы нормально функционировать, удовлетворяя необходимые экономические потребности, в условиях внешних и внутренних возмущений, взаимодействуя с природной средой, не нарушая гомеостаза последней (т. е. не приводя к необратимым изменениям или нарушениям важнейших параметров, характеризующих состояние ее качества, принятое за допустимое).

Следует особо подчеркнуть синергетический характер этого взаимодействия.

Так, незначительные (например, по объему) негативные воздействия могут привести к серьезным ухудшениям качества компонентов окружающей среды (например, в случае выброса сильно агрессивных загрязняющих веществ). Комбинированные воздействия различных факторов могут дать гораздо более сильный негативный эффект для качества природной среды, чем вызываемый каждым из факторов в отдельности. И с другой стороны, малые резонансные управляющие воздействия, соответствующие собственным тенденциям преобразования природной среды, могут вызвать значительный положительный эффект.

Активные меры обеспечения ЭБ ПТК состоят в создании и функционировании таких систем управления ЭБ ПТК на различных уровнях административно-территориального деления (федеральном, региональном, муниципальном, на локальных территориях), которые способны оперативно и эффективно реагировать на текущие изменения в самом объекте управления и в окружающей среде.

Определим основные принципы современной системы управления ЭБ ПТК, которая будет соответствовать современным условиям развития ПТК в РФ, позволит обеспечить эффективное предотвращение и снижение (по возможности, ликвидацию) экологических рисков, возникающих при функционировании ПТК (рисунок 2).

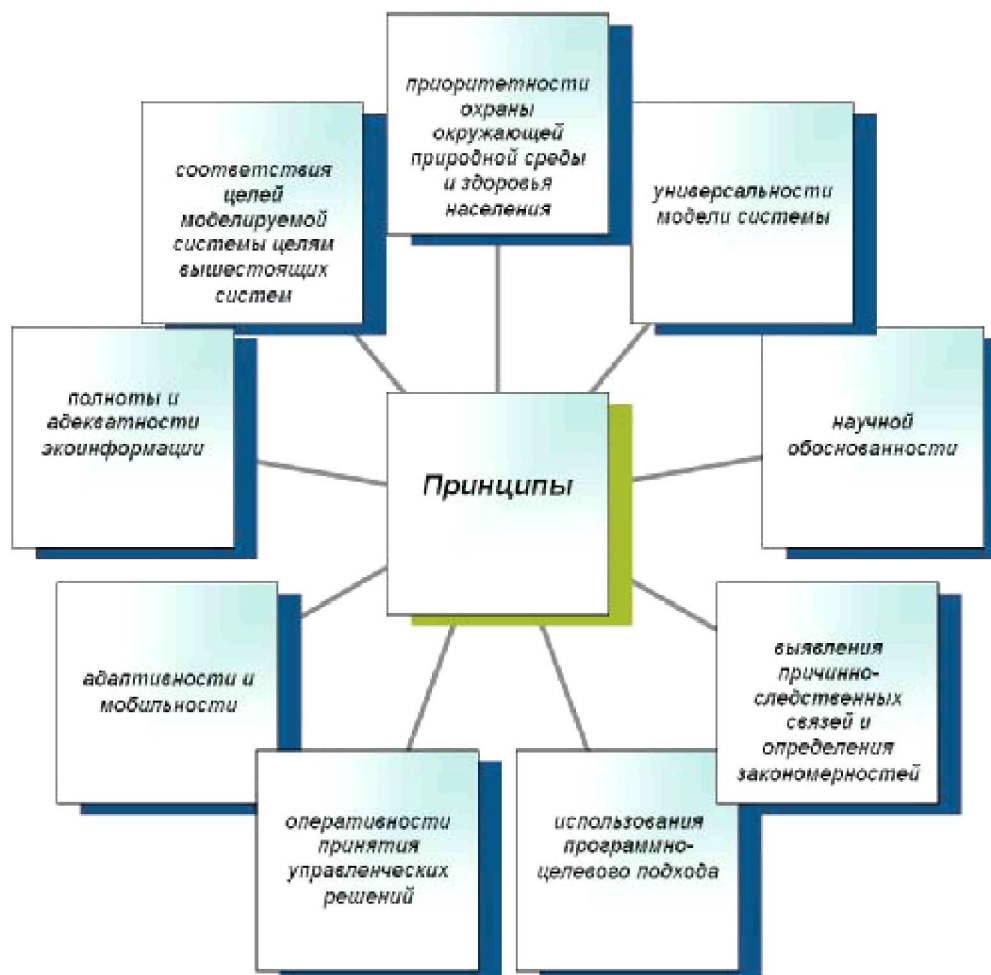


Рисунок 2 – Принципы современной системы управления ЭБ ПТК

Первый и основополагающий принцип – это принцип приоритетности охраны окружающей природной среды, жизни и здоровья населения, а также персонала ПТК

перед другими производственными и социальными целями, соответствующими задачами, решение которых обеспечивается в процессе деятельности различных объектов промышленности и транспорта. Этот принцип прописан в Конституции РФ, Экологической доктрине РФ и практически во всех федеральных законах, касающихся обеспечения ЭБ. Он является обязательным для всех видов человеческой деятельности в целях обеспечения устойчивого развития любого государства планеты.

Такой подход соответствует основным положениям Концепции устойчивого развития (принятой еще в 1992 г. на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро), которая отражает историческое решение об изменении курса развития всего мирового сообщества. Это следствие осознания человечеством того, что важнейшим последствием научно-технического развития его цивилизации является мощное негативное воздействие на окружающую среду, все в большей степени приобретающее характер необратимых изменений.

Второй принцип современной системы управления ЭБ ПТК – *принцип соответствия целей моделируемой системы (ее подсистем) целям вышестоящих систем*, а также систем, вместе с которыми данная система может входить в другие специальные системы (социально-экономические, организационно-технические и др.).

Так, вышестоящей системой для системы управления ЭБ ПТК, которая предполагается для функционирования на рассматриваемом уровне иерархии административно-территориального деления, является система управления ЭБ данной территории. Также эту систему рационально рассматривать в качестве одной из основных составляющих общей системы управления ПТК на рассматриваемой территории, в том числе, в качестве составляющей различных систем управления конкретными объектами промышленности и транспорта.

Третьим принципом определим *принцип универсальности модели* современной системы управления ЭБ ПТК. Здесь имеется в виду универсальность как по отношению к выбираемой территории (находящейся в зоне влияния ПТК), так и по отношению к самим объектам ПТК, рассматриваемым в качестве источников негативного техногенного воздействия на природную сферу. Реализация данного принципа обеспечит возможность использования подобной модели для построения и внедрения для практического использования эффективной системы управления ЭБ ПТК на любом уровне иерархии административно-территориального деления (федеральном, региональном, муниципальном, районном, локальных территориях), а также на любых объектах промышленности и транспорта.

Следует особо отметить, что результативность планирования, проведения и контроля любых регулирующих мероприятий, направленных на предотвращение или снижение (ликвидацию) негативного влияния ПТК на природную сферу, в существенной мере зависит от степени и качества информированности лиц, принимающих решения и реализующих конкретные управляющие воздействия. Поэтому четвертым принципом современной системы управления ЭБ ПТК определим *принцип полноты и адекватности экоинформации*, получаемой при ее функционировании.

Реализация данного принципа связана с проведением всестороннего предварительного анализа параметров ПТК и факторов внешней среды,



определяющих формирование экологической ситуации на рассматриваемой территории. На основе данного анализа отбираются параметры экомониторинга, которые полностью описывают состояние объекта управления – объекта ЭБ ПТК – в любой момент времени (интересующий исследователя). Результат отбора подобных параметров зависит от модели объекта управления, который, являясь сложной системой, будет включать несколько составляющих элементов, взаимодействующих между собой и с внешней средой посредством определенных информационных потоков.

Как было отмечено выше, в условиях становления инновационной России для ПТК в целом и всех его составляющих характерна высокая динамика изменения: как с точки зрения осуществляемой производственной деятельности, так и при рассмотрении их в качестве загрязнителей природной сферы. Таким образом, современная система ЭБ ПТК должна базироваться на следующем (пятом) принципе – *принципе адаптивности и мобильности*, который обеспечит оперативную реакцию самой системы и всех составляющих ее подсистем на текущие изменения в объекте управления и в окружающей среде.

Шестым принципом определим *принцип научной обоснованности* принимаемых управляющих решений в сфере ЭБ ПТК, который означает разумное, основанное на научных исследованиях сочетание экологических и экономических интересов общества. Органы управления должны располагать не только полной адекватной информацией об уровне ЭБ ПТК на рассматриваемой территории, но и (в случае возникновения неблагоприятной экологической обстановки) – достаточно полным множеством альтернативных сценариев управления, сформированных на основании прогноза развития сложившейся экологической ситуации и интегральной оценки результатов этого прогноза. При этом соответствующие модели, используемые для проведения оценки и прогноза, должны соответствовать текущей ситуации, т.е. их формирование должно быть динамичным, своевременно отражающим изменения как в самом ПТК, так и во внешней среде (составной частью которой является и природная среда, которой наносится экологический ущерб при функционировании объектов промышленности и транспорта на рассматриваемой территории).

Сложность и многогранность рассматриваемого объекта управления – объекта ЭБ ПТК – обуславливает сложность и многогранность процессов, которые протекают внутри него, и процессов взаимодействия данной управляемой системы с параллельно существующими системами, а также с внешней средой. Задача эффективного управления ЭБ ПТК (основанного, как указано выше, на адекватных оценках и приемлемой точности прогнозах), требует знания закономерностей протекания этих процессов (причем наиболее важно, когда они могут быть выражены формализованно). Таким образом, следующим (седьмым) принципом современной системы управления ЭБ ПТК является *принцип выявления причинно-следственных связей и определения закономерностей функционирования ПТК и его воздействия на окружающую среду*. Подобные знания позволят: оценить и спрогнозировать результат воздействия как отдельных объектов промышленности и транспорта, так и ПТК в целом на природную среду и здоровье населения рассматриваемой территории; разрешить неясность относительно последствий различных альтернативных действий (возникновение данной неясности в основном и связано с отсутствием достаточных знаний об имеющихся связях). Таким образом, необходимо

иметь достаточно полное формализованное описание ситуации, позволяющее осуществлять рациональный выбор действий.

Основными являются закономерности:

- формирования факторов загрязнения окружающей среды от объектов ПТК;
- распространения, накопления, ассимиляции и разложения загрязнений различного вида в окружающей среде;
- воздействия объектов ПТК (загрязнений различного вида) на окружающую среду и человека;
- социально-экономического развития;
- управления и принятия решений.

Следует отметить, что значительная их часть до настоящего времени не изучена и не формализована, поэтому одним из важнейших направлений обеспечения реализации данного принципа является построение неформализованных моделей, осуществляющих экспертные оценки.

Любая реальная ситуация принятия управленческих решений по повышению ЭБ характеризуется следующей особенностью. Принятие наиболее рационального решения должно быть максимально *оперативным*. Отсрочка означает, что не найдено нового или изменения старого действия, предпочтительного другим альтернативам. Таким образом, определим восьмым принципом современной системы управления ЭБ ПТК – *принцип оперативности принятия управленческих решений и реализации конкретных управляющих воздействий*.

Девятый принцип, необходимый при построении конкретной системы управления ЭБ ПТК и внедрении ее для практического функционирования на определенной территории, – это *принцип использования программно-целевого подхода*. Его сущность заключается в четком определении главной цели (и ее составляющих) разрабатываемой системы, ее структуризации по подсистемам, разработке и реализации специальной Программы, увязывающей поставленные цели с ресурсами и определяющей необходимое их количество на каждой стадии реализации заложенных мероприятий в установленные сроки. Цели ставятся как перед всей системой (это и есть главная цель), так и перед ее составными элементами (локальные цели или подцели). Принципиально важно, чтобы они были согласованы. При разработке специальной Программы важно из огромного количества факторов, обуславливающих достижение главной цели, выявить наиболее важные и эффективные. Для этого строится дерево целей и функций моделируемой системы и дерево систем. Программы, реализуемые для федерального или регионального уровней так же могут быть построены в виде дерева Программ.

Сегодня построение современной системы управления ЭБ ПТК, базирующейся на описанных выше принципах, неотъемлемо связано с использованием автоматизации, компьютеризации, передовых информационных технологий. Для этого имеются все необходимые условия: существенно возросла мощность компьютеров и вычислительных сетей; имеется мощный инструментальный построения развитых баз данных; разработаны эффективные методы построения математических моделей и проведения на их основе компьютерных экспериментов (здесь следует особо отметить успехи в области искусственного интеллекта); значительно развита сфера информационных и телекоммуникационных технологий

Реализация идеи автоматизации в области обеспечения ЭБ находит отражение в различных научных работах и в основном связана с использованием технических

средств автоматизированного контроля, передачи и обработки данных при организации экологического мониторинга, с разработкой специализированных математических моделей для оценки и прогнозирования изменений качества компонентов природной среды. Современное состояние и особенности развития ПТК в условиях становления инновационной России требуют использование единого концептуального подхода, основанного на реализации идеи адаптивности рассматриваемой системы управления ЭБ ПТК к текущим изменениям, происходящим как в самом ПТК, так и внешней среде (включающей и компоненты природной среды). Это связано с автоматизацией процесса управления *на всех этапах: от осуществления контроля до принятия управленческих решений*.

Предлагается следующая структура автоматизированной системы управления (АСУ) ЭБ ПТК, показанная на рисунке 3.

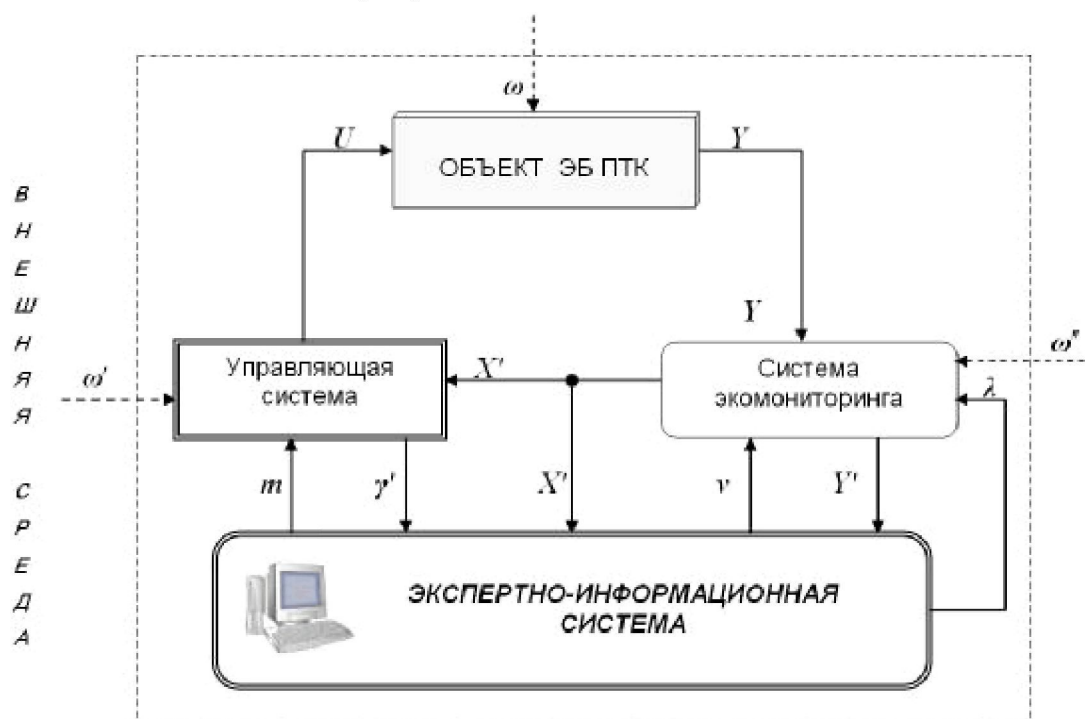


Рисунок 3 – Общая структура АСУ ЭБ ПТК

В ее состав входят: *объект управления; управляющая система; система экомониторинга; экспертно-информационная система (ЭИС)*.

Объект управления – объект ЭБ ПТК – в свою очередь, является сложной системой. В качестве обязательной составляющей она включает в себя ПТК, состояние которого определяет мощность негативного техногенного воздействия на компоненты природной среды рассматриваемой территории. Именно параметры объектов ПТК являются реально управляемыми с точки зрения реализации конкретных природоохранных мероприятий.

Сама АСУ ЭБ ПТК действует в определенной внешней среде, которая является общей и для субъекта, и для объекта управления, и для других подсистем данной системы. ПТК, включенный в объект управления, оказывает негативное воздействие на внешнюю среду, прежде всего, природный комплекс, а именно, на компоненты природной среды, которая находится в зоне влияния ПТК. Показатели качества данных компонентов зависят от параметров ПТК и параметров других составляющих

внешней среды. Изменение этих параметров оказывает непосредственное влияние на гомеостаз природного комплекса как системы.

Расширим границу объекта управления, включая в него часть среды, содержащую установленный механизм взаимодействия. В результате будем рассматривать объект управления в виде двух устойчиво взаимодействующих подсистем [6]:

- природный комплекс как организованная часть внешней среды (вычлененная из нее), взаимодействующая с ПТК, а именно *компоненты природной среды* (например, атмосферный воздух, акустическая среда, водные объекты и т.п.), на которые оказывают вредные воздействия объекты промышленности и транспорта на рассматриваемой территории и в которых распространяются и накапливаются загрязнения различного вида;

- непосредственно ПТК, функционирующий на рассматриваемой территории и представляющий собой, как указано выше, сложную динамичную организационно-техническую систему.

В результате управления ЭБ ПТК должно обеспечиваться состояние защищенности природной среды на определенном уровне иерархии административно-территориального деления от негативного влияния ПТК, действующего именно на рассматриваемой территории. При этом должно быть достигнуто такое функционирование образованных на данной территории природно-технических систем, при котором действительное состояние компонентов природной среды, взаимодействующих с объектами промышленности и транспорта, будет максимально приближено к требуемому целевому состоянию, определяемому нормативами качества окружающей среды.

На рисунке 2 вектор  $Y$  характеризует состояние объекта (его подсистем);  $\omega$  – вектор внешних воздействий на объект (его подсистемы);  $U$  – вектор управляющих воздействий на объект, а именно его подсистемы, параметры которых варьируются с целью предотвращения или снижения негативного воздействия ПТК на природные среды рассматриваемой территории.

На уровне управляющей системы осуществляется принятие управленческих решений и реализация конкретных управляющих воздействий на объектах промышленности и транспорта. Для выбора и проведения природоохранных мероприятий в ПТК, рациональных как с экологической, так и с экономической точки зрения (в данных сложившихся социально-экономических и природно-климатических условиях), управляющая система должна иметь достоверную информацию о текущем уровне ЭБ ПТК на рассматриваемой территории (вектор  $X'$ ), а также достаточно полное множество альтернативных сценариев управления (вектор  $m$ ), сформированных на основании прогноза развития экологической ситуации (сложившейся при воздействии объектов ПТК на природную сферу рассматриваемой территории) и интегральной оценки результатов этого прогноза. Эти задачи решаются на уровне специализированных подсистем АСУ: системы экомониторинга и ЭИС. Вектор  $\omega'$  – вектор внешних воздействий на управляющую систему, который позволяет при выработке управляющих решений использовать внешнюю информацию. Это, например, информация об изменениях нормативной и законодательной базы, инфраструктуры рассматриваемой территории, деятельности различных предприятий, о внедрении новых технологий, а также процессах инфляции и ценовой политики, уровне жизни населения, развитии производства в мире и РФ.

Определим следующие основные функции системы экомониторинга как составляющей АСУ ЭБ ПТК:

- контроль показателей качества компонентов природной среды, на которые оказывает негативное влияние ПТК на рассматриваемой территории;
- контроль параметров, характеризующих состояние объектов ПТК на рассматриваемой территории и определяющих уровень их ЭБ;
- контроль параметров внешнего воздействия на подсистемы АСУ ЭБ ПТК;
- оценка текущего уровня ЭБ ПТК на рассматриваемой территории.

Указанные функции реализуются в двух специализированных блоках [7]. Так, сбор первичной информации (компоненты векторов  $Y$ ,  $\omega$ ,  $\omega'$ ,  $\omega''$ , где  $\omega''$  – вектор внешних воздействий на систему экомониторинга) осуществляется в *контрольно-измерительном блоке*. Результат измерений – вектор  $Y'$ .

В другом блоке осуществляется *предварительная оценка текущего состояния ЭБ ПТК*, результат которой в виде вектора  $X'$  поступает в управляющую систему, а также (вместе с вектором  $Y'$ ) в ЭИС.

При построении и организации функционирования системы экомониторинга (ее составляющих подсистем) необходимо решить несколько параллельных задач:

- определить наиболее рациональную пространственную структуру измерительной сети (необходимое и достаточное количество стационарных и, если необходимо, мобильных постов контроля, их размещение на рассматриваемой территории);
- определить рациональную приборную комплектацию;
- обеспечить систему экомониторинга адекватными моделями, необходимыми для осуществления оценки уровня ЭБ ПТК на рассматриваемой территории.

Подсистема ЭИС включена в состав АСУ для реализации следующих основных функций:

- формирование альтернативных сценариев управления (на основе осуществления пространственно-временного прогнозирования развития сформированной экологической обстановки и интегральной оценки его результатов), передающихся в управляющую систему по каналам информационных потоков  $m$ ;
- моделирование оптимальной сети наблюдения на рассматриваемой территории и рациональной (в данных условиях) приборной базы, результаты которого поступают по информационным потокам  $\lambda$  в систему экомониторинга (контрольно-измерительный блок);
- разработка моделей, необходимых для осуществления адекватной оценки текущей экологической обстановки, сформированной в результате воздействия объектов ПТК на компоненты природной среды рассматриваемой территории, которые по информационным потокам  $\nu$  поступают в систему экомониторинга (блок предварительной оценки уровня ЭБ ПТК).

Таким образом, именно на данном уровне АСУ ЭБ ПТК определено генерирование моделей, обеспечивающих своевременную адаптацию управляющей системы и системы экомониторинга к текущим изменениям, происходящим в объекте управления и во внешней среде.

В результате в структуре АСУ образуются два внутренних контура управления, в каждом из которых субъектом управления выступает ЭИС.

Первый контур включает ЭИС и управляющую систему АСУ ЭБ ПТК (в данном случае это объект управления). Вектор  $m$  представляет собой управляющий

сигнал. Потоки обратной связи  $\gamma'$  (поступающие в ЭИС) – это результаты выбора для практической реализации конкретных сценариев управления, рациональных как с экологической, так и с экономической точки зрения. Векторы  $\omega'$  и  $X'$  в данном контуре характеризуют внешние воздействия на объект управления.

Во втором контуре объектом управления выступает система экомониторинга. Векторы  $\lambda$  и  $\nu$  – управляющие сигналы, поступающие в соответствующие элементы системы экомониторинга. Векторы  $X'$  и  $Y'$  – сигналы обратной связи, поступающие от этих элементов в ЭИС, а  $Y$  и  $\omega''$  определяют в данном контуре внешние воздействия на систему экомониторинга.

Моделирование и внедрение для практического функционирования предлагаемой АСУ ЭБ ПТК позволит обеспечить (в результате ее работы на любом уровне иерархии административно-территориального деления, в том числе, и на локальных территориях) принятие и реализацию своевременных, эффективных и рациональных как с экологической, так и с экономической точки зрения управленческих воздействий, связанных с предотвращением и снижением (по возможности ликвидацией) негативного техногенного воздействия на природную сферу рассматриваемой территории со стороны объектов промышленности и транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2008: Стат. сб. / Росстат.; под ред. А.Л. Кевеша и [др.] – М., 2008. – 999 с. – ISBN 978-5-89476-264-7.
2. Иващук О.А. Повышение экологической безопасности автотранспорта региона на основе систем мониторинга с использованием интеллектуальных технологий: монография. – Орел: изд-во ОрелГАУ, 2008. – 244 с.: ил. – ISBN 978-5-93382-100-7.
3. Автомобильный рынок России – 2008: Статистика и аналитика: производство, продажи, парк / сост. С. Целиков и [др.]; аналитическое агентство «Автомобильная статистика». – М.: АВТОСТАТ, 2008. – 189 с.
4. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В. Борисов и [др.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 154с. – ISBN 5-93517-111-2.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году: государственный доклад [Электронный ресурс]. – М., 2008. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с экрана.
6. Иващук О.А. Управление экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса / Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – 2009. – № 1/51(562). – С. 16-22.
7. Иващук О.А., Чудный Ю.П. Построение системы экомониторинга при организации автоматизированного управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса / Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – 2009. – № 2/52(563). – С. 61-68.

#### Иващук Ольга Александровна

ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел  
Кандидат физико-математических наук, доцент, декан факультета гуманитарных и естественнонаучных дисциплин, зав. кафедрой физики  
Тел.: (4862)70-18-87  
E-mail: [ivascuk@orel.ru](mailto:ivascuk@orel.ru)

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 004.738.5.057.4

А. И. ОФИЦЕРОВ, В. Т. ЕРЕМЕНКО

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РАБОТЫ МАРШРУТИЗАТОРОВ  
В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*В статье сделан акцент на количественную оценку эффективности маршрутизаторов. Предложены алгоритмы определения эффективности работы маршрутизаторов в различных режимах, а также методика оценки времени выполнения алгоритмов сетевыми устройствами и принятия на их основе эффективных управленческих решений. Это позволит формальным образом сравнивать между собой различные варианты настроек маршрутизаторов и выбирать оптимальные варианты их конфигурации.*

**Ключевые слова:** маршрутизатор; настройка; конфигурация; целевая функция; оценка эффективности; параметр; алгоритм; производительность.

*In clause it is emphasized on a quantitative estimation of efficiency of routers. Algorithms of definition of an overall performance of routers in various modes, and also a technique of an estimation of execution time of algorithms by network devices and acceptances on their basis of effective administrative decisions are offered. It will allow to compare in the formal image among themselves various variants of adjustments of routers and to choose optimum variants of their configuration.*

**Keywords:** router; adjustmen; configuration; efficiency function; estimation of efficiency; parameter; algorithm; productivit.

**ВВЕДЕНИЕ**

Одной из актуальных задач проектирования и администрирования сетей передачи данных предприятий является настройка маршрутизаторов, осуществляющих передачу информации в пакетном режиме. Под конфигурацией маршрутизатора будем понимать состав и настройку как программного, так и аппаратного обеспечения устройства. Актуальность проблемы определяется высокой сложностью настройки современных сетевых устройств и необходимостью эффективного использования оборудования и линий связи.

Современные исследования в рассматриваемой области носят качественный характер и сводятся к отдельным рекомендациям. В работающих в настоящее время сетях часто используются настройки многих параметров маршрутизатора по умолчанию, что не всегда является наилучшим решением.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

При определении оптимальной конфигурации маршрутизатора большой проблемой является задача анализа и разработки методов его конфигурирования. Работу маршрутизатора нельзя оценивать в отрыве от процессов функционирования сети, в связи с этим возникает сложность оценки эффективности его работы при различных вариантах настроек.

Условимся, что оценка эффективности настройки маршрутизации может рассматриваться применительно к настройкам маршрутизатора либо к оценке

процессов его функционирования при данных настройках.

Для оценки предлагается использовать *целевую функцию*, которая представляет собой сумму нормированных параметров, характеризующих тот или иной аспект работы маршрутизатора с учетом весовых коэффициентов, определяющих значимость сопоставленных с ними параметров в соответствии с целью.

Формирование целевой функции учитывает следующие факторы:

- маршрутизатор может работать в различных режимах;
- в каждом из режимов работа маршрутизатора может описываться различными параметрами, для совместного учета которых требуется использование целевой функции;

- значимость параметров может меняться в зависимости от функции, стоящей перед маршрутизатором, например, они различные для маршрутизаторов уровня ядра и уровня доступа.

Обозначим целевую функцию через  $F$ . Она представляет собой сумму двух слагаемых:

$$F(\Omega_r \times \Omega_s) = k_r F_r(\Omega_r) + k_s F_s(\Omega_s), \quad (1)$$

где  $F_r(\Omega_r)$ ,  $F_s(\Omega_s)$  – параметры, характеризующие эффективность работы маршрутизатора в режимах построения таблиц маршрутизации и обработки пакетов соответственно;

$k_r$ ,  $k_s$  – весовые коэффициенты, определяющие влияние режимов построения таблиц маршрутизации и обработки пакетов в общей цели оптимизации;

$\Omega_r$ ,  $\Omega_s$  – множества параметров, от которых зависит работа маршрутизатора.

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАРШРУТИЗАТОРА В РЕЖИМЕ ПОСТРОЕНИЯ ТАБЛИЦ МАРШРУТИЗАЦИИ**

Эффективность работы маршрутизатора в режиме построения таблиц маршрутизации  $F_r$  зависит от таких параметров, как сходимость, накладные расходы, оптимальность маршрута.

Основной характеристикой протоколов маршрутизации является его быстрая *сходимость*. Маршрутизаторы сети могут находиться в двух состояниях — с правильными и неправильными таблицами маршрутизации. Неправильные таблицы маршрутизации могут получиться при изменении топологии сети. Сходимостью будем называть процесс приведения в соответствие таблиц маршрутизации и новой топологии сети. Очевидно, что чем быстрее будет проходить сходимость, тем лучше работает сеть.

Другой немаловажной характеристикой протоколов маршрутизации являются *накладные расходы*. Прежде всего, учитываются накладные расходы, связанные с передачей по сети информации о ее топологии. В некоторых случаях (для сложных протоколов, таких как *OSPF* и *BGP*) значимым фактором оказываются вычислительные расходы на построение таблиц маршрутизации.

Еще одним параметром является оптимальность протоколов маршрутизации. Некоторые протоколы маршрутизации (прежде всего, *RIP*) могут выбирать не самые оптимальные пути для передачи пакетов.

Формула для определения эффективности работы маршрутизатора в режиме построения таблиц маршрутизации имеет следующий вид:

$$F_r = k_{rc} F_{rc} + k_{rn} F_{rn} + k_{ro} F_{ro}. \quad (2)$$



В формуле (2) индексы относятся к оценкам времени сходимости протоколов маршрутизации ( $rc$ ), накладных расходов ( $rn$ ) и оптимальности выбора маршрутов ( $ro$ ) при построении таблиц маршрутизации.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАРШРУТИЗАТОРА В РЕЖИМЕ ОБРАБОТКИ ПАКЕТОВ

Эффективность работы маршрутизатора в режиме обработки пакетов  $F_s$  характеризуется такими параметрами, как пропускная способность, задержка и надежность передачи пакетов. Использование целевой функции в данном случае не является целесообразным. Как показал анализ происходящих при обработке пакетов процессов и экспериментальные данные эти величины сильно коррелированы между собой и имеют одну основу.

Исходя из анализа процесса обработки пакетов, предлагается использовать для оценки эффективности работы маршрутизатора в режиме обработки пакетов *время обработки пакета*  $T_{pp}$  (time packet processing) – процессорное время, которое тратится на обработку пакета.

Отличие введенного параметра от времени задержки пакетов состоит в том, что он представляет собой чистое время обработки пакетов, а не время, в течение которого пакет находился в маршрутизаторе. Например, время, в течение которого пакет ожидает освобождения линии связи (находится в очереди) учитывается во времени задержки пакета, но при этом процессорное время на его обработку не расходуется.

В том случае, если обработка пакета происходит на нескольких процессорных элементах, например, центральном и интерфейсном процессорах, за время обработки пакета следует принимать максимальное время работы одного из процессоров.

Введенный параметр позволяет оценить эффективность работы маршрутизатора в режиме обработки пакетов и характеризует параметры, применяющиеся для оценки этого режима.

Связь между временем обработки пакета и пропускной способностью маршрутизатора выражается следующей формулой:

$$P = \frac{L(\ )}{T_{pp}}, \quad (3)$$

где  $P$  – пропускная способность маршрутизатора;

$L(\ )$  – длина пакета.

Круглые скобки после символа длины пакета означают, что эта величина зависит от профиля трафика. Обе величины: и пропускная способность, и время обработки пакета – характеризуют скорость обработки пакетов маршрутизатором, при этом пропускная способность также зависит и от распределения длин пакетов передаваемого трафика. Распределение длин пакетов передаваемого трафика не зависит от настроек маршрутизатора и, следовательно, не может их характеризовать.

Таким образом, время обработки пакетов характеризует эффективность обработки пакетов без учета распределения длин трафика.

Связь между временем обработки пакетов и задержкой пакетов может быть выражена следующей формулой:

$$T_d = T_{pp} + T_q(\ ), \quad (4)$$

где  $T_d$  (time delay) – задержка пакета;

$T_q$  ( ) (time queue) – время нахождения пакета в очередях.

Время нахождения пакета в очередях определяется, в первую очередь, интенсивностью передаваемого трафика. Существует также его зависимость и от эффективности обработки пакетов – чем быстрее обрабатываются пакеты, тем меньше очередь и тем меньше пакет в ней находится, но эта зависимость косвенная.

Таким образом, время обработки пакета адекватно характеризует эффективность обработки пакетов. В отличие от применявшихся ранее параметров оно не учитывает распределения трафика. Это свойство является достоинством предложенного параметра с точки зрения универсальности, однако его измерение возможно только косвенным образом.

Для аналитического определения времени обработки пакета необходимо подсчитать время выполнения каждой из операций над пакетом.

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ СЕТЕВЫМИ УСТРОЙСТВАМИ**

В теории рассматривается общий подход к оценке эффективности и времени выполнения алгоритмов. Основной вычислительной особенностью рассматриваемых алгоритмов является *распределенный характер* сети передачи данных. При их выполнении обычно используется два вида вычислительных блоков.

В первом случае вычислительные блоки расположены на различных сетевых устройствах. Примером такого варианта могут быть протоколы маршрутизации. При этом нужно учитывать, что часть информации передается по линиям связи и может задерживаться или теряться. Алгоритмы подобного типа обычно используются в служебных протоколах и не подходят для непосредственной обработки трафика.

Во втором случае вычислительные блоки расположены в одном устройстве. Скорость работы алгоритмов такого типа сильно зависит от аппаратной платформы. Иллюстрацией к данному случаю служат протоколы управления трафиком. В современных сетевых устройствах они выполняются, как правило, не центральным процессором, а контроллерами интерфейсов.

Другой особенностью алгоритмов сетевых устройств является *многозадачность*. Обычно сетевому устройству приходится обрабатывать большое число пакетов. При этом может использоваться два типа многозадачности.

В первом случае происходит пакетная обработка данных, при которой сетевое устройство, обработав один пакет, переходит к обработке другого.

Также используется и многозадачность с разделением времени. Сетевые устройства обычно работают под управлением операционных систем реального времени, с указанной многозадачностью, такие, как, например, *Cisco IOS*.

В соответствии с выбранным подходом к рассмотрению работы маршрутизатора в двух режимах можно выделить два класса алгоритмов. Алгоритмы первого класса заняты непосредственно обработкой трафика. Они обычно выполняются на вычислительных блоках одного устройства и повторяются много раз для каждого из пакетов. Ко второму классу относятся служебные протоколы. Они обычно выполняются одновременно на нескольких устройствах, но при этом вызываются гораздо меньшее число раз и имеют меньшие требования по скорости.

Особенности выполнения вычислений на сетевом оборудовании обуславливают особенности определения эффективности алгоритмов. Эффективность

алгоритмов можно оценивать как по полученным результатам, так и по используемым ресурсам. В первом случае эффективность зависит от характера решаемой задачи, поэтому не существует универсального критерия для ее оценки. Рассмотрим второй случай.

В общем случае различают два вида эффективности по используемым ресурсам – пространственная и временная. *Пространственная эффективность* характеризует объем памяти, используемой алгоритмом. *Временная эффективность* определяет время, затрачиваемое на выполнение алгоритма.

С точки зрения рассматриваемых алгоритмов, большее значение имеет временная эффективность. Для алгоритмов, непосредственно занимающихся обработкой трафика, это обуславливается необходимостью обработки большого числа относительно небольших пакетов. Структуры данных, требуемые для служебных протоколов, также обычно занимают относительно небольшой объем памяти. В дальнейшем под эффективностью будет подразумеваться временная эффективность.

Для определения эффективности работы алгоритмов обычно оценивается его сложность. Сложность алгоритмов указывается как функция от количества входных данных. Под сложностью понимается количество операций, которые нужны для выполнения алгоритма.

При оценке эффективности алгоритмов, применяемых в сетевых устройствах, параметр «сложность» не всегда адекватен в связи с распределенной обработкой большого числа пакетов. Например, алгоритм Дейкстры для определения оптимального пути на графе имеет меньшую сложность по сравнению с алгоритмом Форда-Беллмана. В то же время, при применении этих алгоритмов для построения таблиц маршрутизации алгоритм Форда-Беллмана работает значительно быстрее. Это объясняется тем, что вычисления в этом случае распределяются между несколькими маршрутизаторами, в то время как вычисления по алгоритму Дейкстры выполняются каждым маршрутизатором самостоятельно.

Для оценки выполнения распределенных алгоритмов необходимо ввести параметр, учитывающий как распределенный характер вычислений, так и необходимость обработки большого числа пакетов.

В общем случае, для произвольных вычислений выбор такого параметра является достаточно сложной задачей. Для ее решения нужно ввести несколько допущений, справедливых для рассматриваемых алгоритмов.

Во-первых, в отличие от математических вычислений, при выполнении рассматриваемых алгоритмов нет взаимозаменяемости элементов обработки данных. Другими словами, каждый элемент выполняет свой объем работ, который не может быть передан другому элементу. Это позволяет упростить оценку их эффективности, проанализировав сложность алгоритма для каждого элемента обработки данных.

Во-вторых, будем считать, что вся система, выполняющая алгоритм, работает в режиме пакетной обработки данных. Другими словами, система, обработав один блок данных, переходит к другому. Такое допущение позволяет оценивать только общее время работы алгоритма, и не учитывать нагрузку отдельных элементов.

Под *сложностью* алгоритма для элемента обработки данных  $T_i$  будем понимать количество операций, которое нужно выполнить соответствующему элементу при работе алгоритма.

При выполнении сетевых алгоритмов как в случае обработки пакетов, так и в

случае обработки маршрутной информации происходит последовательная обработка элементов данных.

Элементом данных будем называть один блок данных, обрабатываемый алгоритмом. Очевидно, что скорость работы алгоритма будет определяться самым медленным элементом обработки данных. Однако, учитывая, что элементы работают с разной скоростью и с разной нагрузкой, нужно для всех элементов привести сопоставимую характеристику. Для алгоритмов, непосредственно работающих с трафиком, элементом данных будет являться пакет. Элемент данных для служебных протоколов определяется в зависимости от протокола.

Производительностью элемента обработки данных  $P_i$  будем называть количество элементов данных, обрабатываемых за единицу времени. Например, для элементов обработки данных, непосредственно обрабатывающих трафик, это будет количество обработанных пакетов в секунду.

Сложность алгоритма для элемента обработки данных и его производительность являются обратными величинами с коэффициентом, пропорциональным вычислительной мощности элемента:

$$P_i = \frac{K_i}{T_i}, \quad (5)$$

где  $T_i$  – сложность алгоритма для  $i$ -го элемента обработки данных;

$K_i$  – коэффициент производительности  $i$ -го элемента.

$P_i$  – производительность  $i$ -го элемента.

Производительностью алгоритма для сети будем называть минимальную производительность всех элементов обработки данных, участвующих в работе алгоритма:

$$P = \min_i(P_i), \quad (6)$$

где  $P_i$  – производительность  $i$ -го элемента обработки данных,  $\text{с}^{-1}$ ;

$P$  – производительность алгоритма,  $\text{с}^{-1}$ .

Сложность всего алгоритма будет обратно пропорциональна производительности:

$$T = \frac{1}{P}, \quad (7)$$

где  $T$  – сложность алгоритма для сети.

У однотипных алгоритмов элемент обработки данных с минимальной производительностью обычно совпадает. В этом случае нет необходимости учитывать его скорость работы.

Относительной производительностью элемента обработки данных будем называть величину, обратную количеству операций, которые необходимо выполнить данному элементу для обработки всех пакетов. Таким образом, в общем случае эффективность алгоритма определяется по его производительности. Производительность зависит от аппаратной платформы, на которой выполняется алгоритм, и от характера нагрузки. Следовательно, выбор лучшего алгоритма в рассматриваемом случае зависит как от типа сетевого устройства, так и от характеристик трафика.

В простых случаях для сравнения между собой алгоритмов можно воспользоваться относительной производительностью. Более эффективным будет алгоритм, имеющий меньшую сложность обработки для наиболее загруженного элемента. Задача нахождения сложности или производительности элемента обработки данных сходна с обычной задачей нахождения сложности для алгоритма. Для ее решения необходим анализ конкретных алгоритмов, применяемых в сетевом оборудовании. При этом может использоваться стандартный подход к оценке сложности.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В статье проанализированы параметры маршрутизаторов в различных режимах и предложен метод оценки эффективности их работы, позволяющий сравнивать между собой и выбирать оптимальные конфигурации устройств.

Рассмотрены подходы к оценке работы маршрутизаторов в режиме построения таблиц маршрутизации и выбран метод количественной оценки эффективности их работы в этом режиме, необходимый для оценки работы маршрутизаторов в целом.

Исследованы характеристики маршрутизаторов и предложен новый подход к оценке эффективности их работы в режиме обработки пакетов. Показана адекватность введенного параметра решаемой задаче и его преимущество перед другими возможными вариантами.

В общем виде рассмотрена задача и предложен метод оценки эффективности (времени выполнения) алгоритмов, реализуемых на сетевых устройствах, который позволяет находить составляющие количественной оценки эффективности работы маршрутизаторов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. –2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 864 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 512 с.
4. Острелох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка: пер. с англ. – СПб.: ООО «ДиаСофт», 2002. – 512 с.

#### **Офицеров Александр Иванович**

Аспирант кафедры  
«Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Тел.: 8(4862)45-55-03  
E-mail: [oficerow@mail.ru](mailto:oficerow@mail.ru)

#### **Еременко Владимир Тарасович**

Заведующий кафедрой  
«Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»,  
Доктор технических наук, профессор  
Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Тел.: 8(4862)41-57-65  
E-mail: [Wladimir@orel.ru](mailto:Wladimir@orel.ru)

В.В. ФЕДОРЕНКО, А.М. ВИНОГРАДЕНКО

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ  
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И СГЛАЖИВАНИЯ  
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
С ПОМОЩЬЮ ЛОКАЛЬНО-ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ  
МОДЕЛЕЙ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Предложены локально-полиномиальные модели измеряемых процессов, позволяющие повысить точность и оперативность информационно-измерительных систем и которые можно использовать для мультиплексирования и оперативного сглаживания телеметрической информации.*

**Ключевые слова:** мультиплексирование; сглаживание; телеконтроль; достоверность; измерительная информация; информационно-измерительная система; локальные полиномы; алгоритм; комплексная оптимизация.

*They are offered local-polynomial models of the measured processes, allowing raise accuracy and operativity information-measuring systems and which possible use for multiplexing and operative smoothing to telemetry information.*

**Keywords:** the multiplexing; the smoothing; supervisory control; validity; measuring information; information-measuring system; the local multinomials; the algorithm; the complex optimization.

Достоверность данных телеконтроля достигается повышением точности измерения значений физических процессов и устранением вредного действия помех [1]. Одним из путей повышения точности и оперативности информационно-измерительных систем (ИИС) является использование статистических методов обработки данных [2]. Для этого необходима разработка математических моделей измерительных процессов, которые используются на различных этапах измерений: при сглаживании (фильтрации) и сжатии, восстановлении и диагностике, обработке и анализе информации.

Задачи сглаживания, сжатия, восстановления и анализа информации обычно решаются на основе полиномиальных или кусочно-полиномиальных (в основном кусочно-линейных) моделей измеряемых процессов [2], то есть путем аппроксимации параметра какой-либо функцией. Этими функциями могут быть степенные полиномы, ряды Фурье, полиномы Чебышева и др. [1]. Однако использование этих моделей приводит к ряду недостатков, которые ведут к потере точности и оперативности ИИС.

Задача исследования просто реализуемых операторов среднего и экспоненциального сглаживания состоит в определении оптимальных параметров сглаживающих устройств или алгоритмов и оценке эффективности сглаживания. В общем виде сглаживание можно выразить оператором:

$$L\{S'_{ni}\} = \sum_{j=0}^{N-1} \omega_j S'_{ni-j},$$

где  $\omega_j$  – весовая функция;

$N$  – интервал осреднения.

Таким образом, сглаживание сводится к усреднению измерений, взятых с определенным весом  $\omega_j$ , который учитывает важность измерения  $S_{m-j}$  для оценки среднего значения  $S_m$  [1].

Операциями сжатия измерительной информации с сохранением возможности восстановления исходных данных являются операции адаптивного квантования непрерывных измеряемых величин по времени, связанные с минимизацией числа дискрет и их аппроксимации с помощью приближающих функций минимальной сложности.

Суть адаптивного квантования по времени заключается в том, что выборка дискрет на каждом участке квантования производится таким образом, чтобы при заданной погрешности аппроксимации по этим дискретам было возможно восстановление исходной функции с помощью заданной аппроксимирующей функции.

Частным, промежуточным между равномерным и адаптивным квантованием является кусочно-равномерное программное квантование (рисунок 1).

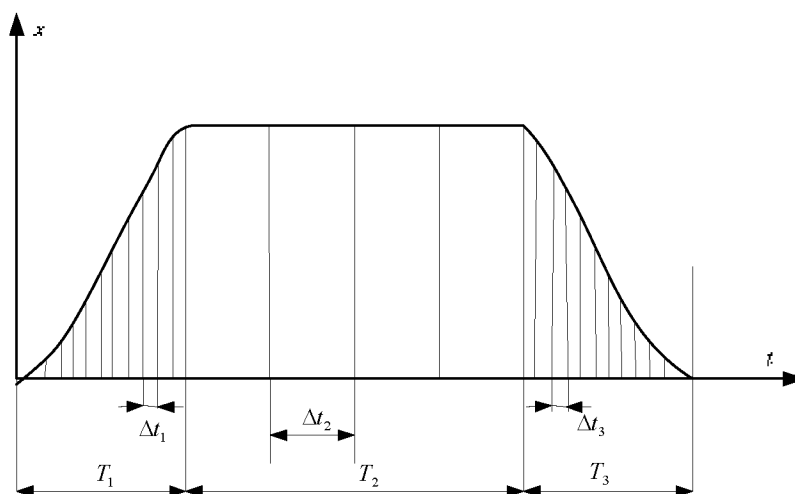


Рисунок 1 – Кусочно-равномерное программное квантование по времени

Такую разновидность квантования по времени можно реализовать, если известен характер изменения  $x(t)$  и можно выделить остальные участки, на каждом из которых устанавливаются свои равномерные интервалы квантования. Использование кусочно-равномерного квантования по времени в ряде случаев может дать ощутимый эффект сжатия при простом аппаратном оформлении. Так, например, если:

$$\Delta t_1 = \Delta t_3, \quad \Delta t_2 = 10\Delta t_1, \quad T_1 = T_3, \quad T_2 = 8T_1, \quad \text{то } K \approx 3,6,$$

где  $K$  – коэффициент сжатия;

$\Delta t_i$  – интервалы времени.

Однако при кусочно-равномерном квантовании не учитываются особенности поведения исходной величины внутри участков, что часто не позволяет добиться более полного сжатия информации [3].

Рассмотрим комплексное решение задач сглаживания, сжатия (временной дискретизации) и восстановления измерительной информации на основе локально-полиномиальной модели измеряемых процессов. Наибольшей точностью полиномиальной аппроксимации измеряемых случайных процессов обладают

локальные полиномы, имеющие ряд особенностей. Измеряемые в интервале  $[t_0, t_k]$  процесс  $S(t)$  в классе этих полиномов записывается в обычной форме:

$$S(t) = \sum_{j=1}^J \varphi_j(t) S_j. \tag{1}$$

В отличие от известных полиномов локальные полиномы обладают следующими свойствами:

- коэффициенты полиномов  $S_j$  имеют непосредственный физический смысл и представляют собой значения полинома в дискретные моменты:

$$S_j = S(t_j), \quad t_j \in [t_0, t_k]; \tag{2}$$

- координатные функции полиномов  $\varphi_j(t)$  удовлетворяют равенствам:

$$\varphi_j(t_l) = \begin{cases} 1, & \text{при } j = l, \\ 0, & \text{при } j \neq l; \end{cases} \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^J \varphi_j(t) = 1 \text{ при } t \in [t_0, t_k]; \tag{4}$$

- координатные функции локальны (отличны от нуля лишь в ограниченном интервале):

$$\varphi_j(t) = 0 \text{ при } |t - t_j| \geq \tau, \quad \tau \in [t_0, t_k]; \tag{5}$$

- локальные полиномы ограниченно гладкие (непрерывны лишь несколько первых производных):

$$S^{(\mu)}(t) < \infty, \quad \mu = 1, \dots, M. \tag{6}$$

Координатные функции для одного из видов локальных полиномов с характеристиками  $t_j - t_{j-1} = h = const$ ,  $t_k - t_j = t_{j1} - t_0 = 0,5h$ ,  $M = 4$  представлены на рисунке 2. В середине общего интервала  $[t_0, t_k]$  координатные функции инвариантны сдвигу во времени на интервал  $h$ .

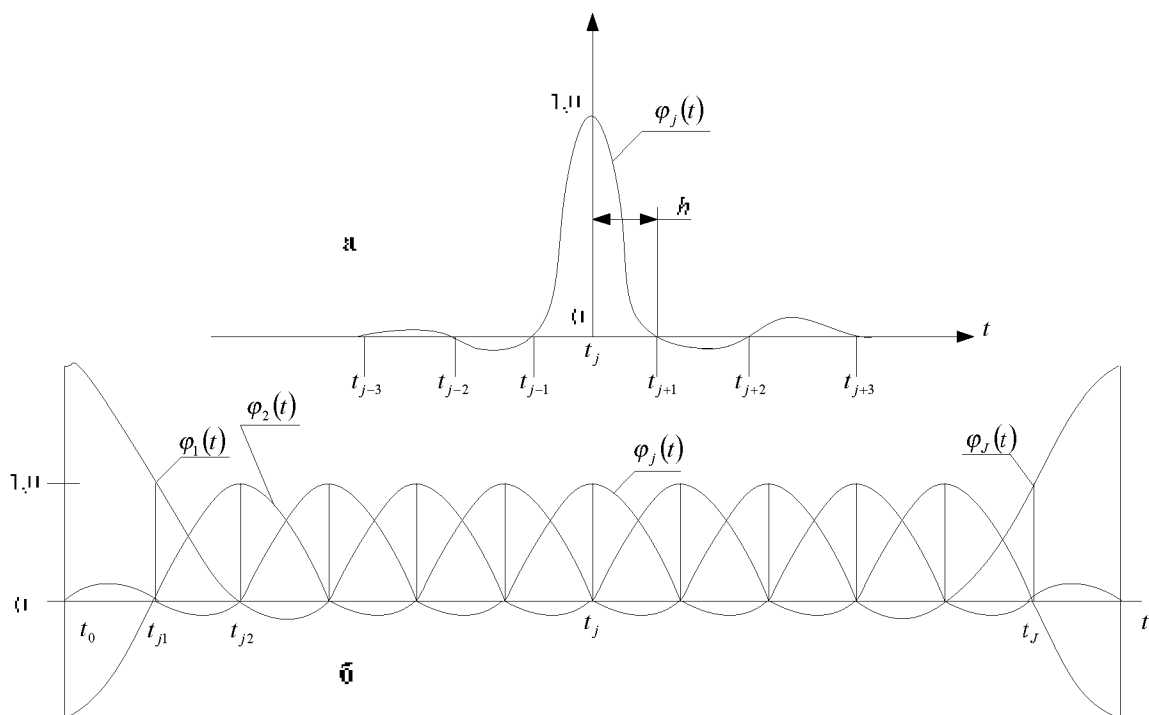


Рисунок 2 – Координатные функции для одного из видов локального полинома



Благодаря свойствам (2) – (6) локальные полиномы можно эффективно использовать в ИИС на различных этапах измерений. Рассмотрим использование этих полиномов для одновременного сглаживания и сжатия измерительной информации. Пусть результаты дискретных измерений  $y(t_i)$  в моменты  $t_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) являются аддитивной смесью истинных значений измеряемого процесса  $S(t)$  и погрешностей измерений  $\delta(t)$ :

$$S(t_i) + \delta(t_i) = y(t_i), \quad t_i \in [t_0, t_k]. \quad (7)$$

Представим процесс  $S(t)$  локально-полиномиальной моделью (2). Переходя к матричным обозначениям, запишем систему (7) в виде:

$$AS + \Delta = Y, \quad (8)$$

где  $A = \|\varphi_j(t_i)\|$  ( $j=1, \dots, J, i=1, \dots, n$ ) – матрица преобразования;

$S = \|S_j\|$ ,  $\Delta = \|\delta(t_i)\|$ ,  $Y = \|y(t_i)\|$  – векторы.

Если погрешности измерений несмещены, некоррелированы и имеют постоянные дисперсии, то наиболее точные оценки вектора коэффициентов  $S$  получаются по методу наименьших квадратов [3]:

$$\bar{S} = \|\bar{S}_j\| = (A^T A)^{-1} A^T Y, \quad (9)$$

где  $T, -1$  – операторы транспонирования и обращения. При большой степени полинома  $J$  алгоритм (9) довольно трудоемок. Однако его можно существенно упростить:

$$A^T A = \left\| \sum_{i=1}^n \varphi_j(t_i) \varphi_l(t_i) \right\| \quad (j, l = 1, \dots, J). \quad (10)$$

Благодаря локальности (5) координатные функции почти ортогональны, то есть суммы  $\sum_{i=1}^n \varphi_j(t_i) \varphi_l(t_i)$  при  $j \neq l$  малы по сравнению с суммами при  $j = l$ . Поэтому недиагональными элементами матрицы  $A^T A$  можно практически пренебречь и считать матрицу диагональной. Тогда обратная матрица  $(A^T A)^{-1}$  также будет диагональной с элементами на диагонали, равными  $\left[ \sum_{i=1}^n \varphi_j^2(t_i) \right]^{-1}$ . В результате алгоритм (9) распадается на отдельные алгоритмы оценки каждого из значений  $S_j$ :

$$\bar{S}_j = K_j \left[ \sum_{i=1}^n \varphi_j^2(t_i) \right]^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_j(t_i) y(t_i), \quad j = 1, \dots, J. \quad (11)$$

Здесь коэффициент  $K_j$  введен для компенсации смещения оценок из-за приближенного представления матрицы  $A^T A$  и равен  $\left[ \sum_{i=1}^n \varphi_j^2(t_i) \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n \varphi_j(t_i) \right]^{-1}$ . Учитывая это, а также свойство локальности (5), алгоритм (11) можно записать в виде:

$$\bar{S}_j = \left[ \sum_{i \in \Omega_j} \varphi_j(t_i) \right]^{-1} \cdot \sum_{i \in \Omega_j} \varphi_j(t_i) y(t_i), \quad j = 1, \dots, J, \quad (12)$$

где  $\Omega_j$  – множество индексов  $t_i$  в интервале  $t_j \pm \tau$ . В середине общего интервала  $[t_0, t_k]$  он равен  $t_j \pm 3h$  (рис.2 а).

Алгоритм (12) позволяет оценить измеряемый процесс в дискретные моменты времени и может быть использован для оперативного сглаживания и сжатия информации с запаздыванием по времени, равным  $3h$ . Если измерения  $y(t)$  непрерывны, то в (12) путем предельного перехода при  $t_i - t_{i-1} \rightarrow 0$  суммирование заменяется интегрированием. При этом алгоритм будет осуществлять одновременное сглаживание и дискретизацию по времени измерительной информации с шагом  $h$ . Алгоритм (12) не зависит от степени полинома  $J$  и особенно эффективен для длительных измеряемых процессов, когда  $J$  велико.

Оптимизируют процесс сглаживания и сжатия путем выбора степени сглаживающего полинома по статистическим характеристикам измеряемых процессов и погрешностей измерений [3]. Оптимальная степень полинома  $J_{\text{опт}}$  однозначно определяет оптимальный интервал между дискретными значениями  $S_j$ :

$$h_{\text{опт}} = \frac{1}{J_{\text{опт}}} (t_k - t_0). \quad (13)$$

Дискретные значения измеряемого процесса  $\bar{S}_j$  в моменты  $t_j$  могут передаваться по каналам связи, в результате чего легко восстанавливается измерительная информация в соответствии с (1). Учитывая свойство локальности (5), алгоритм восстановления процесса  $S(t)$  можно записать в виде:

$$\bar{S}(t) = \sum_{i \in \Omega_j} \varphi_j(t) \bar{S}_j, \quad (14)$$

где  $\Omega_j$  – область индексов  $j$ , для которых  $|t_j - t| < \tau$ . В середине интервала  $[t_0, t_k]$   $\tau = 3h$  (рисунок 2 а). Поэтому для восстановления функции  $\bar{S}(t)$  в некоторый момент  $t$  требуется лишь шесть значений  $S_j$  в соседние моменты  $t_j$ . Алгоритм (14) можно использовать в динамическом режиме с запаздыванием по времени до  $3h$ .

Блок-схема обработки измерительной информации в ИИС приведена на рисунке 3, где 1 – устройство сглаживания и сжатия измерений по алгоритму (12); 2 – устройство восстановления измерительной информации по алгоритму (14).

Локально-полиномиальные модели применимы также для решения ряда других задач. Физический смысл коэффициентов полиномов позволяет осуществить диагностику измерений и повысить точность ИИС за счет использования априорной информации об измеряемых процессах. Локальные полиномы можно эффективно использовать для статистического моделирования измерительно-информационных процессов при исследованиях ИИС. Локальные полиномы с переменным интервалом  $h$  позволяют адаптировать интервал дискретизации по времени нестационарных измеряемых процессов.

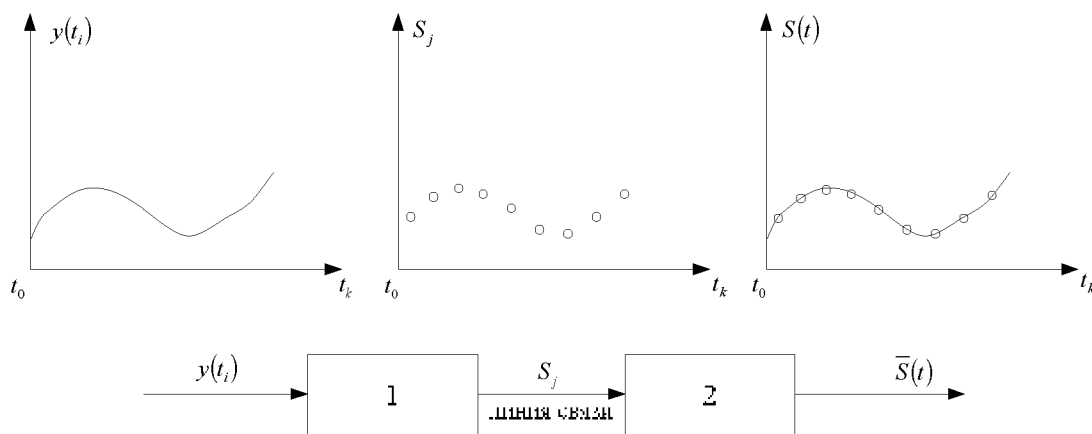


Рисунок 3 – Блок-схема обработки измерительной информации в ИИС

Сравнение реализации истинного случайного процесса с результатами сглаживания, сжатия и последующего восстановления измерительной информации по алгоритмам (12) и (14) свидетельствует о большой точности локально-полиномиальных моделей.

Таким образом, использование локально-полиномиальных моделей измеряемых процессов позволяет повысить точность и оперативность информационно-измерительных систем. Предложенные модели можно использовать для комплексной оптимизации оперативного сглаживания, сжатия (временной дискретизации) и восстановления измерительной информации, а также для контроля и анализа получаемых данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А.В. Современная телеметрия в теории и на практике. – Санкт-Петербург: НИТ-Издательство, 2007. – 667 с.
2. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. – М. «Энергия», 1974. – 320 с.
3. Сухорученков Б.И. Измерительная техника, 1976. – №12.

#### **Федоренко Владимир Васильевич**

Доктор технических наук, профессор Ставропольского военного института связи ракетных войск, г. Ставрополь  
Заслуженный работник высшей школы РФ  
Тел.: 8-962-446-37-73  
E-mail: [fovin\\_25@mail.ru](mailto:fovin_25@mail.ru)

#### **Винограденко Алексей Михайлович**

Адъюнкт кафедры «Технического обеспечения связи и АСУ»  
Ставропольского военного института связи ракетных войск, г. Ставрополь  
Тел.: 8-918-774-51-62,  
E-mail: [Vinogradenkoao@rambler.ru](mailto:Vinogradenkoao@rambler.ru)

УДК 004.02

Л. В. ВОЛОСТНЫХ

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ ОБЪЕКТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ ВСКРЫТИЯ

*В статье рассматривается методика оценки защищенности средств обнаружения нарушителя на объектах телекоммуникационных систем, основанная на использовании метода статистических испытаний и позволяющая оценивать вероятность вскрытия технических систем охраны квалифицированным нарушителем.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность; объект телекоммуникационных систем; метод статистических испытаний; защищенность средств охраны; демаскирующие признаки; вероятность вскрытия технических средств охраны.

*In article is considered methods of the estimation protection facilities of the finding the violator on object of the telecommunication systems. Methods is founded on use the method of steady-state modeling and allows to value probability of the opening the technical facilities guard.*

**Keywords:** information security; telecommunication system object; statistical experiment method; protection facilities security; disclosed attributes; probability of technical facilities protection disclosure.

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач обеспечения эффективного функционирования телекоммуникационных систем (ТКС) в сложных военно-политических условиях является обеспечение информационной безопасности объектов ТКС. Защита от несанкционированного физического проникновения нарушителя на территорию таких объектов является обязательным условием обеспечения информационной безопасности [1]. Результатом такого проникновения может быть установка средств вывода аппаратуры объекта из строя и нарушение функционирования элемента ТКС, хищение носителей информации ограниченного доступа или установка в пределах контролируемой зоны аппаратуры съема информации.

В целях обеспечения информационной безопасности объектов ТКС в настоящее время широко применяются различного рода технические системы охранной сигнализации, позволяющие подразделениям безопасности своевременно реагировать на возможные угрозы. Известно [2], что основную опасность представляют квалифицированные нарушители – агенты спецслужб или члены диверсионных или террористических структур, имеющие хорошую подготовку и осведомленные о характеристиках широко известных технических средств охраны (ТСО), имеющие техническое оснащение, позволяющее вскрывать и преодолевать системы технической защиты объектов.

Квалифицированный нарушитель перед проникновением на объект будет вести разведку с целью вскрытия ТСО и выявления ее уязвимостей.

Из [2, 3] следует, что широкий ряд ТСО обладает вероятностью обнаружения нарушителя близкой, к 0,98. Однако, если нарушителю известен тип применяемого на объекте ТСО и порядок его функционирования, то вероятность своевременного обнаружения нарушителя снижается до значений 0,3-0,6. Следовательно, для оценки уровня обеспечения ИБ объекта ТКС необходимо оценивать защищенность ТСО объекта от вскрытия.

Вскрытие ТСО объекта, в основном, может быть проведено посредством выявления средств обнаружения (СО) и их правильной классификацией.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Научно-практическая задача заключается в разработке методики оценки защищенности средств обнаружения ТСО, применяемых на объектах ТКС. Данная задача решалась в [3]. Однако предложенная методика не позволяет учесть широкий спектр демаскирующих признаков СО ТСО и достаточно сложна для практического применения.

Это вызвало необходимость развития существующих методик и поиск новых математических методов, позволяющих оценивать защищенность элементов ТСО на объектах ТКС. При разработке методики приняты такие условия, что нарушитель обладает высоким уровнем квалификации, имеет необходимую аппаратуру обнаружения, но сообщников из числа персонала объекта у него нет, а на законном основании допуск его на объект невозможен.

Демаскирующими признаками (ДМП) средств обнаружения являются форма, размеры СО, наличие излучений и их частоты, наличие линз и т.п., способ монтажа [2]. Эти признаки могут быть выявлены с помощью визуальных, фото-, инфракрасных, радиотехнических, радиолокационных средств обнаружения [4]. Тогда на основе обнаруженных признаков нарушитель классифицирует систему сигнализации и определяет ее уязвимые места. Следовательно, вероятность вскрытия СО  $P_{\text{вскр\_со}}$  можно описать выражением (1).

$$P_{\text{вскр\_со}} = \Phi(P_{\text{обн\_1}} \dots P_{\text{обн\_j}} \dots P_{\text{обн\_n}}, P_{\text{расн}}), \quad (1)$$

где  $P_{\text{обн\_j}}$  – вероятность обнаружения ряда демаскирующих признаков СО,

$j$  – демаскирующий признак СО,  $j \in (1..n)$ ,  $P_{\text{расн}}$  – вероятность классификации средства обнаружения по его демаскирующим признакам.

### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВСКРЫТИЯ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ

Для расчета  $P_{\text{вскр\_со}}$  по широкому ряду ДМП, каждый из которых имеет свою вероятность обнаружения, предлагается использовать методику, основанную на применении метода статистических испытаний (метода Монте-Карло). Этот метод позволяет при создании моделей процессов учитывать множество факторов и позволяет проводить расчеты с достаточно высокой точностью [5].

Блок схема алгоритма расчета  $P_{\text{вскр\_со}}$ , разработанная автором на основе этого

метода представлена на рисунке 1.

Рассмотрим порядок вычисления  $P_{вскр\_со}$ .

При вводе исходных данных (блок 1) вводятся:

- параметры СО, которые могут быть обнаружены и зафиксированы нарушителем;
- форма СО, размеры СО, цвет, наличие линз, наличие излучения и диапазон излучаемых частот и т.п.;
- данные об условиях функционирования ТСО – фон окружающей местности, уровень освещенности объекта, погодные условия, уровень радиопомех и т.п.;
- данные об аппаратуре разведки – параметры средств визуальной, фото-, инфракрасной, радиотехнической, радиолокационной и других разведок.

Затем (блок 2) для каждого (j-го) ДМП, каждого (i-го) СО по известным [4] методикам проводится расчет вероятности обнаружения  $P_{обн\_ij}$ . При потенциальной возможности обнаружения j-го признака несколькими средствами расчет проводится для каждого средства вскрытия и составляется матрица  $P_{вскр\_со}$  (m x n).

На основе случайного «розыгрыша», с помощью датчика случайных чисел с равномерным законом распределения (0...1), получаем результат вскрытия ТСО объекта, заключающийся в том, что данный признак ТСО обнаружен или не обнаружен. Розыгрыш событий осуществляется для всего перечня признаков, всех СО и всех видов обнаружения (блоки 3 – 8).

На основе сформированного списка обнаруженных в данной реализации статистической модели ДМП для каждого СО проводится выявление СО, имеющих идентичные признаки (блоки 9 -12) и проводится расчет  $P_{вскр}$  i-го средства для данной реализации (блок 13) в соответствии с выражением (2).

$$P_{вскр\_i} = 1/ X, \quad (2)$$

где X – количество СО, обладающих признаками i-го СО с параметрами, полученными в данной реализации.

Суммарное значение вероятности вскрытия i-го СО за все реализации осуществляется блоком 14.

После завершения заданного количества реализаций (K) статистической модели, проводится расчет  $P_{вскр}$  i-го СО на основе выражения 3 (блок 15).

$$P_{вскр\_i} = Si / K, \quad (3)$$

где  $P_{вскр\_ik}$  - вероятность вскрытия i-го СО в k-той реализации.

Количество реализаций зависит от заданной точности и в соответствии с [5] для практических расчетов достаточно 3000 реализаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика хорошо реализуется с помощью пакета прикладных программ Mathematica. Испытания методики по «контрольным точкам» показали непротиворечивые результаты.

Применение методики, основанной на использовании метода статистических испытаний, позволило оценивать защищенность СО от вскрытия и получать оценки с учетом широкого спектра как параметров СО, так и способов ведения вскрытия ТСО

объекта ТКС.

Данная методика может быть использована в других областях для оценки защищенности других сложных объектов от вскрытия.

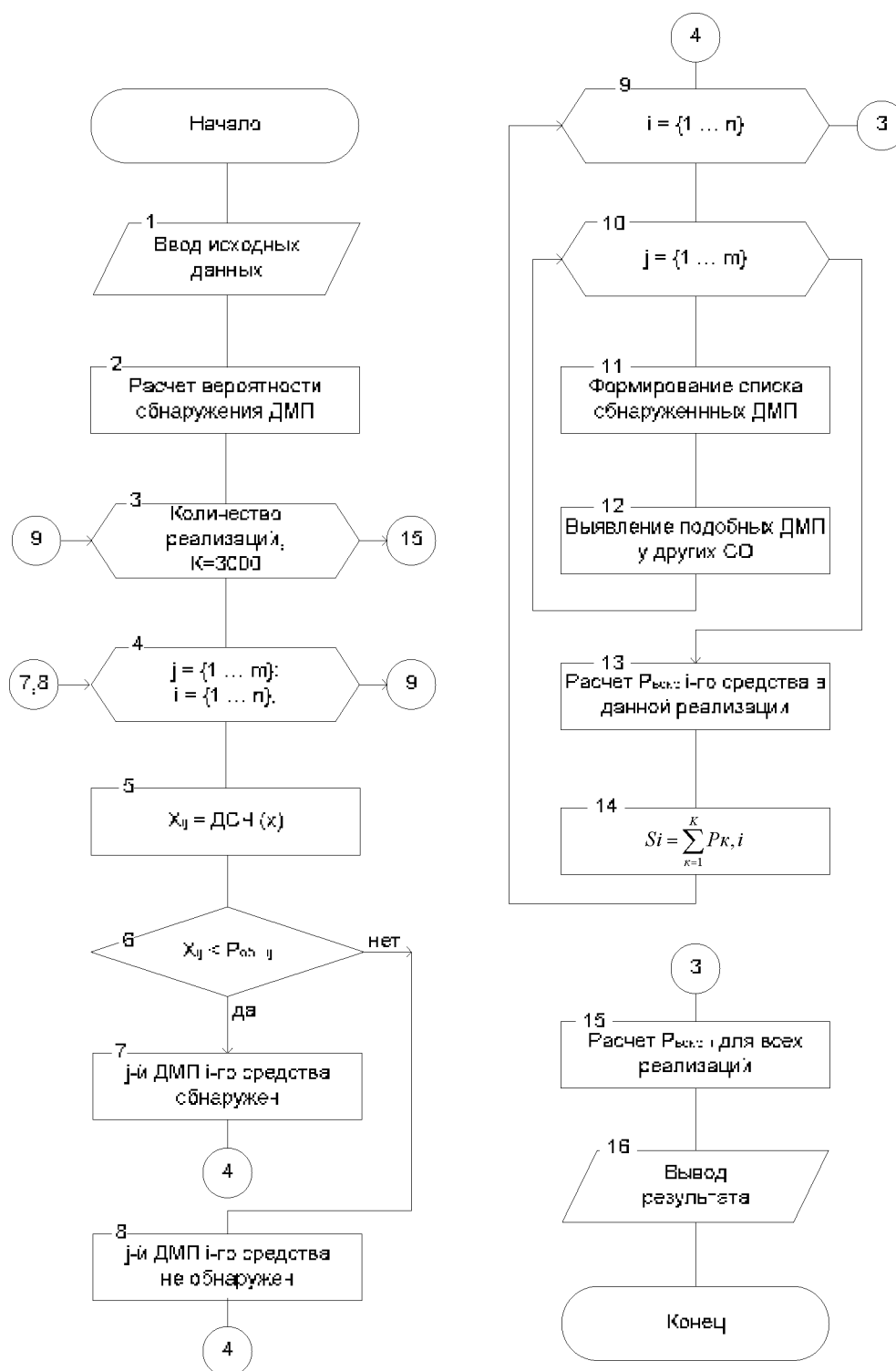


Рисунок 1 – Укрупненная блок-схема алгоритма расчета  $P_{вскр}CO$

ЛИТЕРАТУРА

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. – «Российская газета», № 187(2551). – М.: 28.09.2000.
2. Никифоров О.Г., Волостных Л.В., Стародубцев Ю.И. О подходе к определению защищенности систем физической защиты предприятий связи от технических средств добывания информации в условиях криминальных и террористических угроз // Сборник научных трудов II Международного научного конгресса «Нейробиотелеком-2006», 5-8 декабря 2006 г. – СПб.: Изд-во Политехника, 2006. – с. 339-341.
3. Сущенко М.М., Сабынин В. Н. Методика комплексной оценки безопасности информации, обрабатываемой на объектах ТСОИ. – СПб.: «Проблемы информационной безопасности», № 4 1999 г.
4. Торокин А.А. Инженерно-техническая защита информации: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям в обл. информ. Безопасности / А.А. Торокин. – М.: Гелиос АРВ, 2005. – 960 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. М., «Советское радио», 1972, 552с.

**Волостных Людмила Викторовна**

ООО «ТИМ Проект», г. Санкт-Петербург

Заместитель начальника проектного отдела, ведущий инженер-проектировщик  
195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д.11

Тел. раб.: 8 (812) 294-86-86

Тел. дом.: 8 (812) 707-81-83