

УДК 621.315.592

А.П. Оксанич, И.В. Шевченко, С.А. Волохов

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНФИГУРАЦИИ ТЕПЛООВОГО ЭКРАНА  
РОСТОВОЙ УСТАНОВКИ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА  
НЕРАВНОМЕРНОСТИ ОСЕВЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАДИЕНТОВ**

*Аннотация. Разработана математическая модель задачи оптимизации геометрических параметров теплового экрана и метод её решения, включающий численно-аналитическую эволюционную процедуру оптимизационных расчетов. Это позволяет обеспечить необходимый температурный режим в зоне выращивания и остывания слитка. Показано, что полученная конфигурация теплового экрана позволяет снизить неравномерность осевых температурных градиентов и обеспечить оптимальное распределение температуры по оси выращиваемого слитка.*

**Введение**

Решение проблемы повышения качества монокристаллов кремния считается одной из первоочередных задач развития технологии полупроводниковой электроники. За счет повышения структурного совершенства монокристаллов кремния могут быть удовлетворены потребности современного полупроводникового приборостроения: увеличение степени интеграции, уменьшение допусков на параметры микросхем, повышение выхода годных полупроводниковых приборов [1].

Анализируя механизмы формирования структурного совершенства в выращиваемых методом Чохральского монокристаллах кремния можно сделать вывод, что они обусловлены, главным образом, следующими факторами: несовершенством конструкции теплового узла промышленного ростового оборудования; нестабильностью скорости кристаллизации из-за колебаний температуры в расплаве; интенсивностью конвективных потоков в расплаве. Формирование структурных неоднородностей в растущем монокристалле кремния во многом обусловлено тепловыми условиями. Поэтому проблема формирования тепловых условий в зоне роста на протяжении времени существования технологии выращивания монокристаллов была и остается весьма актуальной.

---

© Оксанич А.П., Шевченко И.В., Волохов С.А., 2010

Конструктивные и технологические приемы улучшения тепловых условий выращивания направлены на снижение температурных градиентов в растущем кристалле, так как известно, что именно неравномерность температурных градиентов является основным препятствием для получения однородных монокристаллов все большего диаметра с совершенной структурой и заданными электрофизическими свойствами [1]. Снизить неравномерность температурных градиентов можно путем использования специальных тепловых экранов и многозонных нагревателей.

**Цель работы** – синтез математической модели задачи параметрической оптимизации геометрических параметров теплового экрана и метода её решения, включая численно-аналитическую процедуру оптимизационных расчетов.

#### **Постановка задачи исследования**

Тепловые узлы существующих в настоящее время ростовых установок по методу Чохральского включают экраны, которые должны обеспечить оптимальный тепловой режим для растущего слитка в зоне, примыкающей к фронту кристаллизации. Однако, несмотря на большое количество исследований, в настоящее время не найдено оптимальной конфигурации экрана. Это связано с тем, что разработчики не имеют специализированного инструментального средства оптимизации конфигурации теплового экрана и вынуждены искать оптимальное решение задачи методом пробного численного моделирования, изменяя от сессии к сессии геометрические параметры экрана и сетку конечных элементов. При этом для расчетов обычно используются «тяжелые» программные средства, такие как NASTRAN, ANSYS, FEMLAB.

После многократных запусков численной модели на основании полученных данных в принципе можно решать задачу оптимизации граничных условий, а вместе с тем – и задачу оптимизации конфигурации экрана. Однако данный метод моделирования не гарантирует оптимальности конструктивного решения в силу отсутствия в контуре оптимизации явно выраженного критерия оптимальности и алгоритма, позволяющего в автоматическом режиме искать оптимальное решение.

Кроме того численный расчет тепловых параметров, основанный на методе конечных элементов требует мощных вычислительных

ресурсов, которые не всегда доступны.

В работе [2] разработано численно-аналитическое решение задачи теплообмена с поверхности слитка, позволяющее связать тепловые потоки излучения в рабочей зоне ростовой установки и распределение температурных градиентов в слитке выращиваемого монокристалла. Численно-аналитическая тепловая модель содержит уточненное аналитическое решение уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах. Вычисление распределения температур в слитке проводится методом итерационного сопряжения решения этого уравнения и системы уравнений тепловых потоков излучения и конвекции.

В работе [3] разработана математическая модель конфигурации теплового узла, которая связывает величины  $L$  (высота экрана),  $R_c$  (радиус слитка),  $R_s$  (радиус экрана),  $H_s$  (высота над уровнем расплава),  $R_t$  (радиус тигля) с угловыми коэффициентами, определяющими потоки излучения и отражения экрана и других рабочих поверхностей теплового узла.

Результаты работ [2, 3] позволяют поставить следующую задачу: разработать математическую модель и метод оптимизации геометрических параметров теплового экрана, включающий численно-аналитическую процедуру оптимизационных расчетов.

#### **Математическая модель задачи оптимизации конфигурации теплового экрана**

Расчетная схема модели теплового узла представлена на рис. 1.

Оптимизация параметров конфигурации теплового экрана проводится по критерию минимизации неравномерности осевого градиента температуры в слитке.

При математической постановке данной задачи необходимо учесть важный фактор, связанный в физическими условиями роста монокристалла, а именно – рост монокристалла возможен только при наличии некоторого минимального градиента температуры на фронте кристаллизации. В работе [4] определена аналитическая связь между скоростью  $v_s$  роста кристалла и тепловыми условиями:

$$v_s L \rho_s = \lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial z} - \alpha (T_L - T_{пл}), \quad (1)$$

где  $T_{пл}$  - температура плавления (кристаллизации);  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи на фазовой границе,  $\lambda_s$  – коэффициент

теплопроводности в твердом состоянии,  $\rho_s$  – плотность монокристалла,  $L$  – скрытая теплота кристаллизации.

Отсюда

$$\frac{\partial T_s}{\partial z} = \frac{v_s L \rho_s + \alpha (T_L - T_{пл})}{\lambda_s}. \quad (2)$$

В свою очередь, величина скорости выращивания непосредственно влияет на объем выращиваемого кристалла:

$$V_s = v_s \pi R_k^2 t, \quad (3)$$

где  $t$  – время протекания процесса выращивания.

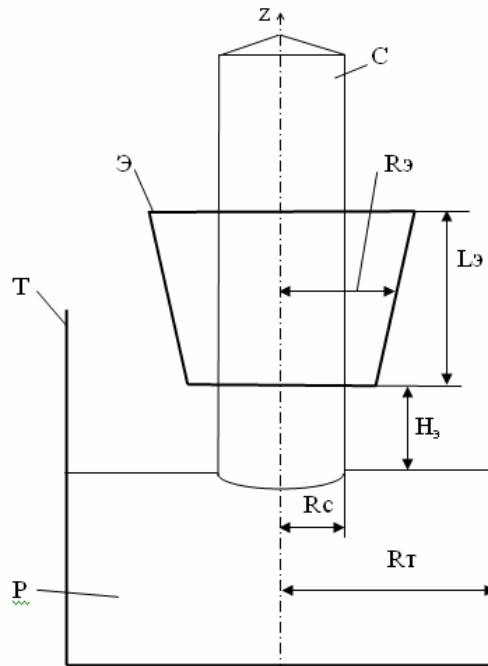


Рисунок 1 - Расчетная схема модели теплового узла:

С - слиток; Э – экран; Т – тигель; Р – расплав;  $R_T$  – радиус тигля;  $R_c$  – радиус слитка;  $R_э$  – переменный радиус экрана;  $L$  – длина экрана;  $H_э$  – высота экрана над расплавом

Таким образом, заранее определив параметры процесса выращивания и параметры материала, можно получить константу, устанавливающую заданное усредненное значение осевого градиента температуры в области фронта кристаллизации:

$$\frac{\partial \bar{T}_s}{\partial z} = G_0. \quad (4)$$

Меньшие значения градиента приведут к резкому замедлению роста монокристалла, а большие значения могут вызвать

нежелательные изменения структуры.

Поскольку температурные напряжения в основном являются следствием неравномерного изменения градиента температуры  $GZ$  вдоль оси  $z$  слитка, критерием оптимизации должен служить минимум величины квадрата отклонения значений усредненного по радиусу слитка градиента  $GZ$  от константы  $G_0$ , то есть

$$F(R_s, L_s, H_s) = \sum_{i=1}^{N_L} (GZ_i - G_0)^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $N_L$  – количество дискретных цилиндрических областей слитка вдоль оси  $z$ .

Ограничениями задачи служат граничные условия по температуре, задаваемые на фронте кристаллизации, на рабочих поверхностях тигля, на поверхности расплава и закон распределения температуры по поверхности экрана вдоль оси  $z$  с учетом изменения радиуса экрана:

$$T_{фк} = T_{фк0}, \quad (6)$$

$$T_p = T_{p0}, \quad (7)$$

$$T_t = T_{t0}, \quad (8)$$

$$T_s = T_s(z, r_s). \quad (9)$$

Тогда задачу оптимизации размеров и положения экрана можно поставить следующим образом: найти оптимальные геометрические параметры экрана  $L_s$ ,  $R_s$ ,  $H_s$  при заданных значениях  $R_t$ ,  $R_s$ , граничных условиях (6) - (9) и минимизации критерия (5).

#### Метод решения задачи оптимизации

С учетом математических моделей схему процесса оптимизации размеров и положения цилиндрического экрана, окружающего выращиваемый слиток, можно представить следующим образом (рис. 2):

1. Задаются исходные значения геометрических параметров теплового узла (радиус слитка  $R_s$ , закон изменения радиуса экрана  $R_s = k \cdot z + c$ , высота экрана  $L_s$ , высота расположения экрана над расплавом  $H_s$ , радиус тигля  $R_t$ , и др.) и допустимые диапазоны изменения геометрических параметров экрана  $R_{s\min}$ ,  $R_{s\max}$ ,  $L_s$  и  $H_s$ . Задаётся также текущая высота слитка  $Z_t$ .

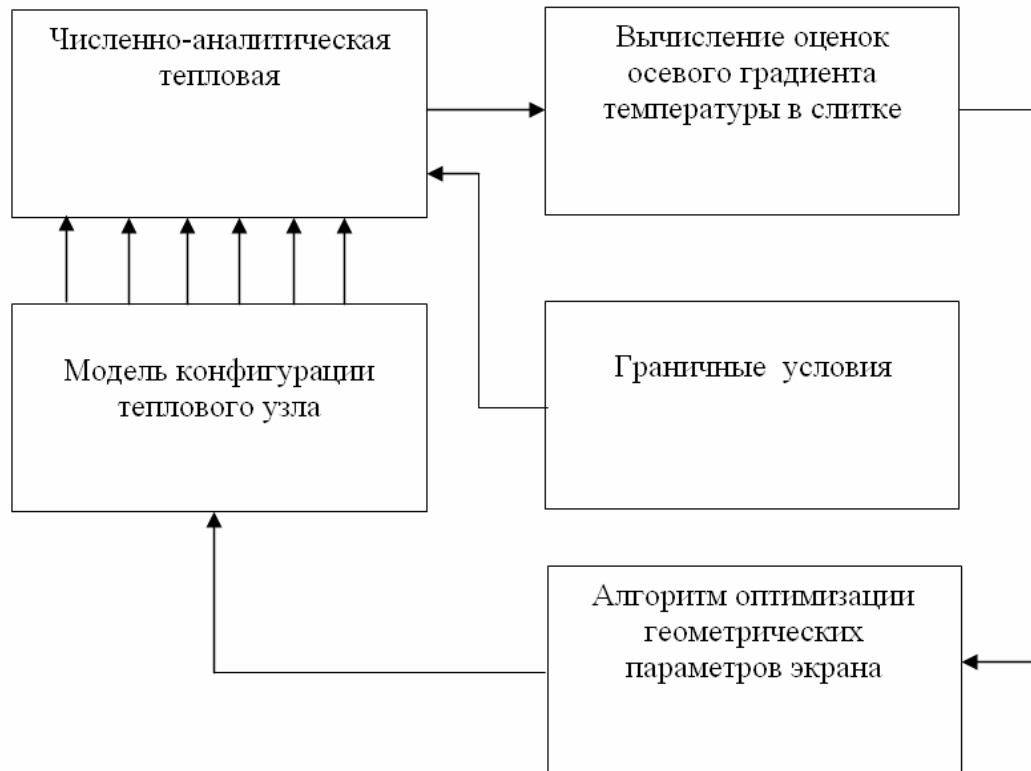


Рисунок 2 - Схема процесса оптимизации геометрических параметров теплового узла

2. Для численно-аналитической модели задаются граничные условия (распределение температуры на фронте кристаллизации, распределение температуры по поверхности экрана, распределение температуры по поверхности расплава, температура окружающей среды и температура стенки тигля).

3. При помощи переборного эволюционного алгоритма оптимизации генерируется популяция допустимых решений в виде четверок  $(k_{\text{э}}, c_{\text{э}}, L_{\text{э}j}, H_{\text{э}j})$ ,  $j=1...N$ , где  $N$  – число членов популяции.

4. Каждая четверка  $(k_{\text{э}}, c_{\text{э}}, L_{\text{э}j}, H_{\text{э}j})$  используется в модели конфигурации теплового узла и, соответственно, в численно-аналитической модели для вычисления градиентов температуры по оси слитка.

5. Для каждой четверки  $(k_{\text{э}}, c_{\text{э}}, L_{\text{э}j}, H_{\text{э}j})$  вычисляется значение критерия (5).

6. При помощи эволюционных процедур, описанных ниже, с повторением пунктов 3-5, отбирается наилучшее решение по критерию (5).

#### **Процедура оптимизации с применением эволюционного алгоритма**

Любое отдельное решение задачи, как правило, можно описать

единым набором переменных:

$$X = (x_1, \dots, x_n). \quad (10)$$

Такой набор является точкой в пространстве допустимых решений.

Любое допустимое решение должно удовлетворять заданным ограничениям:

$$a_i \leq x_i \leq b_i, i = 1, \dots, n, \quad (11)$$

Математическая модель задачи оптимизации ставит в соответствие каждому набору  $X$  некоторый критерий качества (функцию цели)  $F(X)$ .

Тогда решение задачи оптимизации состоит в поиске такого набора  $X$ , который удовлетворяет неравенствам (11) и обеспечивает глобальный экстремум критерия оптимизации (5).

Основная продуктивная идея эволюционных алгоритмов случайного поиска оптимальных решений состоит в том, что поиск ведется по всей области допустимых значений и в процессе его выполнения изменяются условия генерации вектора рабочих параметров. Обычно на начальных этапах распределение точек является равномерным, а потом количество точек увеличивается в тех областях, где предположительно находятся локальные экстремумы целевой функции. Таким образом, эволюционные алгоритмы используют информацию о рельефе поверхности функции цели.

В данной работе реализовано уточнение значений локальных экстремумов с помощью алгоритма случайного поиска в узкой области, которая предположительно содержит локальный экстремум. Вероятность быстрого схождения алгоритма при этом значительно возрастает и, тем самым, ускоряется весь процесс поиска оптимального решения.

С учетом изложенного выше сформулируем основные правила, которые должен использовать алгоритм поиска оптимального решения:

1. Обеспечение равномерного поиска во всей области определения функции цели.

2. Обеспечение сужения границ случайного поиска в отдельных областях, которые предположительно содержат локальные экстремумы, то есть уточнение значений локальных оставшейся

части популяции также выбираются  $\eta$  особей.

5. Для выбранных  $2\eta$  точек запускается цикл уточнения значений локальных экстремумов, то есть:

5.1. Определяются экстремумы за счет сужения границ случайного поиска.

3. Узкие границы локального поиска адаптивно смещаются по мере уточнения значения локального экстремума.

4. Выбор для локального анализа не только элитарных точек, но и нескольких случайных точек.

Ниже приведены этапы разработанного алгоритма:

1. Генерация исходной популяции. Синтезируется  $N$  точек  $\bar{X}_j$  ( $j = 1, \dots, N$ ), в которых определяется значение целевой функции.

2. Сортировка наборов  $\bar{X}_j$  (особей) по возрастанию значений (поскольку в решаемой задаче ищется минимум целевой функции).

3. Из всех  $N$  точек отбирается  $\eta$  точек – претендентов на лидерство.

4. Вычисляются границы поиска уточненного значения экстремума:

$$a' = x_i^* - A(b-a)/2, b' = x_i^* + A(b-a)/2,$$

где  $a', b'$  – суженные границы поиска;  $a, b$  – начальные границы поиска;  $x_i^*$  – координата найденного решения;  $A$  – размер границы для уточненного поиска экстремума.

5. Генерируется  $M$  точек в границах  $a', b'$ .

6. Для каждой точки  $X_k$ ,  $k \in M$  вычисляется значение целевой функции. Если новое значение меньше предшествующего, соответственно изменяются значения  $x_i^*$ .

Как результат в массиве популяции для выбранных точек фиксируются новые значения координат и локальных экстремумов.

7. Массив популяции сортируется по возрастанию значения целевой функции.

8. Если количество заданных итераций не исчерпано, то для всех особей, кроме  $\eta$  лучших, генерируются новые случайные значения координат и происходит переход к п.2. Иначе переход к п.9.

9. Первый элемент в списке особей является найденным оптимальным решением. Конец.

Алгоритм имеет следующие параметры настройки:

- 1)  $N$  – количество членов популяции;
- 2)  $\eta$  – количество претендентов в элиту и количество особей, которые случайно добавляются к элите.
- 3)  $A$  – коэффициент уменьшения границ для уточненного поиска экстремума.
- 4)  $M$  – количество пробных точек в узких границах уточненного поиска.

#### **Определение оптимальной конфигурации теплового экрана**

Для решения описанной выше задачи оптимизации было разработано специальное программное обеспечение, которое обеспечивает ввод исходных данных через пользовательский интерфейс, решение уравнений численно-аналитической модели, выбор оптимальных размеров и положения экрана и вывод результатов решения в табличном виде. Табличные данные экспортируются в электронную таблицу Microsoft Excel для изображения графиков, а также могут обрабатываться в пакете MathCad.

Для проверки результатов моделирования и оптимизации была использована компьютерная программа для расчета теплового поля методом конечных элементов. Один из вариантов сетки конечных элементов приведен на рис.3. Свойства материалов, которые были определены для проведения расчета, приведены в таблице. В списке свойств материалов, которые использовались для проведения расчета, приведены коэффициенты теплопроводности, плотности материалов и коэффициенты черноты поверхности.

С использованием описанной выше методики были проведены циклы оптимизации следующего содержания.

1. Высота слитка  $L_{сл}$  изменялась с шагом 1 см в интервале 6...46 см.
2. Для каждого значения  $L_{сл}$  по алгоритму п.п. 3.1.3 подбирались оптимальные значения параметров экрана  $k_э$ ,  $c_э$ ,  $L_{эж}$ ,  $H_{эж}$ .
3. После осуществления расчетов по оптимизации положения экрана по критерию (5), было выяснено, что для слитков диаметром 60 мм наиболее приемлемыми являются такие значения рабочих параметров:  $k_э=0,43$ ,  $c_э=20...30$ ,  $L_э \approx 300$  мм,  $H_э \approx 14$  мм.

4. Для оценки влияния изменений в конфигурации теплового экрана установки «Редмет 60А» по сравнению с существующей установкой «Редмет 60» на температурные профили и осевые градиенты полученные при расчетах данные были сведены в таблицы, по которым построены графики, показанные на рис. 4 - 6. Преимущества теплового узла установки «Редмет 60А» проявляются прежде всего в большей равномерности распределения температуры вдоль оси слитка. На рисунке 4 показаны температурные профили вдоль оси  $z$  слитка, рассчитанные для конфигурации теплового экрана ростовой установки «Редмет-60» (кривая 1) и конфигурации теплового экрана установки «Редмет-60А» с оптимальным расположением и размерами экрана.

#### Свойства материалов

| Материал           | Класс    | Свойства                                                                                                                                  |
|--------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Аргон              | газ      | коэффициент теплопроводности: 0,045 Вт/(м·К)                                                                                              |
| Графит для экранов | твердый  | коэффициент теплопроводности: 0,33 Вт/(м·К)<br>коэффициент черноты поверхности: 0,8                                                       |
| Графит             | твердый  | коэффициент теплопроводности: 29,8 Вт/(м·К)<br>коэффициент черноты поверхности: 0,8                                                       |
| Молибден           | твердый  | коэффициент теплопроводности: 10 Вт/(м·К)<br>коэффициент черноты поверхности: 0,18                                                        |
| Кварц              | твердый  | коэффициент теплопроводности: 4 Вт/(м·К)<br>коэффициент черноты поверхности: 0,85                                                         |
| Сталь              | твердый  | коэффициент теплопроводности: 15 Вт/(м·К)<br>коэффициент черноты поверхности: 0,85                                                        |
| Si расплав         | расплав  | коэффициент теплопроводности: 110 Вт/(м·К)<br>коэффициент черноты поверхности: 0,3<br>плотность: 2570 кг/м <sup>3</sup><br>$T_L = 1686$ K |
| Si кристалл        | кристалл | коэффициент теплопроводности: 23 Вт/(м·К)<br>коэффициент черноты поверхности: 0,7<br>плотность: 2530 кг/м <sup>3</sup>                    |

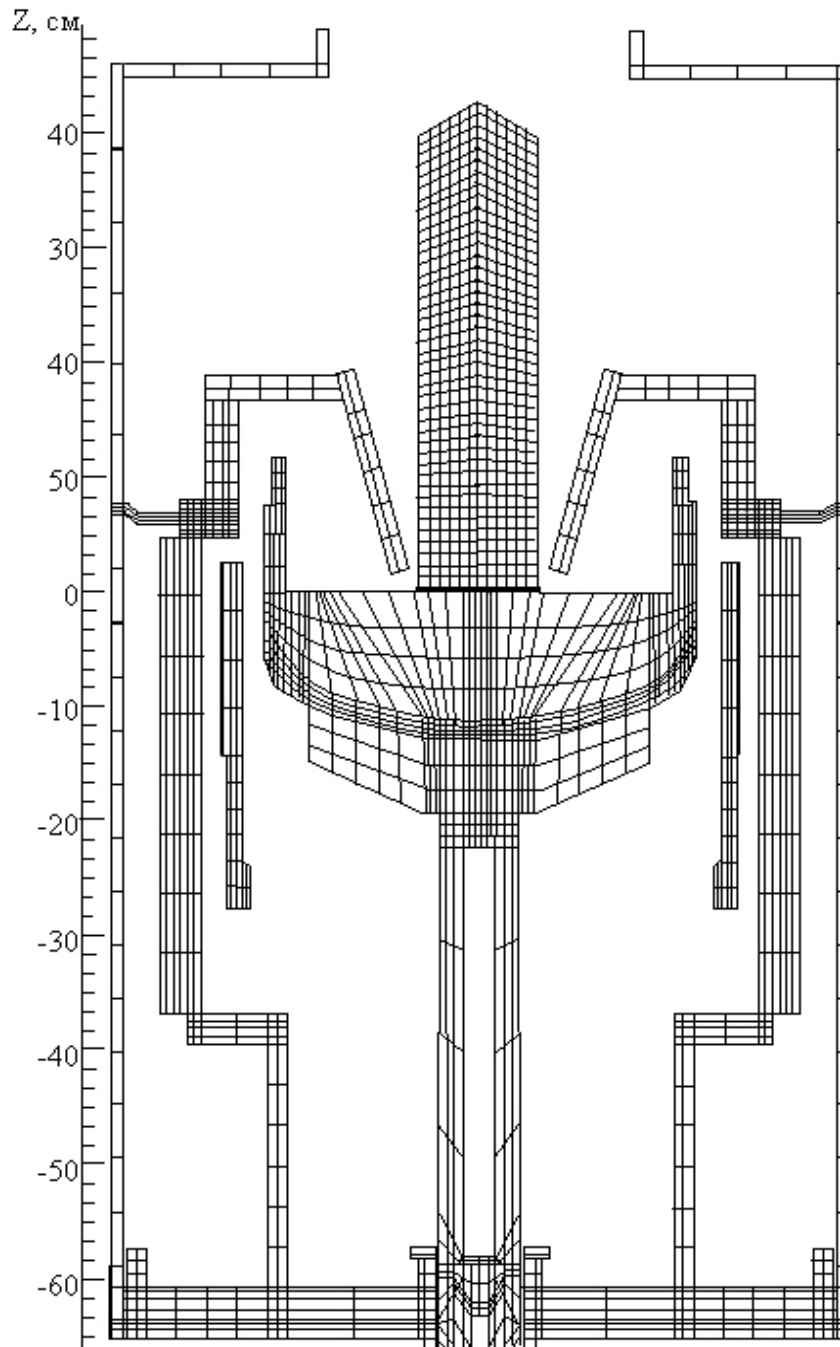


Рисунок 3 - Сетка конечных элементов

На рис. 5 показаны градиенты температуры вдоль оси  $z$  слитка для конфигурации теплового экрана ростовой установки «Редмет 60» (кривая 1) и для конфигурации теплового экрана установки «Редмет 60А» (кривая 2).

Видно, что тепловой узел установки «Редмет-60А» обеспечивает максимальную линейность распределения температуры, то есть оптимизация по критерию (5) прошла успешно.

Далее была исследована зависимость усреднённого температурного градиента  $GZ$  от радиуса экрана при различной длине

слитка. Результаты исследования приведены на рис. 6.

Видно, что существует совершенно четкая зона оптимального значения параметра конфигурации конусообразного экрана (примерно 0,43...0,47 для слитка диаметром 60 мм).

На рис. 7 показано распределение температуры по сечению слитка при выбранном положении и размерах экрана.

Расчет проводился методом конечных элементов при помощи программы, упомянутой выше. Дальнейшие численные эксперименты показали, что подобное распределение температуры (с учетом естественных флуктуаций, которые в тепловой модели воспроизвести трудно) дает вполне приемлемые результаты по уровню неравномерности градиентов температуры в слитке.

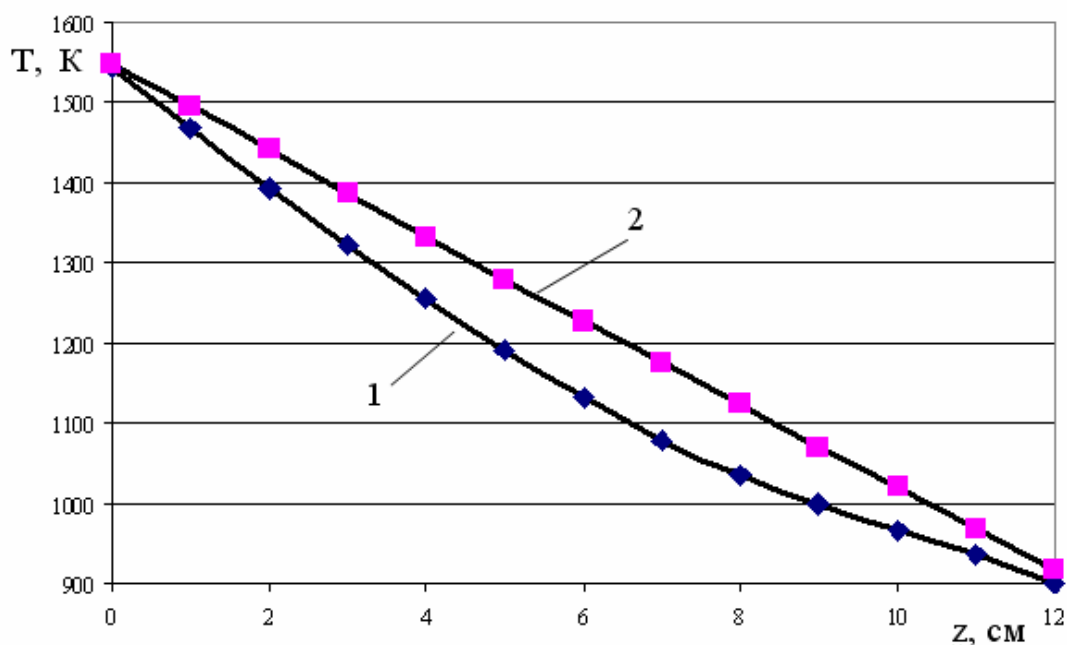


Рисунок 4 - Результаты расчетов температурного профиля по оси z слитка: 1 – установка «Редмет-60». 2 – установка «Редмет-60А» с модернизированным тепловым узлом

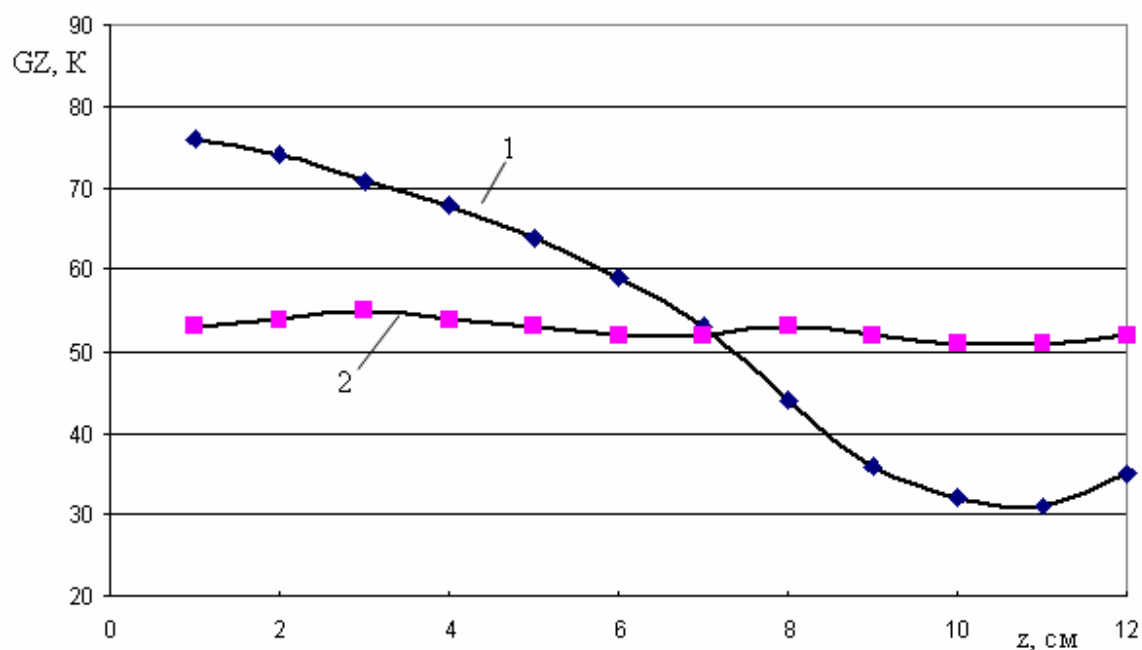


Рисунок 5 - Результаты расчетов градиента температуры вдоль оси  $z$  слитка: 1 – установка «Редмет-60»; 2 – установка «Редмет-60А» с модернизированным тепловым узлом

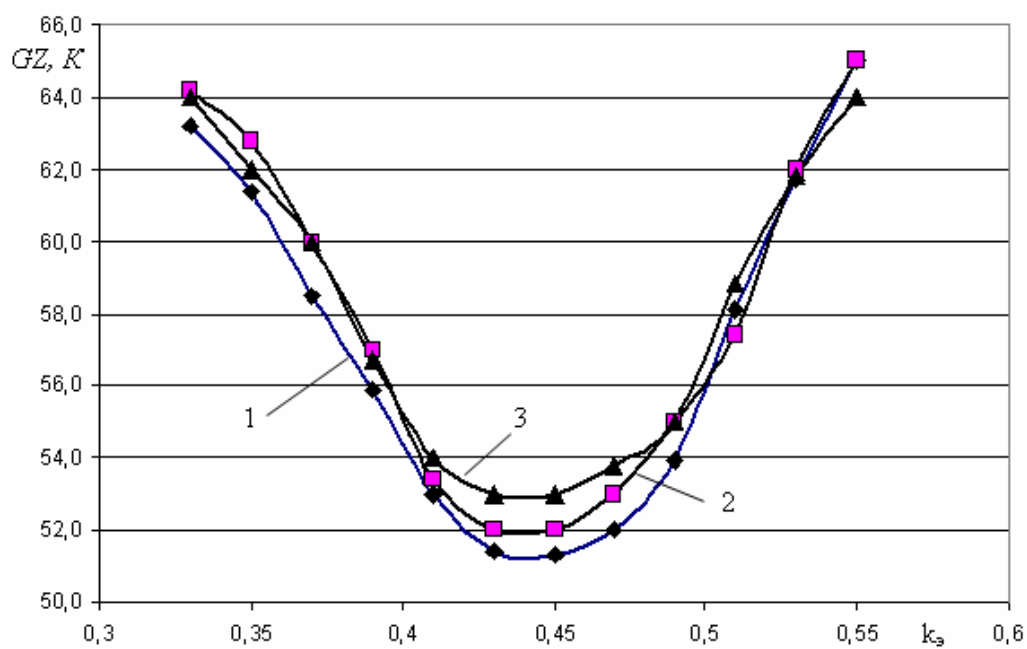


Рисунок 6 - Зависимость усредненного температурного градиента  $Gz$  от параметра конфигурации экрана  $k_э$  при различном значении величины  $c_э$ : 1 –  $c_э = 20$  мм; 2 –  $c_э = 30$  мм; 3 –  $c_э = 40$  мм

### Выводы

Разработана математическая модель задачи оптимизации геометрических параметров теплового экрана и метод её решения, включающий численно-аналитическую эволюционную процедуру оптимизационных расчетов, что позволяет обеспечить необходимый температурный режим в зоне выращивания и остывания слитка.

Проведены расчеты по оптимизации положения теплового экрана и выбрана его конфигурация и высота расположения над уровнем расплава для конкретной ростовой установки.

Показано, что полученная конфигурация теплового экрана позволяет снизить неравномерность осевых температурных градиентов и обеспечить оптимальное распределение температуры по оси выращиваемого слитка.

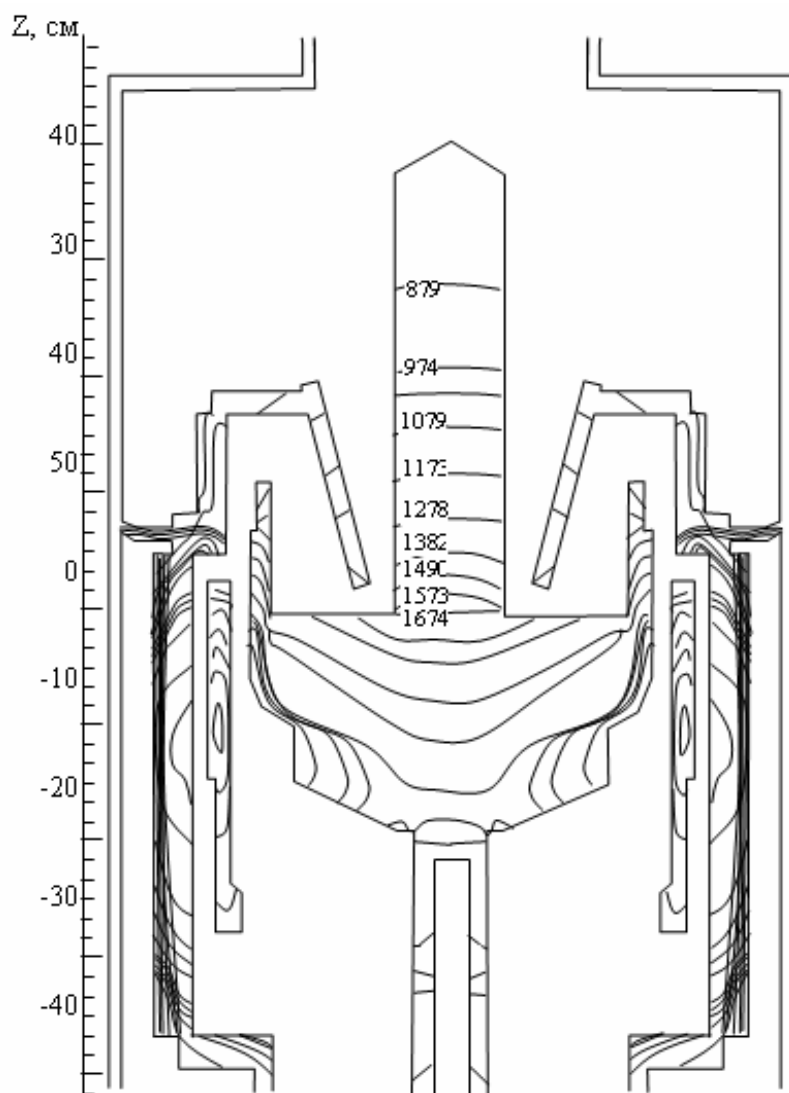


Рисунок 7 - Распределение температуры по сечению слитка

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пузанов Н. И. Влияние условий выращивания на формирование микродефектов в бездислокационном кремнии / Н.И. Пузанов, А.М. Эйдензон, В.И. Роговой // Кристаллография. -1989. -Т. 34, №2. -С. 461-470.
2. Оксанич А.П. Чисельно-аналітичне рішення задачі теплообміну з поверхні злитка в процесі вирощування монокристалів GaAs методом Чохральського з рідинною герметизацією / А.П. Оксанич, П.О. Хозя, І.В. Шевченко // Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. - 2008. - №4(22). - С. 10-17.
3. Оксанич А.П. Математическая модель геометрии теплового узла установки для выращивания монокристаллов GaAs методом Чохральского / А.П. Оксанич, П.А. Хозя, И.В. Шевченко, В.А. Тербан // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков, 2008. – Т. 7, №4. – С. 351-355.
4. Тилман Б.Л. Анализ условий выращивания монокристаллов методом Чохральского / Б.Л. Тилман, С.Ф. Бурачас // Физика и химия кристаллов. - 1977. - № 3. – С. 1-5.

Получено 12.01.2010г.

УДК 669.017

В.М. Козлов, В.П. Хлынцев

**ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ  
ОСАДКОВ ЖЕЛЕЗА НА ИХ ТЕКСТУРУ**

*Аннотация. Встановлено, що віссю текстури тонких електролітичних покриттів заліза товщиною 0,2 і 0,5 мкм є направлення  $\langle 110 \rangle$  незалежно від значення катодної густини струму, при якій проходив процес електролізу. Це є підтвердженням наших раніше отриманих теоретичних результатів, згідно яким віссю початкової (первинної) текстури електроосаджених металів ОЦК має бути вісь  $\langle 110 \rangle$ . Показано, що при збільшенні товщини покриттів заліза первинна текстура трансформується в текстуру зростання з відповідною зміною вісі текстури з  $\langle 110 \rangle$  на  $\langle 211 \rangle$ .*

*Ключові слова: електроосадження, покриття, початкова текстура, текстура зростання, вісь текстури, індиферентна підложка, перенапряга.*

**Введение.** Согласно литературным данным металлические гальванопокрытия с поликристаллической структурой характеризуются аксиальной текстурой, то есть преимущественной ориентацией зерен вдоль кристаллографического направления, перпендикулярного к поверхности катода. Ось текстуры  $\langle hkl \rangle$  и степень текстурированности электролитических покрытий зависят от нескольких факторов: природы осажденного металла, состояния поверхности подложки, состава электролита и условий электролиза.

Кроме этих факторов, ось текстуры электроосажденных металлов также может зависеть от толщины покрытий. Это связано с возможностью образования двух типов текстур в гальванопокрытиях, на что было обращено внимание в ранних исследованиях Г.Финча, К первому типу относится начальная (первичная) текстура, возникающая в очень тонких электроосажденных слоях толщиной менее одного микрона. Ко второму типу относится текстура роста (вторичная текстура), которая образуется в электроосажденных слоях, отстоящих от подложки на расстоянии более одного микрона. Поэтому в общем случае ось первичной текстуры электролитических покрытий может не совпадать с осью вторичной текстуры.

---

© Козлов В.М., Хлынцев В.П., 2010

Естественно предположить, что механизмы образования начальной текстуры и текстуры роста электролитических осадков различны. В нашей предыдущей работе [1] был проведен теоретический анализ образования начальной текстуры электролитических ОЦК металлов, осаждаемых на индифферентную (инертную) подложку. При этом мы исходили из модели возникновения текстуры электролитических покрытий, предложенной Н. Пангаровым [2]. Согласно этой модели преимущественная ориентация кристаллитов электролитических осадков на начальной стадии гетерогенной электрокристаллизации определяется минимальной работой образования зародышей  $A_{hkl}$ , имеющих определенную ось ориентации  $\langle hkl \rangle$ , перпендикулярную поверхности подложки.

Величины  $A_{hkl}$  нами рассчитывались на основе атомистической теории зародышеобразования [3,4]. Было установлено, что для каждого значения перенапряжения на катоде  $\Delta\phi$  выполняется неравенство:  $A_{110} < A_{100} < A_{111}$ . Учитывая, что вероятность возникновения критических зародышей пропорциональна  $\exp(-A_{hkl}/kT)$ , был сделан вывод о том, что независимо от величины  $\Delta\phi$  осью начальной текстуры ОЦК металлов, осаждаемых на индифферентную подложку должно быть направление  $\langle 110 \rangle$ , перпендикулярное поверхности подложки.

Постановка задачи исследования. Целью данной работы было экспериментальное подтверждение вышеуказанного теоретического результата на примере электролитических осадков железа, имеющих ОЦК решетку. В связи с этим ставилась задача исследовать зависимость параметров текстуры железных покрытий от их толщины, начиная с толщин порядка нескольких десятых долей микрона

#### **Методика и основные результаты исследования.**

Электроосаждение железа осуществлялось из высококонцентрированного сернокислого водного электролита, содержащего соль  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  концентрацией 400 г/л. Подложкой служили пластины нержавеющей стали, поверхность которой была механически отполирована. Условия электролиза следующие: температура электролита 50°C; кислотность раствора, измеряемая в единицах pH, была равна 2,0; катодная плотность тока составляла 3,

5, 7 и 10 А/дм<sup>2</sup>.

Время процесса электроосаждения железа было таким, чтобы покрытия имели толщину 0,2; 0,5; 1; 5 и 10 мкм. Толщина покрытий оценивалась по массе электроосажденного металла, которая определялась взвешиванием с точностью  $\pm 0,002$  мг.

Ось преимущественной ориентации зерен и степень совершенства текстуры  $W$  электролитических покрытий железа определялась по статистическому весу  $P_{hkl}$  дифракционных рентгеновских пиков. Величина  $P_{hkl}$  рассчитывалась по формуле:

$$P_{hkl} = \frac{I_{hkl}}{I'_{hkl}} \cdot \frac{\sum I'_{hkl}}{\sum I_{hkl}} ;$$

где  $I_{hkl}$  – интенсивность рентгеновской линии исследуемого электролитического покрытия;  $I'_{hkl}$  – интенсивность рентгеновской линии эталонного (нетекстурированного) образца;  $\sum I_{hkl}$  – суммарная интенсивность всех линий исследуемого покрытия;  $\sum I'_{hkl}$  – суммарная интенсивность всех линий эталонного образца. Во внимание принимались первые пять дифракционных линий первого порядка (110), (200), (211), (310) и (222).

Дифрактограммы железных покрытий снимались в медном  $K\alpha$  излучении с помощью дифрактометра PW 3020-Philips. Регистрация дифракционных линий осуществлялась по точкам с интервалом  $\Delta(2\theta) = 0,02^\circ$  (время регистрации числа импульсов “в точке” 1 с).

Согласно нашим теоретическим результатам [1] критические трехмерные зародыши, возникающие на индифферентной подложке, могут иметь максимальную толщину в несколько атомных слоев. Однако дифракционные пики от таких тонких покрытий невозможно было зафиксировать на дифрактометре, который нами использовался. Наименьшая толщина железных покрытий, при которой удалось получить дифрактограмму, составляла  $\sim 0,2$  мкм.

На рис.1 представлены дифрактограммы железных покрытий, полученных при плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup>, толщиной 0,2 мкм и 5 мкм (профили рентгеновских линий (310) и (222) не представлены ввиду их крайне малой интенсивности). Сравнивая интенсивности рентгеновских линий (110), (200), (211), можно видеть, что для железных покрытий толщиной 0,2 мкм интенсивность рентгеновской линии (110) существенно превосходит интенсивность двух других

линий (рис.1а). Это свидетельствует о том, что осью преимущественной ориентации кристаллитов железного покрытия толщиной 0,2 мкм является направление  $\langle 110 \rangle$ . В то же время на дифрактограмме покрытия железа толщиной 5 мкм интенсивностью линии (211) существенно выше интенсивности линий (110) и (200) (рис. 1б). Это означает, что осью текстуры данного покрытия является направление  $\langle 211 \rangle$ .

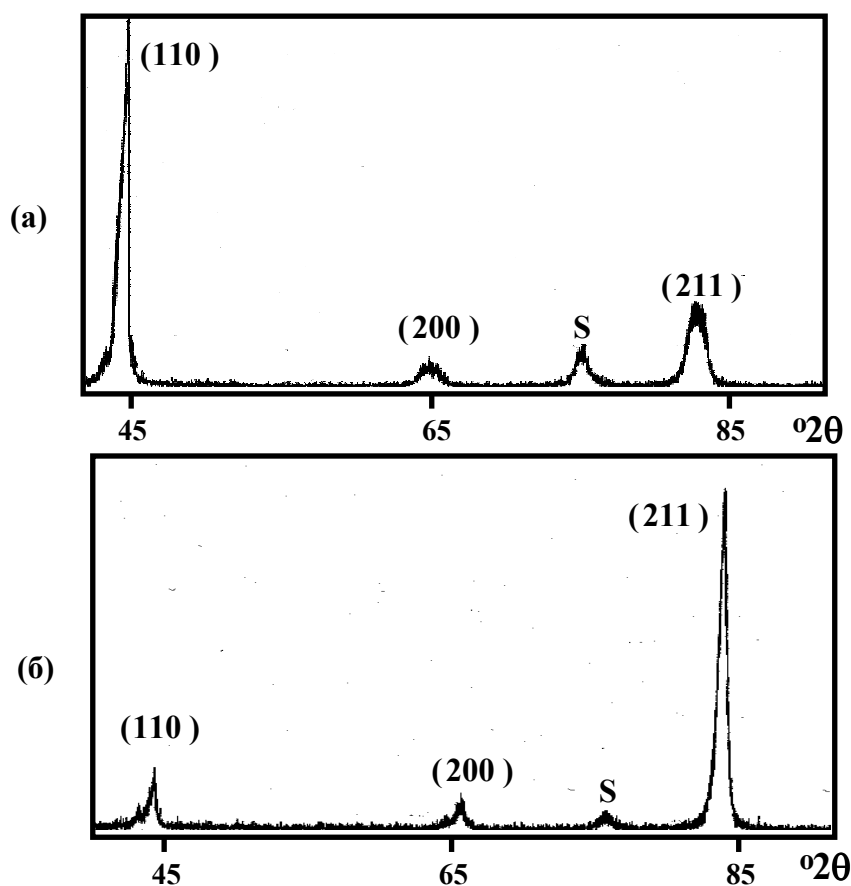


Рисунок 1 - Дифрактограммы железных покрытий толщиной 0,2 мкм (а) и 5 мкм (б). Условия электролиза: 3 А/дм<sup>2</sup>, 500С, рН 2,0. (S – рентгеновская линия от подложки)

На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований текстуры железных покрытий, полученных при плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup>, для разных толщин покрытий диапазона от 0,2 мкм до 10 мкм. Для железных покрытий толщиной 0,2 и 0,5 мкм характерна ось текстуры  $\langle 110 \rangle$ , а для более толстых покрытий выявляется ось текстуры  $\langle 211 \rangle$ .

Такой же характер влияния толщины покрытий на текстуру электролитического железа был установлен и для покрытий железа, осажденных при всех других плотностях тока: 5, 7 и 10 А/дм<sup>2</sup>.

Исходя из литературных данных [5], можно утверждать, что электролитические покрытия железа, полученные при разных плотностях тока в диапазоне от 3 до 10 А/дм<sup>2</sup>, характеризуются разной величиной перенапряжения  $\Delta\phi$  (с повышением плотности тока величина  $\Delta\phi$  возрастает).

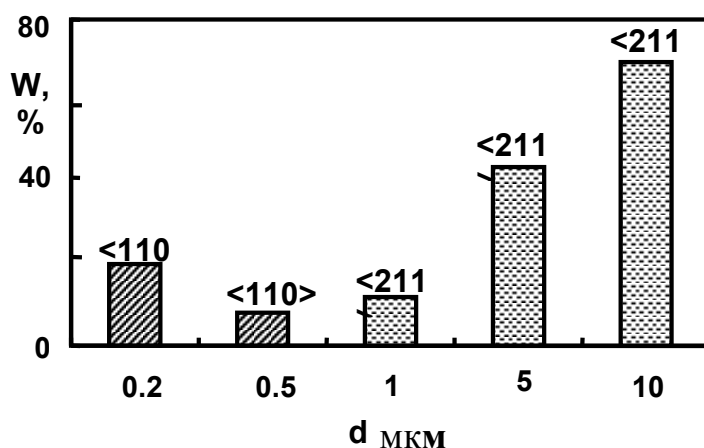


Рисунок 2 - Влияние толщины электролитических покрытий железа  $d$  на степень совершенства  $W$  и ось текстуры (ось текстуры указана вверху каждого столбца). Условия электролиза: 3 А/дм<sup>2</sup>, 500С, рН 2,0.

Можно принять, что поверхность подложки, которую мы использовали, является индифферентной. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что после процесса электролиза покрытия железа легко отделялись от подложки. Поэтому можно говорить об отсутствии эпитаксиального влияния подложки на начальную текстуру электроосажденных слоев железа.

**Выводы.** 1) Для тонких электролитических покрытий железа толщиной 0,2 и 0,5 мкм осью текстуры являлось направление <110> независимо от величины катодного перенапряжения, что полностью подтвердило наши теоретические результаты, согласно которым осью начальной текстуры ОЦК металлов, электроосажденных на инертную подложку, должна быть ось <110>.

2) С ростом толщины электролитических осадков железа ось текстуры изменялась с <110> на <211>. Это означает, что первичная (начальная) текстура электролитических покрытий с ростом их толщины трансформируется во вторичную текстуру (текстуру роста). Причем по мере роста железных покрытий “в толщину” степень

совершенства текстуры роста повышалась.

Что касается причин изменения оси текстуры изученных осадков, т. е. перехода первичной текстуры в текстуру роста, то наиболее реальной причиной возникновения текстуры роста, по-видимому, является фактор минимизации поверхностной энергии железного покрытия [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов В.М., Хлынец В.П. Образование текстуры на начальной стадии электрокристаллизации ОЦК металлов [Текст]/ В.М. Козлов, В.П. Хлынец //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.–2009.–№ 4(63).– с.44-49.
2. Pangarov N.A. Texture formation of electrodeposits [Text] / N.A. Pangarov // Electrochim. Acta.–1962.–No. 7. –P.139-143.
3. Stoyanov S. On the Atomistic Theory of Nucleation Rate [Text] / S. Stoyanov //Thin Solid Films.–1973.–No. 18.–P. 91-93.
4. Kozlov V.M., Peraldo Bicelli L. Formation of structural defects during non-coherent nucleation: An atomistic analysis [Text] /V.M Kozlov, L.Peraldo Bicelli //J. Crystal Growth.–1997.–No. 177.–P. 289-293
5. Ваграмян А.Т., Жамогорцяц М.А. Электроосаждение металлов и ингибирующая адсорбция [Текст] / А.Т Ваграмян, М.А. Жамогорцяц // Москва: изд.Наука, 1969. – 198с.
6. Li D.Y., Szpunar J.A. Monte Carlo simulation approach to the texture formation during electrodeposition [Text] / Li D.Y., Szpunar J.A. // Electrochim. Acta. – 1997. – No. 1. – P.37-45.

Получено 12.01.2010г.

УДК 621.771:539.4

О.О. Бейгул, М.М. Корнійчук, Г.Л. Лепетова  
**ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАКРИТОЇ СТАНИНИ РОБОЧОЇ КЛІТІ  
ПРОКАТНОГО СТАНА ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНОЇ  
МЕТАЛОМІСТКОСТІ**

*Анотація. Розроблена математична модель оптимізації статично невизначимої закритої станини робочої кліті прокатного стану за критерієм мінімальної металомісткості.*

**Вступ.** Станини робочих клітей є найбільш відповідальними деталями прокатних станів. У них монтуються валки стану, які деформують метал при прокатці, а також інші пристрої та механізми, які забезпечують необхідну точність прокатки, продуктивність стану. Весь тиск метала на валки, який виникає при прокатці, сприймається станинами. Тому при конструюванні та виготовленні станин особливу увагу приділяють їх міцності та жорсткості [3].

Робоча кліть будь-якого стану має дві станини, розташовані по краях валків. Станини за конструктивними особливостями бувають закритого і відкритого типу.

Станина закритого типу являє собою литу масивну, жорстку раму, що має у нижній частині спеціальні приливи, якими вона встановлюється на плитовину і кріпиться до неї болтами. Станини такого типу, як більш міцні та жорсткі, застосовуються у робочих клітях блюмінгів, слябінгів та в тонколистових станах гарячої та холодної прокатки.

Станини робочих клітей прокатних станів розраховують на максимальне вертикальне зусилля, яке діє при прокатці на шийку валка і передається на поперечини [3]. Горизонтальними зусиллями, які діють на валки і станину в момент захвату і при прокатці з натяжінням, звичайно нехтують, оскільки їх величина несуттєва у порівнянні з вертикальними зусиллями. До того ж слід додати, що несуча система станини прокатної кліті є самоврівноваженою і вертикальні зусилля не передаються на опорні пристрої (рис. 1).

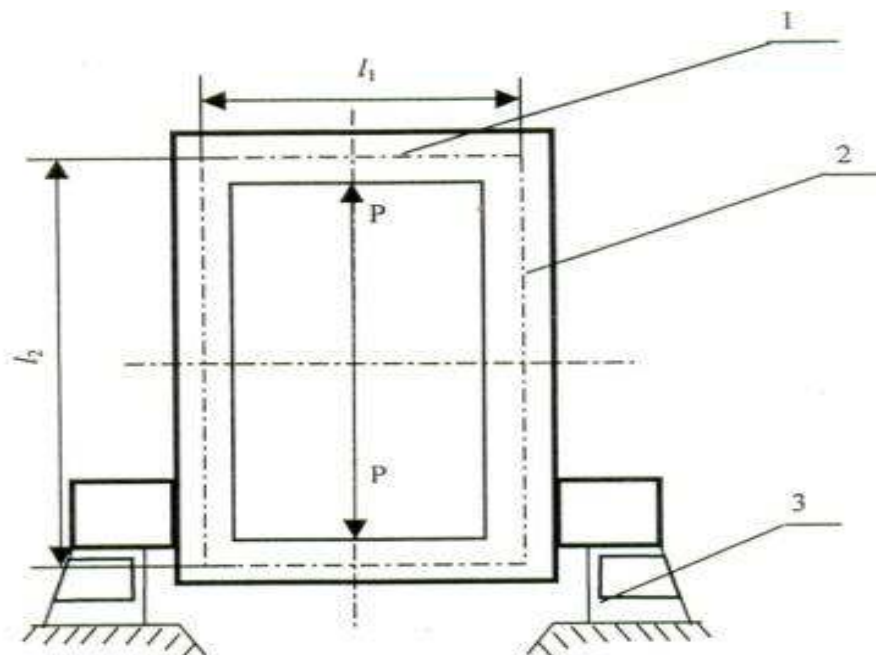
**Постановка задачі.** Сучасні станини закритого типу працюють з великими запасами міцності, мають надмірну металомісткість, крім

---

© Бейгул О.О., Корнійчук М.М., Лепетова Г.Л., 2010

того, статична невизначимість закритих рамних систем ускладнює розробку раціональних конструкцій на стадії проектування; тому задача дослідження полягає у виборі математичної моделі оптимізації статично невизначимої закритої станини робочої кліті за критерієм мінімальної металомісткості.

**Аналіз публікацій по даній проблемі.** У металургійному машинобудуванні, до якого належить виробництво станин, панує конструктивний підхід при проектуванні нового устаткування [3]. Оптимізація проектувальних розрахунків на міцність добре висвітлена у роботі [2], де відслідковується проблематичність таких задач стосовно статично невизначимих систем. Робота [4] присвячена вибору співвідношення згинальних жорсткостей силових елементів статично невизначимої порталної несучої системи з наступним розрахунком її параметрів. Ідея останньої роботи, пов'язана з належним вибором співвідношення згинальних жорсткостей поперечин та стійок, покладена оптимізації статично невизначимої станини закритого типу за критерієм мінімальної металомісткості.



1 - поперечина; 2 - стійка; 3 - опорний пристрій

Рисунок 1 – Станина закритого типу

**Виклад основного матеріалу.** Розрахункова схема станини закритого типу представляється у вигляді прямокутної закритої рами (рис. 2).

Вертикальне зусилля  $P$  для листових станів дорівнює половині максимального тиску металу на валки при прокатці, для інших

станів дорівнює максимальному значенню тиску на підшипниках з одного боку робочої кліті [3].

Станина закритого типу являє собою замкнуту раму, в загальному випадку тричі статично невизначиму [5], але належним вибором основної системи ступінь статичної невизначимості можна зменшити.

Обираємо основну систему введенням розрізів у стійках вздовж горизонтальної осі симетрії, у цьому разі з урахуванням геометричної та силової симетрії рама стає один раз статично невизначимою.

Для розкриття статичної невизначимості скористаємось методом сил, для чого записуємо канонічні рівняння методу сил у кількості, що дорівнює числу статичної невизначимості [5]. У даному разі це одне канонічне рівняння:

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{1P} = 0 \quad (1)$$

де  $\delta_{11}$  – головний коефіцієнт канонічного рівняння, означає переміщення точки прикладення першого силового фактору у напрямку першого силового фактору внаслідок дії першого силового фактору, який дорівнює 1, рад;

$X_1$  – реакція зайвого зв'язку, або згинаючий момент у стійці на горизонтальній осі симетрії, Н·м;

$\delta_{1P}$  – вільний член канонічного рівняння, або переміщення точки прикладення першого силового фактору у напрямку першого силового фактору внаслідок дії зовнішнього навантаження, рад.

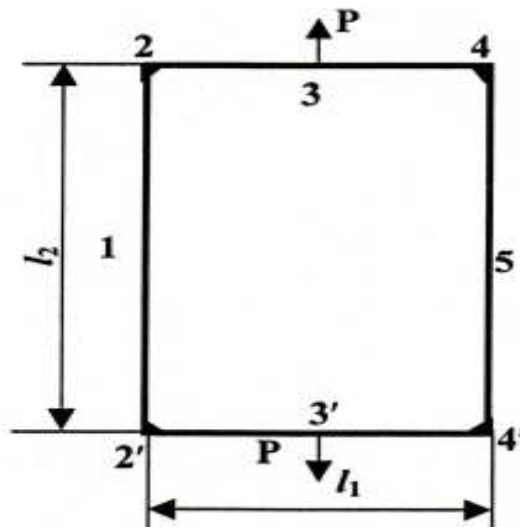


Рисунок 2 – Розрахункова схема станини закритого типу

Коефіцієнти канонічного рівняння (1) визначаємо за допомогою інтегралів Мора [5]. Канонічне рівняння (1) з урахуванням

визначених коефіцієнтів має вигляд:

$$\left( \frac{l_1}{EI_{z1}} + \frac{l_2}{EI_{z2}} \right) X_1 - \frac{Pl_1^2}{8EI_{z1}} = 0 \quad (2)$$

де  $EI_{z1}$  – згинальна жорсткість поперечини, Па·м<sup>4</sup>;

$EI_{z2}$  – згинальна жорсткість стійки, Па·м<sup>4</sup>

Множимо рівняння (2) на  $I_{z1}$ , після введення позначення  $I_{z1}/I_{z2} = k$  отримуємо наступний його варіант:

$$(l_1 + kl_2)X_1 = \frac{Pl_1^2}{8} \quad (3)$$

Звідки визначаємо  $X_1$ :

$$X_1 = \frac{Pl_1^2}{8(l_1 + kl_2)} \quad (4)$$

Будуємо сумарну епюру згинаючих моментів (рис. 3).

Сумарна епюра згинаючих моментів свідчить, що ці силові фактори на ділянках рами залежать від параметру  $k = I_{z1}/I_{z2}$ , який можна вважати аргументом певної цільової функції [1]. У якості цільової функції призначаємо такий узагальнений показник металомісткості конструкції, як сума моментів опору згинанню перетинів поперечини та стійки. Тоді можна записати:

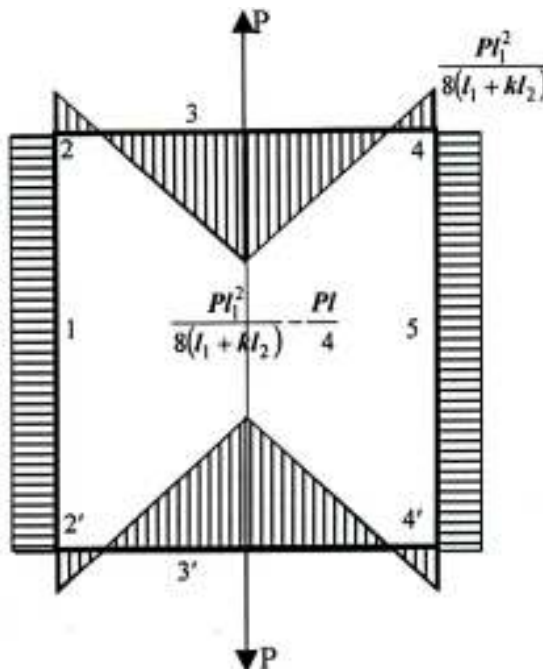


Рисунок 3 – Сумарна епюра згинаючих моментів

$$F(k) = W_{z1} + W_{z2} = \frac{|M_{z1}|}{[\sigma]} + \frac{k_1 |M_{z2}|}{[\sigma]} \quad (5)$$

де  $F(k)$  – цільова функція,  $M^3$ ;

$k$  – аргумент цільової функції;

$W_{z1}, W_{z2}$  – моменти опору згинанню поперечини та стійки відповідно,  $M^3$ ;  $M_{z1}, M_{z2}$  – розрахункові згинаючі моменти поперечини та стійки, Н·м;

$k_1$  – певна константа,  $k_1 \gg 1$ ;

$[\sigma]$  – допустиме напруження, Па.

Розкриваємо праву частину виразу (5):

$$F(k) = \left| \frac{Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} - \frac{Pl_1}{4[\sigma]} \right| + \frac{k_1 Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} \quad (6)$$

Далі скористаємось класичним методом математичного аналізу [1] для розв'язання задачі оптимального проектування за критерієм мінімальної металомісткості, яка може бути сформульованою як задача пошуку екстремуму цільової функції  $F(k)$ . Необхідною умовою екстремуму цільової функції  $F(k)$  є обернення в нуль її першої похідної по аргументу  $k$ . Обчислюємо першу похідну цільової функції  $F(k)$ :

$$\begin{aligned} \frac{dF(k)}{dk} &= \frac{d}{dk} \left\{ \left| \frac{Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} - \frac{Pl_1}{4[\sigma]} \right| + \frac{k_1 Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} \right\} = \\ &= \frac{Pl_1^2(1+k)}{8[\sigma]} \frac{d}{dk} (l_1 + kl_2)^{-1} = \frac{Pl_1^2(1+k)}{8[\sigma]} (-1)(l_1 + kl_2)^{-2} l_2 = \\ &= -\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma](l_1 + kl_2)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

Як це виходить з виразу (7), перша похідна цільової функції обертається в нуль у нескінченності, будучи від'ємною величиною у зоні визначення цієї функції. Перевіряємо цільову функцію на знак другої похідної:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 F(k)}{dk^2} &= \frac{d}{dk} \left( \frac{dF(k)}{dk} \right) = \frac{d}{dk} \left[ -\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma](l_1 + kl_2)^2} \right] = \\ &= -\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma]} \frac{d}{dk} (l_1 + kl_2)^{-2} = -\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma]} (-2)(l_1 + kl_2)^{-3} \cdot l_2 = \end{aligned}$$

$$= \frac{Pl_1^2 l_2^2 (1 + k_1)}{4[\sigma] (l_1 + kl_2)^3} \quad (8)$$

$$\frac{Pl_1}{8[\sigma]} (1 + k_{1i})$$

$$\frac{Pl_1}{4[\sigma]}$$

Як це виходить з виразу (8), друга похідна цільової функції є додатною величиною у зоні визначення цієї функції. Узагальнюючи вирази (6-8), будемо графіки цільової функції  $F(k)$  (рис.4).

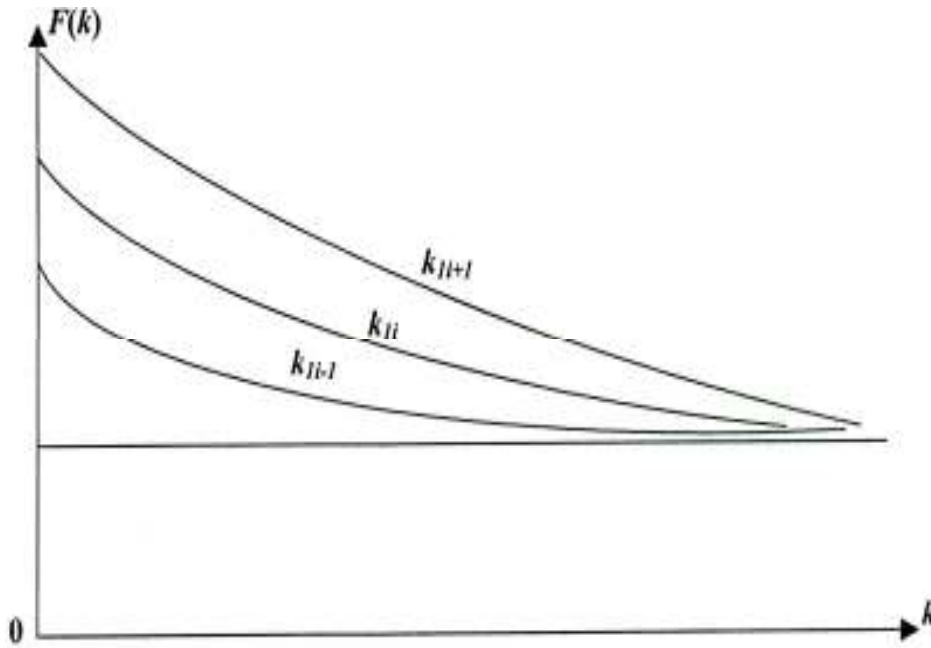


Рисунок 4 – Графіки цільової функції  $F(k)$

**Висновки.** Оптимізація станини закритого типу робочої кліті прокатного стана за критерієм мінімальної металомісткості проходить шляхом розробки і створення раціональної за металомісткістю конструкції, яка реалізується збільшенням згинальної жорсткості поперечин і зменшенням такої у стійок. В ідеалі – це конструкція, у якій поперечини працюють тільки на вигин, а стійки – тільки на розтяг.

Оптимізація статично невизначимих замкнутих систем за критерієм мінімальної металомісткості базується на пошуку екстремумів цільової функції, в яку входять у якості аргументів відношення згинальних жорсткостей силових елементів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 544с.
2. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости (регулирование, синтез, оптимизация) / [Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченко В.И. и др.]. – М.: Стройиздат, 1978. – 189с.
3. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / [Целиков А.И., Полухин П. И., Гребеник В.М. и др.]. – М.: Металлургия, 1988. – 680с.
4. О проектировочном расчете статически неопределимой несущей системы / [Бейгул О.А., Шматко Д.З., Бейгул И.О., Лепетова Н.А.]. – Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Вип. 3 (14). – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2001. – С. 100-105.
5. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; отв. ред. Писаренко Г.С. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Наукова думка, 1988. – 736с.

Отримано 17.01.2010р.

УДК 658.5:006.065

А.И. Ковалев

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СТАНДАРТОВ

*Аннотация. Процессно-ориентированные стандарты, определяющие требования к управлению предприятиями (ISO серий 9000, 14000, 2200, 28000 и др.) декларируют рассмотрение процессов предприятия в их совокупности. Потому что выявление, понимание и анализ взаимосвязанных и взаимодействующих процессов как системы позволяет оценивать результативность и эффективность функционирования предприятия в целом. Проблему интеграции процессного и системного подходов в практику управления предприятием можно решить посредством разработки модели системы оценивания качества функционирования предприятия и методики формализованного оценивания и улучшения процессов. Процедура оценки результативности процессов включает формулировку критериев и показателей. Показатели – это индикаторы текущей деятельности, и предсказатели будущих результатов. Указанные две группы показателей называют показателями динамики деятельности и показателями результатов деятельности. Системный подход в управлении предприятием предполагает одновременное оценивание и улучшение процессов с целью оптимизации некоторой целевой функции  $Y\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ , где  $\pi_i, i = \overline{1, n}$  – частные показатели динамики,  $p_j, j = \overline{1, m}$  – частные показатели результатов деятельности,  $Y$  – обобщенный показатель,  $f$  – может иметь вид полинома, коэффициенты которого оцениваются на основании экспериментальных данных. Методика оценивания включает интерпретацию этого полинома.*

### Постановка задачи

Современные международные стандарты, определяющие требования к управлению предприятиями, включают некоторые общие принципы, наиболее важный из которых – применение процессного подхода. В первую очередь это относится к стандартам международной организации по стандартизации (The International Organization for Standardization) ISO серии 9000 (управление

© Ковалев А.И., 2010

качеством), серии 14000 (управление в области экологии), серии 22000 (управление безопасностью продуктов питания), серии 10000 (управление качеством, удовлетворённость потребителей: рекомендации по кодексам поведения, по обращению с жалобами, по разрешению спорных вопросов с внешними потребителями), ISO/PAS1 серии 28000 (управление безопасностью в цепи поставок), стандартам ISO/IEC2 серии 20000 (информационные технологии, управление услугами), стандартам OHSAS (Occupation Health and Safety Assessment Series) серии 18000 (управление в области профессионального здоровья и безопасности)<sup>3</sup>.

Процессы нужны не для описания работы, а для достижения целей: желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессами (ДСТУ ISO 9000-2007). Целевые векторы процессов могут не совпадать и даже оказаться направленными противоположно. В то же время, устойчивость предприятия определяется взаимодействием процессов и в меньшей степени зависит от того, как в отдельности функционирует каждый процесс. Взаимодействие определяет следование процессов, т.е. что выход любого процесса является входом следующего процесса. Поэтому процессно-ориентированные стандарты декларируют системный подход к управлению, который включает анализ взаимосвязанных процессов, полного набора входов и выходов.

### **Объект исследования и формулировка цели**

Как правило, решение проблемы интеграции принципов процессного и системного подходов в практику управления предприятием осуществляется построением схемы взаимодействия

---

<sup>1</sup> ISO/PAS (publicly available specification) – общедоступные технические условия, ОТУ – нормативный документ, созданный на основе консенсуса между экспертами, принятый простым большинством голосов членов технического комитета или подкомитета ISO и опубликованный как ответ на неотложные потребности рынка в таком нормативном документе.

<sup>2</sup> Совместная публикация ISO и IEC (International Electrotechnical Commission, Международная электротехническая комиссия), крупнейшая после ISO организация по стандартизации.

<sup>3</sup> Разработаны 13-ю организациями, в числе которых были национальные органы стандартизации некоторых стран, международные органы по услугам сертификации, организации по безопасности труда и др. И хотя эти стандарты не имеют аббревиатуры ISO, де-факто они стали международными.

процессов и согласованием всех входов и выходов. Формы схемы процесса могут быть разнообразными. Простейшая форма – блок-схема (process flow). Блок-схема полезна при изучении благоприятных возможностей улучшения качества. Рассматривая как разные процессы связаны друг с другом, часто можно обнаружить потенциальный источник нарушений. Если на промежуточных этапах работы возникают проблемы, проводят корректирование блок-схемы, так, чтобы деятельность предприятия была результативной [1, 2]. При этом формирование решений осуществляется обычно методом эвристического поиска, основанного на интуиции, находчивости, аналогиях, опыте. Чтобы принимать решения, основанные на фактах, необходимы формальные математические алгоритмы.

Целью настоящей работы является разработка статистической модели системы оценивания качества функционирования предприятия (СОКФ) и методики формализованного оценивания и улучшения процессов, включающей выявление и ограничение всех определяющих показателей и взаимосвязей, а также выбор критериев для оценки качества функционирования предприятия.

#### **Результаты исследования**

В соответствии с требованиями обозначенных выше стандартов измерение процессов производится как для оценки уровня их результативности (достижения целей), так и для поддержания в управляемом состоянии. В первом случае оцениваются результаты процесса, а во втором – показатели его состояния на различных этапах.

Процедура оценки результативности процессов включает формулировку критериев и показателей. Критерии (греч. criterion – средство убеждения, основа суждения) – мерило для определения достоверности чего-либо, например, того, что цели организации достигнуты. Критерий определяет, каким образом цель может быть измерена (вынесено суждение о ней) [3].

Критерием достижения цели организации является практическая производственная деятельность людей, преобразующих входные потоки и добавляющих им ценность. Т.е. деятельность – является средством убеждения, мерилom того, что цели будут достигнуты. Поэтому критерии можно сформулировать как краткие утверждения, описывающие конкретные действия, которые надо

выполнить, чтобы достичь целей. Критерии должны побуждать к действию, но им необязательно иметь количественный характер. Формулировку критериев полезно начинать с глагола действия: увеличить, сократить, разработать, улучшить и т.д. Использование этих глаголов отличает ориентированные на действия критерии от статичного мира стратегических целей, поскольку дает ответ на важнейший вопрос: как стратегия будет реализована? Если рассматривать предприятие как единый организм, то нужно задаваться многими критериями, а решение любой задачи должно удовлетворять этим критериям поведения, относящимся к различным областям деятельности.

Но как узнать, насколько хорошо мы выполняем критерии? С помощью показателей деятельности. Показатели – это особые средства измерения, используемые как для управления, так и для контроля результативности деятельности компании. Показатели приводят к выполнению желаемых действий, указывая всем работникам, каким образом они могут внести свой вклад в достижение целей предприятия и предоставляют руководству инструмент определения общего успеха на пути к выполнению стратегических целей. Для каждого показателя устанавливается номинал (или норма), т.е. некоторое целевое значение показателя, которое нужно достигнуть<sup>4</sup>.

Показатели должны служить и как индикаторы текущей деятельности, и как предсказатели будущих результатов. Указанные две группы показателей называют опережающими и запаздывающими показателями, иногда «показатели динамики деятельности» и «показатели результатов деятельности» [4].

Показатели результатов измеряют достигнутые результаты, а показатели динамики отражают процессы, способствующие получению этих результатов. Показатели результатов говорят

---

<sup>4</sup> Иногда вместо критерия используют понятие критического фактора успеха (Critical Success Factor, CSF) – это некоторая характеристика, которая имеет определяющее значение для достижения целей организации. Стратегические цели подвергаются анализу на предмет того, какие критические факторы влияют на их достижение. А также ключевые показатели эффективности (Key Performance Indicator, KPI) – исчисляемые показатели, используемые организацией для измерения своей эффективности с точки зрения выполнения CSF. Для каждого CSF должно быть, по крайней мере, одно измерение (KPI) и его целевое значение.

организации, к чему она пришла, реализуя свои цели, но умалчивают о том, как она к этому пришла или, что еще важнее, что нужно делать иначе. Показатели динамики деятельности, напротив, позволяют следить за заданиями и мероприятиями, которые приводят к результату. Измеряя показатели динамики, которые логически «более ранние», чем показатели результатов, организация получает возможность действовать быстрее. Автор [5] приводит такую иллюстрацию. Он пишет: «Я делал доклад на конференции и в середине выступления подумал: «Сегодня мне задают много вопросов, все принимают активное участие – и ни один человек не зевнул! Уверен, что получу от этой группы хороший отзыв». Фактически его гипотеза заключалась в том, что отсутствие зевающих и большое количество вопросов означают положительную оценку доклада в оценочной ведомости. Другими словами, показатели «зевания» и «вопросов» являются показателями динамики, а общая оценка доклада – это показатель результата. Обе категории показателей должны быть увязаны друг с другом, так как для достижения одних (например, определенного уровня производительности) нужно реализовать другие (например, добиться планомерной расчетной загрузки мощностей машин и оборудования) [6]. Показатели результатов деятельности без показателей динамики не сообщают нам, как мы надеемся достичь результатов. И, наоборот, показатели динамики могут отражать ключевые улучшения во всей организации, но сами по себе не показывают, приводят ли эти улучшения к достижению и повышению результатов. Определение показателей результатов не представляет особой сложности; они могут быть общими во многих организациях. Показатели динамики призваны выгодно отличать организацию, указывая конкретные действия и процессы, которые она считает решающими факторами успеха.

Показатели динамики деятельности представляют собой характеристики поведения предприятия и их можно рассматривать в качестве симптомов. Автор [7] пишет, что обычно под «симптомом» мы подразумеваем признак угрозы здоровью организма или жизнеспособности организации. Однако он может быть и признаком благоприятной возможности, т.е. он может свидетельствовать как о чем-то исключительно плохом, так и о чем-то исключительно хорошем. Симптом представляет собой одно из значений, которое

принимает показатель, когда обычно происходит что-то исключительно хорошее или исключительно плохое, но никогда не появляется когда дела идут нормально.

Примеры показателей: показатель результата – объем сбыта новой (инновационной) продукции, показатель динамики – количество сделок с потребителем такой продукции; показатель результата – количество заявленных патентов, показатель динамики – количество инициированных технических разработок; показатель результата – доход от продаж, показатель динамики – количество часов, проведенных с клиентами.

Оценка показателей динамики – это превентивный подход к качеству. Он включает контроль параметров процесса, которые напрямую влияют на характеристики товара или услуги. Автор [8] обращает внимание на следующее: во многих организациях процессы выполняются людьми, а не машинами. Отсюда следует, что контролировать процессы, значит контролировать поведение. Далее логика подсказывает, что если каждый следует предписанному способу поведения, то почти всегда можно предсказать результат. Поэтому показатели динамики деятельности являются показателями поведения. Поведенческие показатели – это характеристики того, что делают люди. А показатели, отражающие реальный результат – это показатели достижений. Например, поведенческий показатель – работает в соответствии с требованиями техники безопасности, показатель достижения – отклонение фактических временных затрат от нормативных.

Для реализации системного подхода к оцениванию и совершенствованию (улучшению) процессов целесообразно иметь для всех процессов, по меньшей мере, один общий показатель динамики деятельности, посредством которого можно отслеживать каждый из процессов. Если речь идет об основных бизнес-процессах предприятия (т.е. добавляющих стоимость), то, по-видимому, можно установить два и более показателей динамики – общих для всех этих процессов, например,  $n (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ .

Системный подход в управлении предприятием предполагает не последовательное оценивание и улучшение процессов, а одновременное – с целью оптимизации некоторой целевой функции  $Y$ :

$$Y = f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n), \quad (1)$$

где  $\pi_i, i=\overline{1, n}$  – частные показатели динамики.

Эта функция определяет показатели достижения целей предприятия. Она может иметь вид обобщенного показателя, т.е. интегральной оценки, включающей частные показатели результатов деятельности  $p_j, j=1, 2, \dots, m$ , сформулированные для внутренних процессов:  $Y = Y\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ . Количество показателей результатов деятельности  $p_j$  в общем случае не равно количеству показателей динамики ( $m \neq n$ ). При этом  $Y = Y\{p_j\}$  – обобщенный показатель, функционал от совокупности частных показателей результатов; например, это – среднее арифметическое значение показателей  $p_j$ :

$$Y = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_m}{m}.$$

Для упрощения задачи предположим, мы имеем  $n$  процессов и для каждого процесса идентифицирована одна цель и, соответственно, один критерий; а для каждого критерия идентифицирован один показатель динамики  $\pi_i$ .

Итак:

$$Y\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n). \quad (2)$$

Ставится задача поиска оптимального  $Y$  для заданных (возможных) областей варьирования всех показателей  $\pi_i, i=\overline{1, n}$ . Показатели  $\pi_i$  – опережающие, т.е. это движущие силы результатов, отражаемых в запаздывающих показателях  $p_j$ . Каждый из показателей  $\pi_i$  может изменяться в большую или меньшую стороны. По каждому  $\pi_i$  можно определить направление изменения, характеризующее максимальное достижение  $i$ -го критерия. Но это – субоптимизация, т.е. не учитывающая всю совокупность процессов (не системная). Возможно, для отдельных процессов будет целесообразным стабилизация какого-то показателя  $\pi_i$  на определенном уровне, или даже изменение, приводящее к ухудшению частного критерия. Но при этом совокупное влияние изменяемых показателей динамики  $\pi_i, (i=\overline{1, n})$  приводит к улучшению

значения  $Y$ .

Оптимизацией функции вида (2) занимается раздел математической статистики, получивший название теория планирования экспериментов. Рассмотрим следующую функцию (функция регрессии):

$$Y = \varphi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n), \quad (3)$$

где  $\varphi$  – искомая функция, аппроксимирующая неизвестную, как правило, функцию  $f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ .

Параметр оптимизации, или функция отклика  $Y$  – это реакция на воздействие факторов (входных переменных)  $\pi_i, i=1, 2, \dots, n$ . Вид функции  $\varphi$ , заранее не известен. Поэтому полезным оказывается ее представление в виде разложения в степенные ряды, – в виде алгебраических полиномов вида:

$$P_n(\pi) = a_0 + a_1\pi_1 + \dots + a_n\pi_n^n, \quad (4)$$

где  $n$  – степень полинома;  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – произвольные вещественные числа.

При определенных условиях такое разложение в полином возможно для всех непрерывных функций. Точность, с которой нужно знать функцию в каждой точке, – это некоторое число  $\delta$ . Оно зависит от условий задачи, наших возможностей или желаний. Представим себе наглядно всю картину: на рис. 1 вокруг графика функции нарисована полоска, ширина которой в направлении вертикальной оси будет  $\delta$ .

Любая кривая, целиком лежащая внутри двух  $\delta$  – полосок, например,  $\varphi_1(\pi)$ , с точностью до  $\delta$  неотличима от исходной, нарисованной жирно. Если вид функции неизвестен, можно заменить ее близкой, но более простой. Полезным оказывается ее представление в виде разложения в степенные ряды, т.е. представление в виде полинома. Для достижения некоторой приемлемой точности ограничиваются отрезком ряда. И более того, содержащим малое число членов. Выбранный отрезок ряда можно будет тогда рассматривать как функцию отклика. В практических задачах всегда можно ограничиться полиномами, включающие первые степени переменных  $\pi_i$  и их различные произведения или первые и вторые степени переменных и крайне редко – более высокие

степени переменных. Широкое распространение полиномиальных моделей объясняется тем, что исследуемые функции многих переменных в ограниченной области эксперимента обычно можно разложить в ряд Тейлора. Оценки коэффициентов полинома обычно получают с помощью метода наименьших квадратов [9].

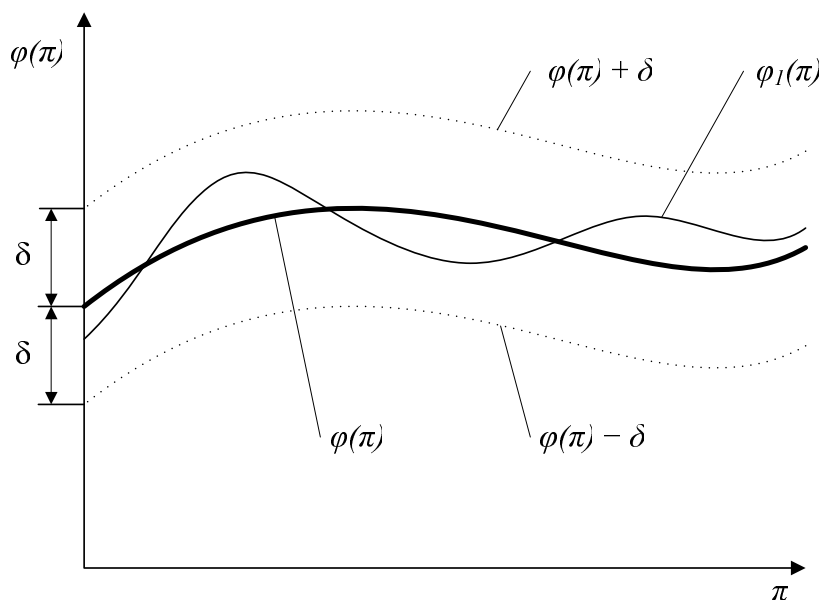


Рисунок 1 – Аппроксимация произвольной непрерывной функции

Полином (4) включает  $n$  показателей динамики, каждый из которых может изменяться в некоторой заданной области (область варьирования). Традиционно в теории планирования экспериментов области варьирования принято разбивать на два или три уровня: верхний, нижний, а также нулевой. Для двух уровней варьирования и  $n$  показателей (факторов) имеем план полного факторного эксперимента (ПФЭ)  $2^n$ . Для трех показателей динамики ( $n = 3$ ) общее число измерений составляет восемь; в каждом из которых определяют  $m$  показателей результата  $p_j, j = \overline{1, m}$ . На основании измеренных данных нужно получить некоторое представление о функции отклика. Пользуясь данными этих измерений, можно получить лишь оценки параметров модели (4), т.е. выборочные оценки коэффициентов  $b_0, b_1, b_{11}, \dots$ :

$$Y = b_0 + b_1\pi_1 + b_2\pi_2 + b_{12}\pi_1\pi_2 + b_{11}\pi_1^2 + b_{22}\pi_2^2 + \dots, \quad (5)$$

где:  $Y$  – значение отклика, предсказанное этим уравнением.

В общем случае, из полного факторного эксперимента для

двухуровневых факторов можно оценить все линейные эффекты и эффекты взаимодействия факторов. Общее число всех возможных эффектов, включая  $b_0$ , линейные эффекты  $b_1, b_2, \dots$  и взаимодействия всех порядков  $b_{12}, b_{13}, \dots$  равно  $n$  – числу опытов ПФЭ.

Искомая модель СОКФ для  $n = 3$  имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1\pi_1 + b_2\pi_2 + b_3\pi_3 + b_{12}\pi_1\pi_2 + b_{13}\pi_1\pi_3 + b_{23}\pi_2\pi_3 + b_{123}\pi_1\pi_2\pi_3. \quad (6)$$

Например, реальная модель может иметь вид:

$$Y = 13,8 - 6,4\pi_1 - 9,7\pi_2 + 1,5\pi_3 - 0,3\pi_1\pi_2 - 2,9\pi_1\pi_3 + 10,2\pi_2\pi_3 + 0,14\pi_1\pi_2\pi_3 \quad (7)$$

Принятие решений после построения модели – методика оценивания – это задача интерпретации. Ее решают в несколько этапов. Первый этап состоит в следующем. Устанавливается, в какой мере каждый из факторов влияет на параметр оптимизации. Величина коэффициента регрессии в (7) – количественная мера этого влияния. Чем больше коэффициент, тем сильнее влияет фактор. О характере влияния факторов говорят знаки коэффициентов. Линейные коэффициенты полинома являются частными производными функции отклика по соответствующим переменным. Их геометрический смысл – тангенсы углов наклона гиперплоскости к соответствующей оси. Большой по абсолютной величине коэффициент соответствует большому углу наклона и, следовательно, более существенному изменению параметра оптимизации при изменении данного показателя. Судя по количественной оценке коэффициентов в (7), показатель  $\pi_2$  влияет несколько сильнее, чем  $\pi_1$ . Характер их влияния одинаков. С увеличением обоих, отклик уменьшается. С увеличением  $\pi_3$  отклик возрастает, но в выбранных интервалах варьирования он оказывает меньшее влияние. Однако в парных взаимодействиях этот фактор проявляется более сильным образом ( $b_{23} = 10,2$ ), превосходит даже линейные эффекты. Смысл эффекта взаимодействия состоит в том, что влияние одного показателя зависит от того, на каком уровне находится другой показатель. Одновременное увеличение  $\pi_2$  и  $\pi_3$  приводит к росту отклика. Если задача состоит в уменьшении отклика (обобщенного показателя результата), необходимо добиваться либо уменьшения  $\pi_2$  и увеличения  $\pi_3$ , либо наоборот. Аналогично, надо одновременно

увеличивать  $\pi_1$  и  $\pi_3$ , либо уменьшать.

### Выводы

Осталось обсудить тот факт, что описанные выше формализованные процедуры работают в узких рамках, где выполняются следующие постулаты.

(1) Отклик  $Y$  представляет собой случайную величину с нормальным законом распределения:  $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$ , где  $N$  – от слова нормальный, а  $\mu$  и  $\sigma^2$  – параметры закона распределения (математическое ожидание и дисперсия).

(2) Задано множество факторов  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ , значения которых устанавливаются или измеряются безошибочно.

(3) Задана функция отклика  $Y = \varphi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ . Часто, для конкретности считают, что это линейная функция:  $Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \pi_1 + \beta_2 \cdot \pi_2 + \dots + \beta_n \cdot \pi_n$ , где  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – неизвестные коэффициенты.

(4) Реализован эксперимент, содержащий  $n$  опытов (измерений), условия которых сформулированы в специальных планах, устанавливающих величины показателей динамики и уровни их варьирования. В точках плана измеряются показатели результата деятельности.

То, что у нас получилось, называют постулатами (или предпосылками) регрессионного анализа. Если эти постулаты выполняются, то существует процедура обработки результатов измерений  $Y$ , которая обеспечивает оценку неизвестных коэффициентов, т.е. решение задачи.

Кроме того, при проведении измерений, предполагается, как отмечалось, планирование – идентификация экспериментальных точек на основе четко сформулированного плана, что обеспечивает независимость оценок коэффициентов в модели (7). Если измерения  $Y\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  выполнять случайным образом, или по произвольному выбору, не соответствующему плану, то оценки коэффициентов потеряют свойство независимости и окажутся коррелированными, что существенно усложнит интерпретацию.

Необходимо также указать на то, что, когда речь идет о важных решениях, то сформулировать граничные условия не удастся, опираясь лишь на «факты». Для этого требуется интерпретация,

которая представляет собой суждение, предполагающее определенный риск.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев А.И. Информационное обеспечение с точки зрения процессного подхода / А.И. Ковалев // Сб. «Научно-техническая информация. Серия 1 «Организация и методика информационной работы». М.: ВИНТИ. – 2001. – №.12. – С.18-26
2. Ковалев А.И. Как обустроить качество продукции / А.И. Ковалев // Все о качестве. Отечественные разработки. – 2005. – Вып. 38. – С. 3-18.
3. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер; пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1969. – 216 с.
4. Олве Н.-Г., Петри К.-Й., Рой Ж., Рой С. Баланс между стратегией и контролем. Заставьте работать карту показателей BSC / Нильс-Горан Олве, Карл-Йохан Петри, Жан Рой, Софии Рой; пер. с англ. – СПб.: Питер, 2005. – 320 с.
5. Нивен П. Р. Сбалансированная система показателей – шаг за шагом: Максимальное повышение эффективности и закрепление полученных результатов / Пол Р. Нивен; пер. с англ. – Днепропетровск: Баланс-клуб, 2003. – 328 с.
6. Разработка сбалансированной системы показателей. Практическое руководство / Под ред. А.М. Гершун, Ю.С. Нефедьевой. – М.: ЗАО «Олимп- Бизнес», 2004. – 88 с.
7. Акофф Р.Л. Искусство решения проблем / Р.Л. Акофф; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 224 с.
8. Браун М. Г. Сбалансированная система показателей: на маршруте внедрения / Марк Грэм Браун; пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 226 с.
9. Ковалев А.И. Прологомены к методам научных исследований / А.И. Ковалев. – Харьков: ИД «ИНЖЕК», 2005. – 312 с.

Получено 21.01.2010г.

УДК 519.6

А.Н. Пасхин

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЯ СПРИМЕНА ДЛЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТЬЮ**

*Аннотация. В данной работе выделены основные характеристики телекоммуникационных сетей и предложена возможность использования методов непараметрической статистики для выделения среди возможных способов подстройки параметров, только тех, которые оказывают влияние на сеть и могут повысить эффективность ее работы.*

Одной из наиболее важных задач, которые стоят перед проектировщиками телекоммуникационных систем, систем поддержки принятия решений является определение и корректировка ключевых параметров систем. Контроль показателей этих параметров является необходимым процессом, гарантирующим заблаговременное принятие решений о расширении, модернизации сетевого оборудования; перенастройка параметров системы позволяет разрешить проблемы связанные с критическими, уязвимыми параметрами и гарантировать целостность данных в системе.

Для определения и отбора настроек системы, необходимо сначала определиться с теми параметрами, управление которыми будет осуществляться, для чего необходимо исследовать соответствующую модель. В случае телекоммуникационной сети подойдет подход анализа очередей.

Для систем с очередями необходимо, прежде всего, оценить их загруженность. Самой простой мерой загруженности может выступать нагрузка  $\rho$ , выступающая как отношение среднего времени обслуживания заявки к среднему времени между моментами прихода заявок. Величины в числителе и знаменателе равны соответственно  $1/\lambda$  и  $1/\mu$ . Тогда,  $\rho = \lambda / \mu$ .

Если нагрузка больше единицы, то это означает что заявки приходят быстрее, чем обрабатываются. В системе массового обслуживания (СМО) с  $l$  параллельными обслуживающими

---

© Пасхин А.Н., 2010

устройствами, на каждый из них приходится в среднем около  $\lambda / l$  заявок в единицу времени. Поэтому, нагрузка в этой СМО может быть поднята до величины 1.

С нагрузкой тесно связан такой показатель качества как коэффициент использования или коэффициент загрузки обслуживающего устройства, который обозначим  $u$ . Это показатель частицы часового измерения, когда обслуживающее устройство занято. Рассмотрим достаточно длительный промежуток времени  $T$ . В СМО с  $l$  обслуживающими устройствами на каждый из этих устройств в среднем за время  $T$  приходится по  $\lambda T / l$  заявок, если допустить, что поток заявок равномерно распределяется по  $l$  устройств. Поскольку каждая заявка требует в среднем время обслуживания  $1/\mu$ , то общее среднее время занятости обслуживающего устройства составит  $\lambda T / \mu l$ . Поделив эту величину на  $T$ , получим  $u = \lambda / l\mu$ . При том, что обслуживающее устройство не может быть занято более чем на 100% времени, коэффициент использования не может быть выше единицы. Значит получаем выражение для СМО с обслуживающими устройствами:

$$u = \min(\lambda / l\mu, 1).$$

Одним из основных показателей качества моделей телекоммуникационных систем является пропускная способность. Эта величина определяется как среднее число заявок, обслуживающихся в единицу времени. В СМО в каждую единицу времени в среднем завершается обслуживание  $l\mu$  заявок, из чего следует, что пропускная способность равняется:

$$l \mu = \min(\lambda, l\mu).$$

Очевидно, что пропускная способность будет совпадать с интенсивностью вхождения заявок  $\lambda$  до тех пор, пока  $\lambda$  будет меньшей, чем максимальная интенсивность обслуживания  $l \mu$ , выше которой пропускная способность не поднимается.

Касаясь заявки, основным показателем качества ее обслуживания, очевидно, является время, в течении которого она находится в ожидании обработки. Определим, что время ожидания  $W_j$  заявки  $j$  равняется отрезку времени от момента ее входа в систему до момента начала ее обслуживания, а время ответа  $T_j$  равняется отрезку времени от момента входа заявки в систему до момента завершения ее обслуживания. Как следствие имеет такое простое

отношение:

Час ответа ( $T$ ) = время ожидания ( $W$ ) + время обслуживания ( $S$ ).

Чтобы оценить загруженность системы, введем еще такое понятие, как “длина очереди”. Пусть случайный процесс  $Q(t)$  - это число заявок, которые ожидают обслуживания на момент времени  $t$ . Аналогично, определим  $N(t)$  как число заявок, которые находятся в системе в очереди или на обслуживании. Процесс  $N(t)$  называют длиной очереди. В системах массового обслуживания с  $l$  обслуживающими устройствами  $Q(t)$  и  $N(t)$  связаны соотношением

$$Q(t) = \max(0, N(t) - l).$$

Таким образом, выделены основные параметры телекоммуникационных сетей - загруженность, час ответа, пропускная способность, коэффициент загрузки.

Мониторинг и управление значениями этих параметров является ключевым в процессе управления сетью, настройки параметров сети с целью оптимизации процессов в ней протекающих.

Задача выбора эталонных значений этих параметров целиком лежит на проектировщике, так как именно он является экспертом в области.

Основной проблемой в управлении параметрами телекоммуникационной сети является изменение тех настроек, которые действительно улучшают эффективность работы сети. Например, для улучшения пропускной способности, можно расширить канал, изменить топологию сети, закупить новые маршрутизаторы и так далее. На самом деле, при изменении некоторых конфигурационных настроек целевые, “эталонные” параметры сети не изменятся.

Решение задачи корреляции двух выборок - эталонной и реальных значений может быть получено с помощью непараметрических методов оценки различных двух групп наблюдений. Непараметрическая статистика рассматривает те ситуации, в которых о функциональном виде распределения ничего не известно. Единственной априорно доступной информацией является характер случайной величины - дискретна ли она или непрерывна, каков тип различия между величинами. Сами распределения могут быть любыми, интерес представляет лишь ответ, сдвинуты ли они относительно друг друга; различаются ли они

масштабами; наличием или отсутствием симметрии или зависимости; наконец, есть ли между ними вообще какое бы то ни было отличие, или они могут считаться одинаковыми.

Среди существующих критериев наиболее точными являются ранговые. В отличие от частотных, ранговые критерии оперируют небольшими выборками (до 20-30 вариантов в каждой из сравниваемых групп). Процедура использования ранговых критериев предполагает составление упорядоченного (ранжированного) ряда всех анализируемых вариантов. Для применения этих методов, величины ранжируют по восходящей градации в едином ряде. Обычно этот ряд пишут в виде двух параллельных столбцов: в левом столбце варианты одной выборки  $X$ , в правом другой совокупности  $Y$ . Количество столбцов при анализе соответствует числу сопоставляемых выборок.

Процедура применения непараметрических методов состоит из двух этапов. Первый этап заключается в вычислении эмпирического значения критерия в соответствии с используемым методом или критерием. На втором этапе по эмпирическому значению критерия определяют вероятность статистической гипотезы (о различии, о связи, согласованности); такое определение осуществляют двумя способами. Более простой способ - сравнение эмпирических значений критериев с их критическими значениями, имеющимися в статистических таблицах, причем принцип сравнения у части критериев отличается от такого у параметрических тестов.

Для решения задачи анализа нахождения настроек, оказывающих положительное влияние на работу сети и приближенность значений ее количественных параметров к эталонным предлагается использование критериев различия по форме распределения по форме. Эти критерии могут вскрыть различие между выборками с одинаковыми средними в том случае, когда выборки различаются только характером распределения вариантов (дисперсиями, эксцессами, направлением асимметрии). Для нашей задачи использование именно таких методов является оптимальным, так как позволит отфильтровать только те настройки, изменение которых поможет достичь ожидаемых параметров конфигурации телекоммуникационной сети даже в том случае, если в усредненные показатели останутся неизменными.

Например, изменение ширины канала может улучшить либо

ухудшить пропускную способность сети, в то время как, среднее значение пропускной способности не изменится. Именно непараметрические критерии различия помогут найти внутренние зависимости между настройками системы и значением параметров сети и выделить только те настройки, от которых параметры сети зависят.

Чаще всего для оценки взаимосвязей между двумя выборками используют линейный коэффициент корреляции Пирсона. Эффективность оценки связи между переменными при помощи этого коэффициента зависит, как и вообще любая статистическая характеристика, от определенных особенностей сопоставляемых совокупностей. Линейный коэффициент корреляции оказывается наилучшей оценкой связи, если  $x$  и  $y$  являются нормальными переменными, то есть их распределение является нормальным с устойчивыми средними значениями.

Если это не так, то обычный коэффициент корреляции может служить лишь приближенной характеристикой меры связи, и это приближение тем хуже, чем больше отличаются от нормального распределения наблюдаемые выборки. Если проанализировать эту закономерность более точно, то решающим здесь окажется не столько вид распределения, сколько форма связи (так называемая форма уравнения регрессии) между сопоставляемыми величинами.

В нашем случае, соотношение между параметрами и выборками не отвечает условию “нормальности” и, очевидно, данный метод применять нельзя.

Для тех случаев, когда ничего нельзя сказать о нормальности, но наблюдается монотонное, но не обязательное, линейное изменение линии регрессии (мы не можем гарантировать, что увеличение объема буферов обмена линейно уменьшит длину очереди пакетов в маршрутизаторе), предлагается получать коэффициенты корреляции не для самих выборок, но для их рангов.

Такой критерий носит название “Коэффициент корреляции рангов Спирмена”. Для его использования выборки надо сначала проранжировать. Обычно ранжируют в порядке убывания значения признака, так что самому большому значению будет соответствовать единица.

На следующем этапе находят значения разностей рангов  $d = r_x$

- гу в каждой паре. Далее разности рангов возводят в квадрат и суммируют квадраты разностей  $d^2$ . Коэффициент корреляции рангов Спирмена чаще всего вычисляют по формуле

$$r = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

При наличии в одной формуле одинаковых рангов значение  $r$  заметно занижается, и его необходимо вычислять по формуле.

Введение поправки на одинаковые ранги существенно повышает мощность коэффициента Спирмена. Для этого, отдельно в выборке  $x$  и  $y$  рассчитывают независимые поправки по формуле

$$\sigma = \sum \frac{\tau^3 - \tau}{12}$$

где  $\tau$  – количество одинаковых рангов с одним и тем же значением.

Вычисленное значение  $r$  оценивают по трем параметрам: знаку, абсолютной величине и достоверности. Знак коэффициента корреляции показывает форму связи. Знак  $+$  характерен для прямой связи, отрицательное значение коэффициента говорит об обратной связи, ноль в свою очередь, означает отсутствие связи между выборками.

Абсолютная величина отражает тесноту прямолинейной связи (степень приближения эмпирических точек на графике взаимозависимости рангов к прямой линии). Большинство авторов считают, что при значениях меньших 0,3 теснота связи слабая, при значениях от 0,3 до 0,5 – умеренная, при 0,5 до 0,7 – заметная, и, наконец, при значениях больше 0,7 – высокая. Квадрат коэффициента корреляции показывает, какая доля изменчивости одного признака определяется изменчивостью другого признака.

Достоверность коэффициента корреляции можно определить через формулу вычисления стандартной ошибки  $m$

$$m = \frac{\sqrt{1 - r^2}}{\sqrt{n - 2}}$$

Эмпирическое значение  $t$ -критерия достоверности сравнивают с табличными значениями критерия Стьюдента для  $n - 2$  степеней свободы, где  $n$  – количество разностей рангов.

$$t = \frac{r}{m} = \frac{r\sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$$

Таким образом, использование коэффициента корреляции рангов Спирмена проектировщик сети получает мощный аппарат фильтрации конфигурационных настроек, не влияющих реально на параметры сети. С помощью данного метода можно промоделировать поведение телекоммуникационной сети и, применив критерий Спирмена, оптимизировать процесс подстройки сети, оставив лишь те настройки, которые влияют на выделенные основные параметры сети. Также, учитывая знак коэффициента корреляции, можно будет определить тип зависимости (прямая или обратная). Абсолютная величина коэффициента покажет насколько тесно параметр сети зависит от того или иного настроечного параметра, что позволит дополнительно отфильтровать те, зависимость от которых слабая или незначительная, тем самым еще более оптимизировать и упростить процесс работы с сетью и, следовательно, увеличить скорость подстройки сети до достижения эталонных значений параметров.

С помощью предложенного подхода были проанализированы такие параметры телекоммуникационной сети как пропускная способность, загруженность, час ответа, коэффициент загрузки.

Был рассмотрен набор возможных конфигурационных настроек и построены соответствующие выборки значений настроек, а так же выборки соответствующих им значений параметров системы. В результате оценивания были выделены настройки, влияющие на эффективность, и доказана высокая точность оценивания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И.И. Коваленко, А.П. Гожий Нетрадиционные методы статистического анализа данных. Николаев: «Илион», 2006. – стр. 10-70
2. Л.С. Глоба. Математичні основи побудови інформаційно-телекомунікаційних систем. - Київ, “Норіта-Плюс”, 2007. - 400 с.
3. Рунион Ф. Справочник по непараметрической статистике. Пер с англ. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 198с.
4. Тарасенко Ф.П., Непараметрическая статистика. – Томск,: ТГУ, 1976.
5. Тюрин Ю.Н., Непараметрические методы статистики. – М.: «Знание», 1978.
6. Холлендер М., Вулф Д.А. Непараметрические методы статистики - М.: Финансы и статистика 1983 г.
7. Малета Ю.С., Тарасов В.В. Непараметрические методы статистического анализа в биологии и медицине. – М.: Издательство Московского университета, 1982. – 178 с.
8. Гублер Е.В., Генкин А.А., Применение непараметрических методов статистики в медико-биологических исследованиях. – Л.: «Медицина», 1973.

Получено 22.01.2010г.

УДК 519.6

А.П. Гожий

**СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЦЕНАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

*Аннотация. В статье рассмотрены основные особенности применения синергетического подхода для решения задач сценарного планирования. Предложены эволюционные модели сценариев. Приведен алгоритм применения эволюционных моделей при разработке сценария*  
*Ключевые слова: Сценарий, сценарное планирование, синергетика, эволюционное уравнение.*

Синергетические методы используемые в настоящее время во многих областях знаний основаны на концепции самоорганизации и саморазвития систем различной природы. Суть синергетики состоит в том, что в открытых системах, обменивающихся с внешней средой информацией, возникают процессы самоорганизации, т.е. процессы рождения из хаоса некоторых устойчивых упорядоченных структур с новыми свойствами.[1,7] Это характерно для систем любой природы. При этом синергетические системы обладают двумя основными свойствами – это постоянный обмен информацией с внешней средой и взаимодействие различных элементов системы при достижении определенной цели [2,7].

Сценарное планирование является мощным инструментом, дающим возможность предугадывать будущие изменения на различных уровнях и этапах решения проблемы [4,6]. Сценарное планирование (scenario planning) – это совместное применение методов сценарного анализа и методов стратегического планирования. Сценарное планирование имеет своей целью системологическое изучение альтернативных вариантов развития событий и обоснованный выбор наиболее эффективного варианта. При этом необходимо отметить, что сценарий – это многосвязная динамическая пространственно-временная структура, состоящая из событий (состояний), которые связаны между собой множеством связей (целей). Множество целей можно определить как множество инвариантов, как для отдельных этапов, так и для всего сценария в целом. Главной задачей при построении сценариев различного типа (развития, поведения, управления и т.д.), является создание такой

---

© Гожий А.П., 2010

структуры событий (состояний) в которой бы всесторонне учитывались все аспекты построения сценария.

Синергетика вносит в каждую из областей знаний свои особенности и подходы, которые не были ранее присущи традиционным научным концепциям. Принципы синергетики, как науки излагающей поведение нелинейных динамических систем, могут быть применены при решении задач сценарного планирования [2,3].

В синергетических процессах, где отсутствуют целеполагающие принципы, происходит стихийное изменение параметров, это дает возможность изучить свойства самоорганизации при построении сценариев на диссипативных структурах непредсказуемой нелинейной системы.

В синергетической теории необходимо выделить ряд ключевых понятий.

Бифуркация – это процесс разделения некоторого состояния (решения) на несколько ветвей при изменении некоторого параметра системы. На рис.1 представлен пример бифуркации типа «питчфорк». При переходе некоторого параметра  $\alpha$  через некоторое значение  $\alpha_p$ , число ветвей  $x$  скачкообразно возрастает от одного до трех:  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ . Из которых две устойчивые  $B_1$ ,  $B_2$  и одна неустойчивая  $B_0$ . Какую из устойчивых ветвей после точки бифуркации, решат флуктуации, т.е. малые случайные внутренние или внешние возмущения. Так или иначе система выберет в качестве развития или ветвь  $B_1$ , или  $B_2$  в этом проявляется её свойство самоорганизации. Самоорганизация - это синергетическое свойство систем, через некоторый промежуток времени, приходит в устойчивое состояние. Такое состояние порождается всеми внутренними взаимодействиями подсистем, составляющих систему.

Упорядоченные структуры, которые возникают в процессе самоорганизации, получили названия аттракторов. Аттрактор – это множество в фазовом пространстве системы, которое притягивает все близкие траектории движения. Аттракторы могут быть различных типов: точка, предельный цикл, тор, странный аттрактор. Аттракторы определяют установившийся режим развития системы (статический или динамический), к ним устремляются все переходные режимы, попавшие в область его притяжения. Главной

особенностью таких аттракторов является то, что они всегда лежат на многообразиях, или сами образуют многообразия в фазовом пространстве системы. Следующим важнейшим свойством сложных подсистем является нелинейность. Смысл нелинейности системы заключается в том, что её реакция на то или иное изменение внешней или внутренней среды не пропорциональна этому изменению.

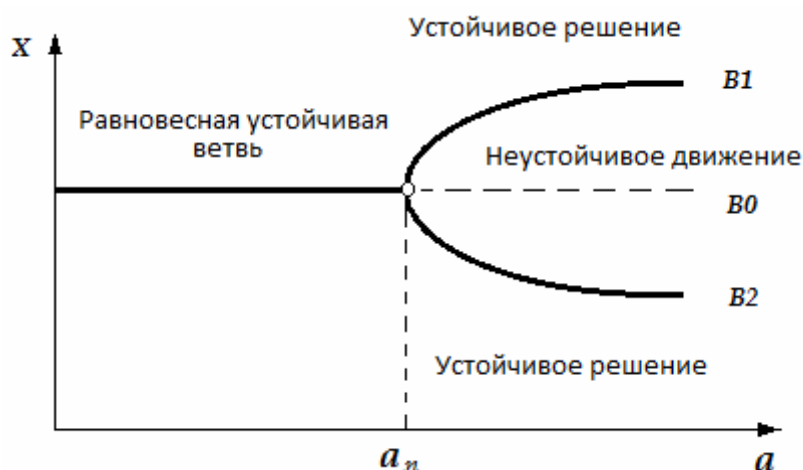


Рисунок 1 - Бифуркация типа «питчфорк»

Применение синергетических методов при построении сценариев обусловлено следующими особенностями сценариев. Во-первых построить эффективные варианты сценариев невозможно не учитывая стратегические аспекты развития сценария, во-вторых при создании сценариев всегда имеет место многовариантность, а это соответствует ситуации бифуркации.

Согласно синергетической концепции, для того чтобы исследуемая система (далее сценарий) могла перейти в новое устойчивое состояние, необходимо текущее состояние сделать неустойчивым. В этом случае благодаря явлению бифуркации при построении сценария возникает выбор из нескольких устойчивых состояний, среди которых, возможно, находится и то, ради которого было оставлено предыдущее. Как известно, явление бифуркации соответствует нелинейному поведению системы, поскольку с математической точки зрения появление выбора из нескольких состояний означает, что уравнение, описывающее эволюцию системы (сценария), имеет несколько стационарных решений, т.е. является нелинейным.

Переход системы из одного устойчивого состояния в другое через неустойчивое и бифуркацию происходит в результате

изменения интервала значений управляющих параметров — постоянных величин, входящих в эволюционное уравнение сценария. С помощью управляющих параметров внешняя среда оказывает воздействие на сценарий.

Изменение управляющих параметров сказывается в первую очередь на изменении направления развития сценария к тому или иному устойчивому состоянию - аттрактору. Таким образом, сценарий согласно синергетической концепции можно представить как последовательность аттракторов, переход между которыми происходит через неустойчивые состояния и бифуркации. Среди аттракторов названной последовательности могут быть, во-первых, нежелательные для системы, и во-вторых, хаотические (странные [7]), в которых процессы разрушения преобладают. Не попасть в область притяжения такого аттрактора или выйти из нее можно только одним способом: изменив значения управляющих параметров. Поскольку не все постоянные (медленно меняющиеся с течением времени) параметры системы являются управляющими, поиск последних и определение интервалов их значений становится весьма актуальной задачей.

Для решения задач исследования сценариев на устойчивость и для моделирования стратегических аспектов при построении сценария наиболее рационально использовать эволюционные модели [5]. Эволюционное уравнение сценария:

$$\frac{dY_i}{dt} = F_i(Y_1 \dots Y_n),$$

где  $Y_i$  - переменные;  $F_i$  - функция переменных, определяемая специфическими особенностями сценария и сценарного пространства;  $n$  - минимальное число переменных, достаточное для описания сценария.

Модель сценария с 2 переменными:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = \alpha Y_2 - \gamma Y_1, \\ \frac{dY_2}{dt} = \mu Y_2 - \beta Y_1 \end{cases}$$

Модель сценария с 3 переменными:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = \alpha Y_2 Y_3 - \gamma Y_1, \\ \frac{dY_2}{dt} = \mu(Y_2 + Y_3) - \beta Y_1 Y_3, \\ \frac{dY_3}{dt} = \delta Y_2 - \lambda Y_3 \end{cases}$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, \mu, \lambda, \delta$  - управляющие параметры. На рис.2 представлен алгоритм применения эволюционных моделей при проектировании сценариев.

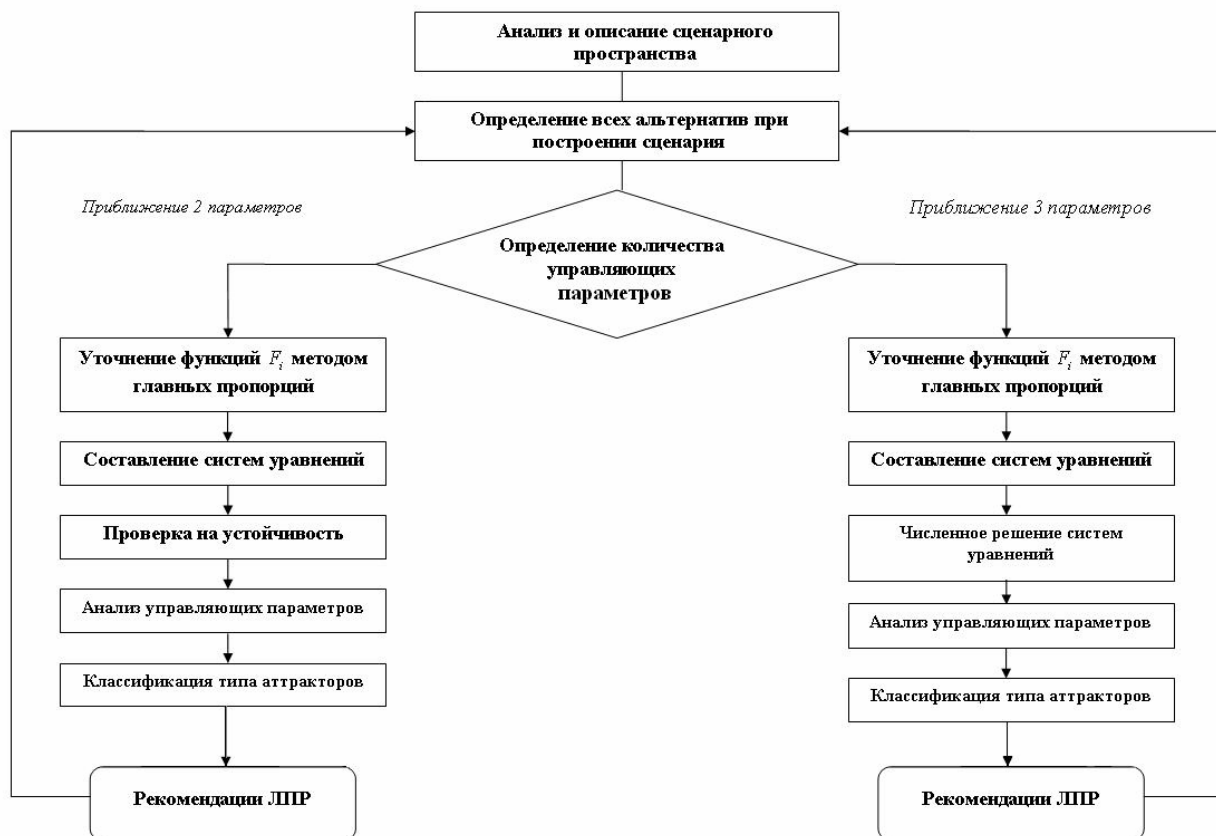


Рисунок 2 - Алгоритм применения эволюционных моделей при проектировании сценариев

Исходя из вышеизложенного необходимо выделить основные этапы использования синергетического подхода при решении задач сценарного планирования:

- Определение границ сценарного пространства.
- Определение основных управляющих параметров.
- Определение инвариантов для сценария.
- Снижение размерности сценарного пространства.
- Составление синергетических моделей сценария.
- Проверка моделей на устойчивость.

Анализ управляющих параметров.

Классификация аттракторов.

Учет возможности сингулярных возмущений.

Установление масштаба времени.

Определение скорости достижения равновесия переменными.

Особенностью предложенного подхода это то, что в математической модели эволюции сценария с помощью управляющих параметров, можно моделировать пути развития сценария и более точно оценивать варианты сценариев, а также рассматривать стратегические вопросы при разработке сценария.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дульнев Г.Н. Введение в синергетику:- СПб.: Прогресс, 1998.
2. Занг В.Б. Синергетическая экономика: Время и перемены в нелинейной экономической теории: Пер. с англ.-М.:Мир. 1999, -335 с.
3. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач.-М.Радио и связь, 1990-544 с.
4. Коваленко И.И., Гожий А.П. Системные технологии генерации и анализа сценариев: Монография. – Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. – 160с.
5. Колесников А.А. Синергетическая теория управления: – М.Энергоатомиздат,1994.
6. Ландгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование Связь между будущим и стратегией.- М.:ЗАО «Олимп-Бизнес», 2009-256 с.
7. Хакен Г. Синергетика. Пер. с англ.-М.:Мир.1980

Получено 22.01.2010г.

УДК 519.5

В.О. Дегтярьов

## АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ НАЙКОРОТШОЇ МЕРЕЖІ КОМУНІКАЦІЙ У ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРІ З ОБМЕЖЕННЯМИ

*Анотація. Стаття присвячена вивченню можливості застосування алгоритмів SFDP та  $A^*$  для вирішення задачі побудови найкоротшої мережі комунікацій в тривимірному просторі. Визначено перелік етапів для створення псевдо оптимальної мережі комунікацій з точки зору її довжини. Практична реалізація методу дала змогу побудувати найкоротші мережі комунікацій для електро- та водопостачання острова Зміїний.*

*Ключові слова: трасування, комунікації, термінали, алгоритми SFDP та  $A^*$ , задача Штейнера.*

Задача побудови найкоротшої мережі комунікацій для множини терміналів в тривимірному просторі відноситься до задач структурно-параметричного синтезу, метою якої є знаходження оптимальної з точки зору довжини та вартості мережі комунікацій [1].

На даний час невідомі алгоритми, які дозволяють вирішити задачу просторового трасування, тому для вирішення задачі пропонується її розбиття на дві під задачі:

Побудова найкоротшої мережі комунікацій для множини терміналів в двовимірному просторі на основі модифікованого алгоритму SFDP.

Побудова псевдо оптимальної мережі комунікацій в тривимірному просторі з використанням алгоритму  $A^*$ .

Якщо на двовимірну задачу накладаються обмеження про те, що елементи комунікацій можуть перетинатися в просторі лише під прямим кутом а також можливим є додавання додаткових терміналів для поєднання елементів комунікацій в просторі, то задача в даній постановці зводиться до прямолінійної задачі Штейнера. Прямолінійна задача Штейнера в загальному випадку є NP повною [2,3], тобто неможливо вирішити задачу для кількості терміналів  $n \rightarrow \infty$  за скінчений час.

Одним із алгоритмів вирішення даної задачі є алгоритм FDP

(Fullset Dynamic Programming), вперше описаний в роботі Генлі [4]. Він використовує спеціальні структури, які називають повними наборами, і реалізує принцип динамічного програмування. Повним набором називають сукупність терміналів, які можна поєднати в мережу, використовуючи одну з топологій Хакімі[5], зображених на рис.1. Часова та ємнісна складність алгоритму складають відповідно  $O(n^3n)$  та  $O(2n)$ .

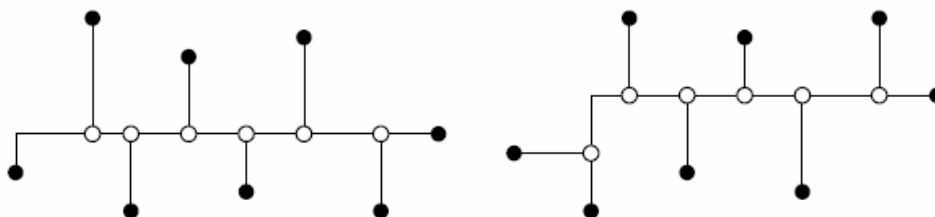


Рисунок 1 - Можливі топології повних наборів Хакімі

Практична реалізація даного алгоритму дозволяє вирішити задачу лише для 15 терміналів за одну добу, що не дозволяє використати її в якості проектної процедури для систем автоматизованого проектування. З метою поліпшення можливостей алгоритму щодо розмірності задачі можна використати алгоритм SFDP (Screened Fullset Dynamic Programming).

Даний алгоритм працює в два основні етапи:

На першому етапі для множини терміналів  $T$ , які необхідно пов'язати мережею комунікацій генеруються всі можливі підмножини. З них відбираються лише ті, які мають одну з можливих топологій Хакімі, з яких формується набір  $F(T)$  можливих варіантів наборів, що мають повні топології, необхідний для роботи другого етапу алгоритму.

На другому етапі відбувається безпосередньо розрахунок найкоротшої мережі для сукупності терміналів. Послідовність кроків для другого етапу алгоритму відображено на рис.2.

- |     |                                                                        |
|-----|------------------------------------------------------------------------|
| (1) | For $m = 3$ to $ T $                                                   |
| (2) | For all $S \subseteq T$ such that $ S  = m$                            |
| (3) | If $(S \in F(T))$ then $\ell[S] =   H(S)  $<br>Else $\ell[S] = \infty$ |
| (4) | Compute $F(S)$                                                         |
| (5) | For all $A, B$ such that $A \in F(S)$ and $A \otimes B = S$            |
| (6) | $\ell[S] = \min\{\ell[S], \ell[A] + \ell[B]\}$                         |

Рисунок 2 - Послідовність кроків другого етапу алгоритму SFDP

Під час виконання алгоритму для множини терміналів  $T$

визначаються всі підмножини  $S$ , будь-якої розмірності  $m$ . На третьому кроці для всіх підмножин  $S$  перевіряється чи належить дана множина до множини повних наборів  $F(T)$ , яка була розрахована на першому етапі виконання алгоритму. Якщо така множина існує, то довжина найкоротшої мережі для неї  $l[S]$  визначається як довжина структури повної топології Хакімі  $\|H(S)\|$ , інакше її значення дорівнює нескінченності. Далі розраховується (вибирається з пам'яті розрахований на першому етапі) набір можливих повних топологій  $F(S)$  для даної підмножини  $S$  та відбувається повний перебір множин  $A$  та  $B$ , для яких виконується умова (1). На останньому кроці обчислюється довжина найкоротшої мережі  $l[S]$  для даної підмножини терміналів  $S$ .

$$A \otimes B = S \equiv \begin{cases} A \cup B = S \\ A \cap B = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Практична реалізація алгоритму SFDP [6], отримана з використанням бінарних строк та контейнерів тар стандартної бібліотеки C++ дозволила отримати результати, наведені на рис.3. Для кількості терміналів  $n < 12$  задача вирішується за час  $t < 1$  сек. Розмірність задачі, що може бути вирішена за добу, збільшується до 22, порівняно з 13 в ранній версії реалізації FDP.

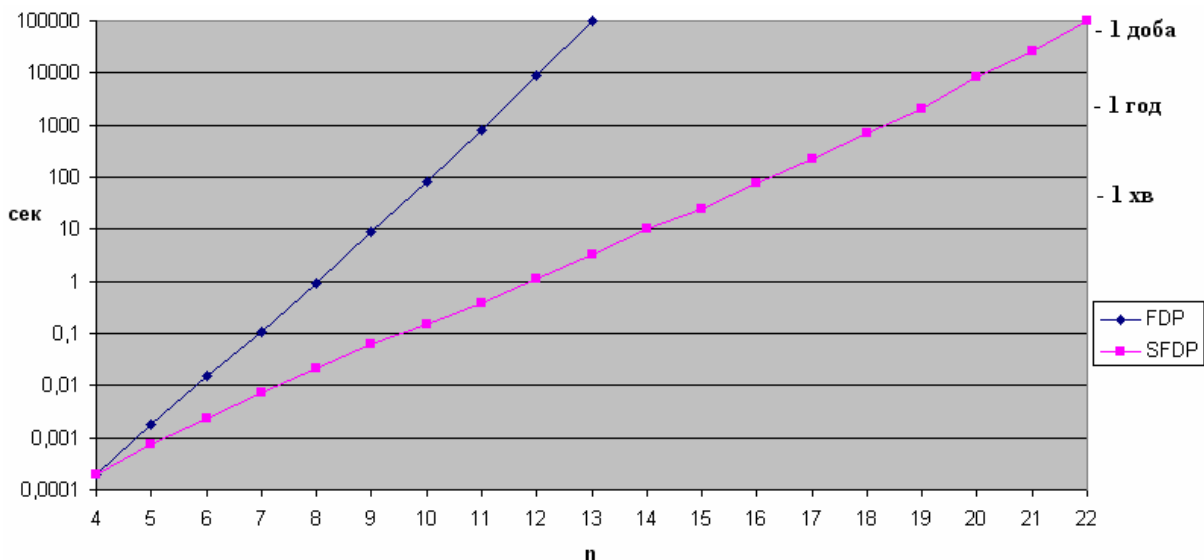


Рисунок 3 - Час вирішення задач різної розмірності

Практично отримані результати дозволяють говорити про можливість застосування даного алгоритму в якості проектної процедури при вирішенні тривимірної задачі проектування найкоротшої мережі комунікацій.

Послідовність кроків для вирішення тривимірної задачі є

наступною:

Виконати проекцію множини терміналів  $N_i(x_i, y_i, z_i)$  на площину  $XOY$ .

Знайти мінімальну довжину мережі комунікацій на площині, за допомогою використання алгоритму SFDP. При визначенні оптимальної структури мережі використовується афінне перетворення повороту координат множини терміналів на довільний кут з метою знаходження найкоротшої мережі. Результатом роботи алгоритму буде перелік точок Штейнера  $P(x_i, y_i)$ , та перелік ребер (елементів комунікацій).

Визначити координату  $z$  для точок Штейнера  $P(x_i, y_i, z_i)$  із застосуванням співвідношення (2)

$$z_c = \frac{1}{3}(z_1 + z_2 + z_3) \quad (2),$$

де  $z_1, z_2, z_3$  – координати  $z$  для терміналів, або точок Штейнера, поєднаних з даною елементами комунікацій (потужність вузла, що представляє точку Штейнера на графі Хакімі завжди дорівнює трьом). В загальному випадку для знаходження  $z$  координат для всіх точок Штейнера треба буде вирішити систему лінійних рівнянь.

Для кожних двох суміжних терміналів множини  $T = N \cup P$  застосувати алгоритм  $A^*$  для знаходження оптимального шляху трасування комунікацій та забезпечення огинання перешкод.

Алгоритм  $A^*$  дозволяє вирішити задачу пошуку найкоротшого шляху між двома терміналами в просторі [7,8]. Даний алгоритм враховує напрям просування до цілі, дозволяє огинати заборонені для трасування зони, є інваріантним до кількості вимірів робочого простору. Алгоритм є евристичним і використовує наступну оцінювальну функцію:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (3),$$

де  $f(n)$  – оцінка поточного стану в процесі пошуку;

$g(n)$  – класична складова оцінки, яка дорівнює довжині пройденого шляху;

$h(n)$  – евристична складова оцінки, яка дорівнює відстані за Манхетеном між поточним положенням пошуку та цільовим терміналом.

Програмна реалізація алгоритму побудови найкоротшої мережі в тривимірному просторі з обмеженнями була застосована для

вирішення задачі створення оптимальної мережі електро- та водопостачання для острова Зміїний. На рис.4 зображена карта острова з переліком резервуарів для води (позначені синім кольором) та промислових чи житлових приміщень (позначені червоним кольором).

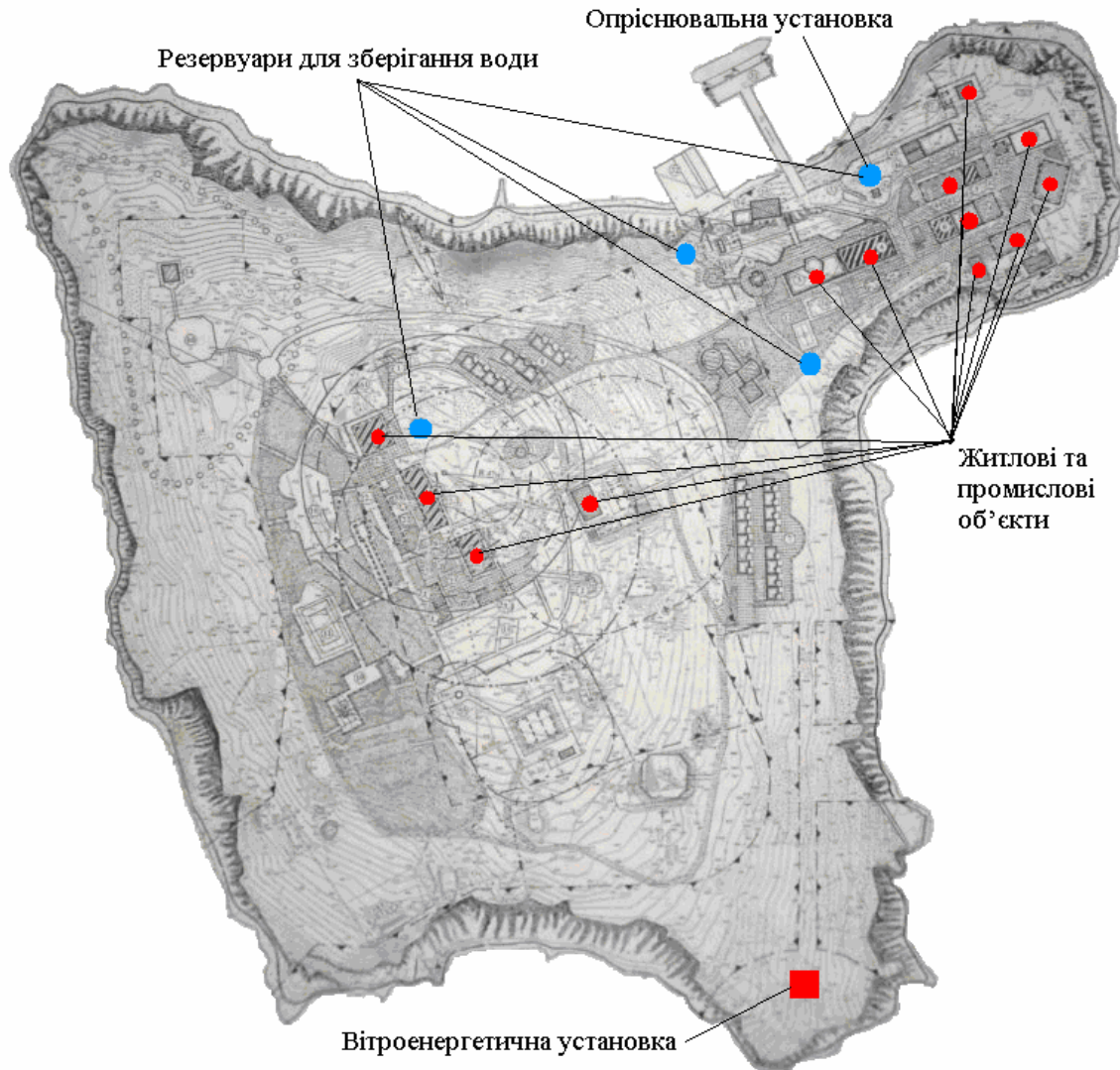


Рисунок 4 - Карта острова Зміїний

Задача трасування комунікацій для острова Зміїний полягає в тому, щоб з'єднати мережею трубопроводів опріснювальну установку, резервуари для води та всі типи приміщень (промислових та житлових); лініями електропередач потрібно поєднати вітроенергетичну установку з усіма споживачами електричної енергії. При цьому враховувати те, що зонами забороненими для трасування є частини робочого простору розташовані нижче рівня землі.

Під час підготовки до трасування комунікацій біла проаналізована тривимірна модель острова Зміїний, вивчено

ландшафт земної поверхні та визначена мінімальна висота над рівнем моря, доступна для трасування для конкретної точки, заданої двовимірними координатами.

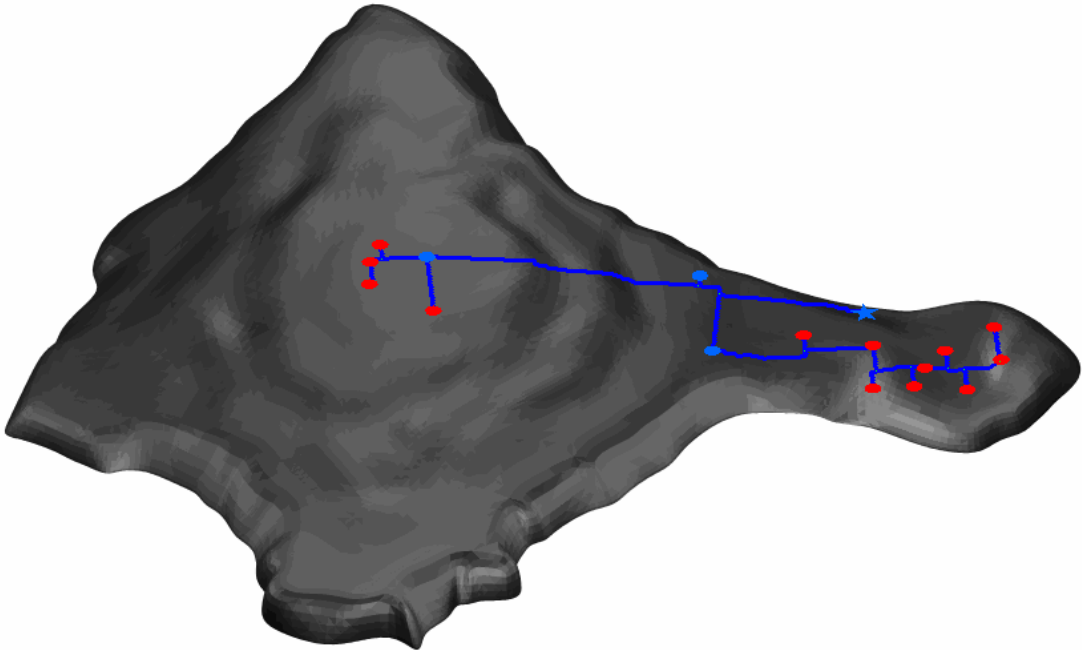


Рисунок 5 - Оптимальна мережа комунікацій для водопостачання острова Зміїний

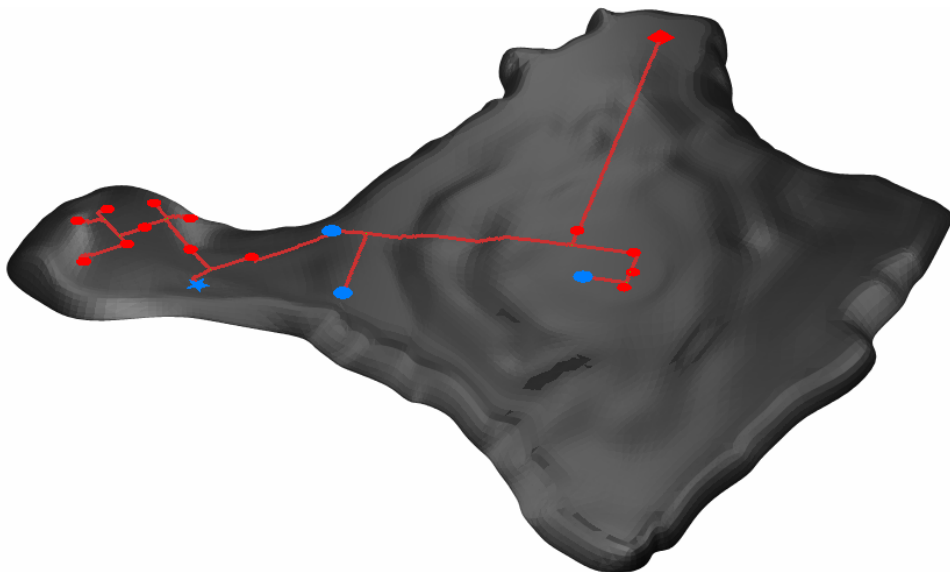


Рисунок 6 - Оптимальна мережа комунікацій для електропостачання острова Зміїний

За допомогою програмної реалізації алгоритму було отримано структуру оптимальних мереж комунікацій електро- та водопостачання острова. Результат роботи програми наведено на рис.5-6.

Таким чином за допомогою застосування алгоритмів SFDP та

A\* вдалося створити базовий алгоритм для побудови псевдо оптимальної мережі комунікацій в тривимірному просторі, який обмежено наявністю заборонених для трасування зон (елементів географічного ландшафту). Напрямами для подальших досліджень є вдосконалення алгоритму з метою врахування інших видів функціональних та технологічних обмежень та розробці процедури для зміни розташування точок Штейнера у випадку їх знаходження у забороненій для трасування частині робочого простору.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 400с.
2. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях / Нечепуренко М.И., Попков В.К., Майнагашев С.М. и др. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. - 515 с.
3. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. - М.: Мир, 1982. - 416 с.
4. J. L. Ganley and J. P. Cohoon. Optimal rectilinear Steiner minimal trees in  $O(n^2 \cdot 62^n)$  time. In Proceedings of the Sixth Canadian Conference on Computational Geometry, pages 308-313, 1994.
5. S. L. Hakimi. Steiner's problem in graphs and its implications. Networks, 1:113-133, 1971.
6. Дегтярьов В.О. Побудова найкоротшої мережі комунікацій у двовимірному просторі із застосуванням алгоритму SFDP. - Мат. конф. „Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій”, Євпаторія: Вид. Херсонського морського інституту, 2007. Том 3. с. 86-88.
7. Stout B. Pathfinding Algorithms. Proceedings of the AAAI 99 Spring Symposium on Artificial Intelligence, 1999.
8. Дегтярьов В.О. Використання алгоритму A\* для знаходження найкоротшого шляху в просторі з обмеженнями. - Наукові праці: Науково методичний журнал. Т. 57. Вип. 44. Комп'ютерні технології. - Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П.Могили, 2006. с. 108-114.

Одержано 15.01.2010р.

УДК 629.013.002.5

О.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ, ПРИЗНАЧЕНОЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВИЛИВНИЦЬ**

*Анотація. Виконано проектувальний розрахунок несучої системи металургійної платформи перспективної конструкції.*

**Постановка проблеми.** Несучі конструкції технологічних платформ, які задіяні при транспортуванні виливниць на металургійних підприємствах, являють собою підкріплені плити, які надзвичайно складні для розрахунків на міцність. З іншого боку нагально постає проблема розробки нових конструкцій, які схематизуються більш простими розрахунковими об'єктами, наприклад, плоско-просторовими рамними системами.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Теоретичному і експериментальному дослідженню несучих систем металургійних платформ присвячений ряд робіт [1 – 5].

**Невирішена частина загальної проблеми.** Виконані дослідження демонструють, що у рамках розв'язання вказаної проблеми не всі стрижневі апроксимації підкріплених плит, до яких вдаються автори, забезпечують надійне сприйняття та передачу внутрішніх зусиль у конструкціях.

Мета роботи, таким чином, полягає у виборі та дослідженні найбільш простої та доступної для розрахунків на міцність стрижневої апроксимації підкріплених плит несучих систем для надійного визначення відповідних параметрів.

**Виклад основного матеріалу.** Розглядається несуча система, котра виконана у вигляді хребтової балки та ряду поперечних балок-стінок [1]. Крок установлення поперечних балок декілька перевищує найбільший габаритний розмір з числа поодиноких піддонів, котрі застосовуються зараз. При такій силовій схемі кожен піддон з внутрішньої сторони спирається на хребтову балку, а з зовнішньої сторони – на консоль поперечної балки. Хребтова балка 6 має П-

подібний профіль, де відстань між поздовжніми стінками приймається, як і в традиційній компоновці, 600мм. Відстань між ковзунами дорівнює 1400мм. Ширина несучої системи дорівнює 2700мм. Довжина залежить від вантажопідйомності платформи.

Деякі конструктивні особливості можуть мати місце в залежності від кількості пар піддонів, які встановлюються по довжині. На рис. 1 і 2 подані несучі системи, які розраховані на 4 і 6 пар відповідно. Всі особливості зводяться до виконання шкворневої зони. У всіх випадках консольна частина платформи виконується рівною половині бази, тоді довжина несучої системи кратна чотирьом.

По конструктивним міркуванням задаємо висоту балок-стінок, тоді їх товщина визначається з умови міцності при вигині [1]:

$$\delta \geq \frac{1,05K_d mg}{n[\sigma](h + \delta_n)^2},$$

де  $\delta$  – товщина балки-стінки, м;

$K_d$  – коефіцієнт динамічності;

$m$  – маса корисного вантажу, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$n$  – кількість пар піддонів на платформі;

$[\sigma]$  – допустиме напруження, Па;

$h$  – висота балки-стінки без врахування товщини полки хребтової балки, м;

$\delta_n$  – товщина полки хребтової балки, м.

Задаючи конструктивно  $b$  і  $h$ , рис.1, отримуємо рівняння відносно товщини стінок і полки хребтової балки з умови міцності при вигині [1]:

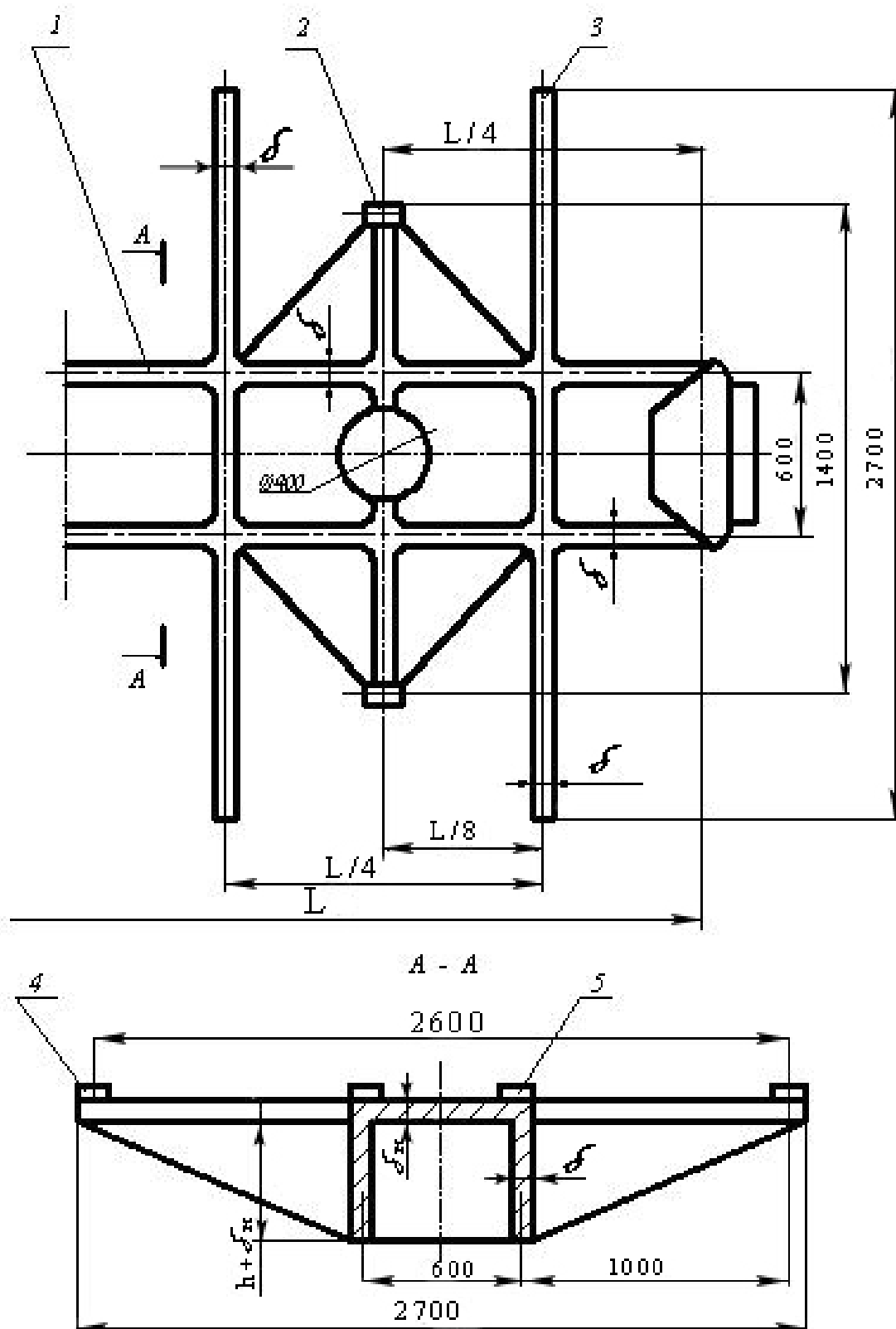
$$A\delta^3 + B\delta^2 + C\delta + D = 0,$$

де  $A = 8[\sigma](b^3 + 5b^2h + 4bh^2)$ ;

$B = 4[\sigma](3 \cdot 2b^2h^2 + 3 \cdot 2bh^3)$ ;

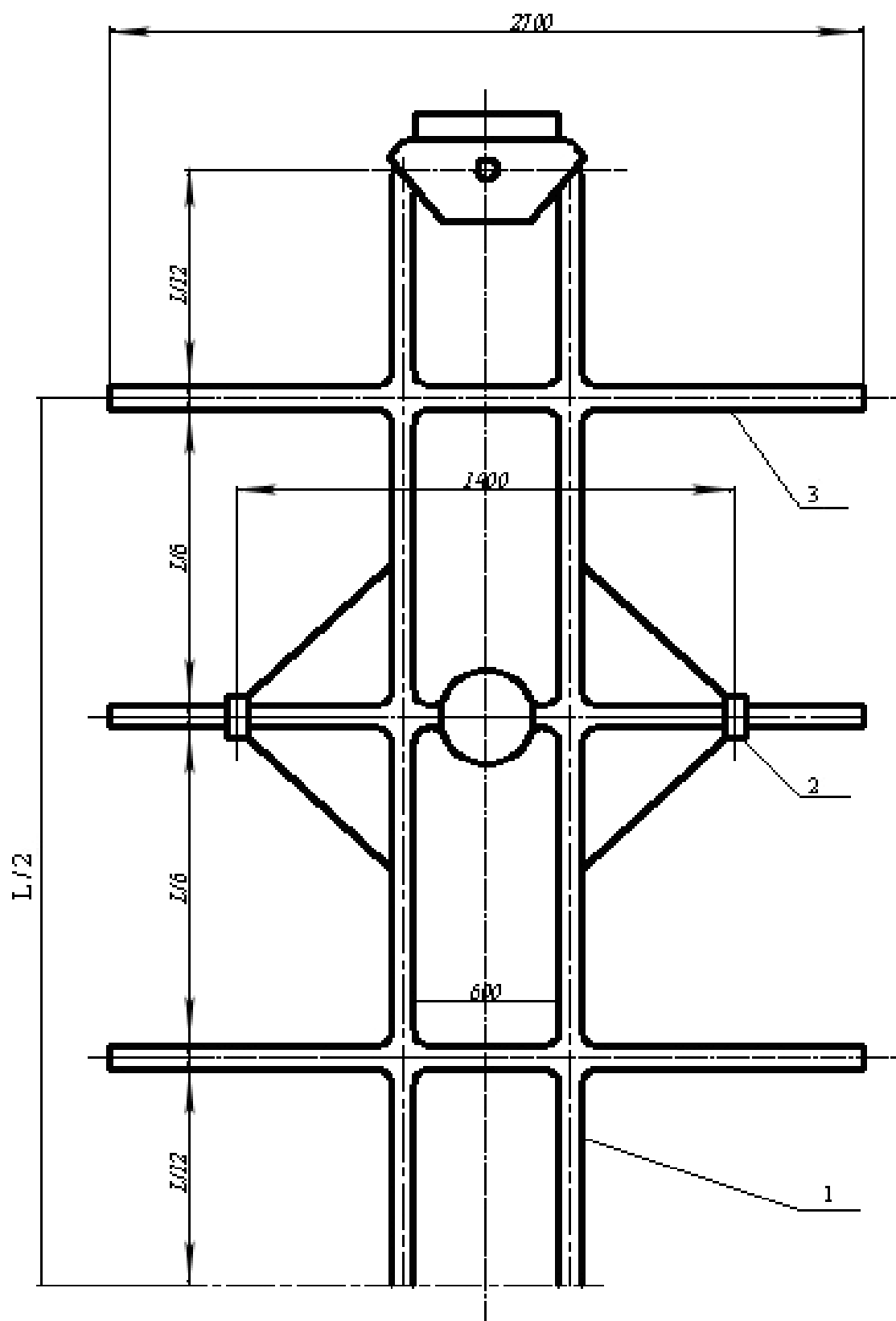
$C = 2[\sigma](4b^2h^3 + 5bh^4 + h^5) - K_d mgL(3 \cdot 2b^2 + 3 \cdot 2bh)/16$ ;

$D = -K_d mgL(18bh^2 + 12b^2h + 3 \cdot 2h^3)/32$ .



1 – хребтова балка; 2 – ковзун; 3 – поперечна балка; 4, 5 – опорні точки

Рисунок 1 – Несуча система, розрахована на 4 пари піддонів.



1 – хребтова балка; 2 – ковзун; 3 – поперечна балка.  
Рисунок 2 – Несуча система, яка розрахована на 6 пар піддонів.

**Висновок.** Запропонована стрижнева апроксимація підкріплених плит несучих систем технологічних платформ, призначених для транспортування виливниць, у вигляді хребтової балки та ряду поперечних балок-стінок являє собою досить простий розрахунковий об'єкт, дозволяє виконувати надійні проектувальні розрахунки на міцність і забезпечує створення несучих систем з раціональною металомісткістю.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бейгул О.А. Несущая способность и расчеты на прочность металлургических платформ / Олег Алексеевич Бейгул. – К.: Ин-т содерж. и мет. обуч. МО Украины, 1997. – 135с.
2. Бейгул О.А. Основы проектирования, расчеты на прочность металлургических платформ. / Олег Алексеевич Бейгул. – К.: Ин-т содерж. и мет. обуч. МО Украины, 1997. – 277с.
3. Бейгул О.А. О новом методе проектирования несущих конструкций металлургических платформ / О.А. Бейгул // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 1998. – №3(88). – С. 95-97.
4. Бейгул О.А. Проектировочный расчет несущей системы металлургической платформы перспективной конструкции / О.А. Бейгул // Придніпровський науковий вісник: Технічні науки. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 1998. – №55(122). – С. 38-42.

Отримано 23.01.2010р.

УДК 669.14.294.014:004.9

А.В. Жаданос, О.Н. Кукушкин, М.И. Гасик

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ АГРЕГАТА КОВШ-ПЕЧЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
СОДЕРЖАНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В  
КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ**

*Аннотация. В результате промышленных экспериментов и последующей обработки экспериментальных данных для конструкционной стали получены регрессионные модели динамики содержания кремния, марганца и углерода в металле в зависимости от количества введенных углеродсодержащих материалов, ферросиликомарганца МнС17, ферросилиция ФС65, что позволяет прогнозировать химический состав стали по этим элементам. По результатам исследований разработана структурная схема автоматизированной информационной системы агрегата ковш-печь.*

*Ключевые слова. Установка ковш-печь, конструкционная сталь, прогнозирование химического состава, регрессионная модель, адекватность модели, автоматизированная информационная система (АИС).*

**Введение**

Постоянное увеличение требований к качеству выплавляемых сталей обуславливает широкое внедрение внепечной обработки. Одним из основных агрегатов внепечной обработки является установка ковш-печь, которая предназначена для десульфурации, легирования, раскисления металла и подогрева его перед последующими технологическими операциями.

Обеспечение стабильного, регламентированного химического состава металла - важнейшая задача обработки стали на установке ковш-печь. При этом необходимо обеспечить рациональный расход легирующих материалов. Химический состав стали по ходу обработки на печи-ковше контролируется лишь путем периодических отборов проб и последующего из анализа в лаборатории (отбор проб перед обработкой и контрольный отбор проб после обработки). Поэтому важно иметь представление о динамике содержания элементов в металле. Решить указанную задачу можно путем прогнозирования конечного содержания элементов при помощи математических

---

© Жаданос А.В., Кукушкин О.Н., Гасик М.И., 2010

моделей.

Существуют два типа моделей, характеризующих динамику содержания химических элементов в металле по ходу внепечной обработки стали: физико-химические модели, базирующиеся на законах термодинамики и кинетики, и регрессионные модели. Достоинством первых является высокая точность прогноза [1,2], но построение таких моделей требует весьма сложных вычислений. К тому же реальные значения термодинамических констант отличаются от теоретических, что требует их последующей коррекции на основании полученных экспериментальных данных. В отличие от физико-химических моделей регрессионные модели менее точны, однако и при их применении, возможно получить результаты, удовлетворяющие требованиям к точности прогнозирования [3].

С учетом того, что требования к содержанию легирующих элементов в конструкционных сталях находятся в довольно широком диапазоне, например, сталь для железнодорожных колес по ГОСТ 10791-2004 содержит (0,55-0,65% C; 0,5-0,9% Mn;  $S \leq 0,02\%$ ; 0,22-0,45% Si;  $P \leq 0,02\%$ ;  $Ni \leq 0,03\%$ ;  $Cu \leq 0,03\%$ ;  $H \leq 2$  ppm [4]), целесообразно для прогнозирования содержания Si, Mn, C разработать статические регрессионные модели.

#### **Построение регрессионных моделей**

Для раскисления и легирования колесной стали применяются следующие материалы: ферросилиций марки ФС65 (63-68% Si) ДСТУ 4127-2002 [5], ферросиликомарганец МнС17 ( $Mn \geq 65\%$ , 15-20% Si) ДСТУ 3548-97 [5] и углерод в виде электродного боя.

С целью построения регрессионных моделей на установке ковш-печь нами были проведены промышленные эксперименты, в ходе которых контролировались следующие параметры:

Масса металла в ковше -  $M_{расп} = 105-115$  т.

Начальное содержание кремния, марганца, углерода в металле перед обработкой в агрегате ковш-печь -  $[Si]_{нач}$ ,  $[Mn]_{нач}$ ,  $[C]_{нач}$ .

Массы вводимых по ходу обработки в расплав ферросилиция, ферросиликомарганца, углерода -  $m_{Ф С65}$ ,  $m_{Мн С17}$ ,  $m_C$ .

Содержание в стали кремния, марганца, углерода по окончании обработки на ковше-печи -  $[Si]_{кон}$ ,  $[Mn]_{кон}$ ,  $[C]_{кон}$ .

Изменение содержания в металле кремния, марганца, углерода -  $\Delta[\text{Si}]$ ,  $\Delta[\text{Mn}]$ ,  $\Delta[\text{C}]$ .

Полученные данные аппроксимированы линейными регрессионными уравнениями с использованием ПЭВМ по методике, приведенной в [6]. Для оценки изменения содержания кремния предложена модель вида

$$\Delta[\text{Si}] = a_1 \cdot m_{\Phi} \text{ C65} + a_2 \cdot m_{\text{Mn}} \text{ C17} + a_3, \quad (1)$$

где  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  – коэффициенты уравнения.

Выполнена оценка степени влияния (значимости) коэффициентов регрессионного уравнения на величину изменения содержания кремния  $\Delta[\text{Si}]$  по критерию Стьюдента. Значение t-статистики для каждого коэффициента уравнения определяли из выражения [7]

$$t_{a_j} = \left| \frac{a_j}{s_{a_j}} \right|, \quad (2)$$

где  $a_j$  – оценка j - го коэффициента регрессии,  $s_{a_j}$  – оценка среднего квадратического отклонения коэффициента регрессии.

Оценки среднего квадратического отклонения коэффициентов регрессии оценивали по формулам [6].

$$s_{a_j} = \frac{s_{\text{ост}}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j)^2}{n} \cdot \sqrt{n - m - 1}}}, \quad s_{a_0} = \frac{s_{\text{ост}}}{\sqrt{n - m - 1}}, \quad (3)$$

где  $n$  – объем выборки,  $m$  – количество входных переменных в уравнении,  $s_{\text{ост}}^2$  – оценка остаточной дисперсии

$$s_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{n - m - 1} \sum_{i=1}^n [y_i - f_i]^2. \quad (4)$$

Полученные значения t-статистики коэффициентов сравнивали с критическим значением  $t_{\text{кр}}$ , которое определяется в зависимости от числа степеней свободы  $k = n - m - 1$  и уровня значимости  $\alpha = 0,95$  по специальным таблицам [8]. Если  $|t_{a_j}| \geq t_{\text{кр}}$ , то коэффициент считают значимым.

В результате вычислений получены значения t-статистики

коэффициентов уравнения (1):  $t_{a_1} = 18,7$ ;  $t_{a_2} = 5,3$ ;  $t_{a_0} = 5,5$ . Так как значение  $t$ -статистики коэффициентов больше критического  $t_{кр} = 1,98$ , то все коэффициенты уравнения значимы.

Также выполнена оценка адекватности регрессионной модели по критерию Фишера, суть проверки заключается в том, что для полученной регрессионной модели вычисляется значение  $F$  – статистики из выражения [9]:

$$F_{расч} = \left( \frac{S_{регр}}{S_{ост}} \right) \cdot \left( \frac{k_2}{k_1} \right), \quad (5)$$

где  $k_1 = m$ ,  $k_2 = n - 2$  степенями свободы.

Если вычисленное по формуле (5) значение  $F$  – статистики превышает критическое значение распределения Фишера  $F_{кр}$ , то уравнение считают значимым.  $F_{кр}$  для заданного уровня значимости  $\alpha = 0,05$  и степеней свободы  $k_1$ ,  $k_2$  определяется по специальным таблицам распределения, например, [8].

В результате вычислений получены следующие значения  $F_{расч} = 195$ , а  $F_{кр} = 3,1$  т.е. уравнение (1) значимо, а численные значения коэффициентов  $a_1 = 3,2 \cdot 10^{-4}$  и  $a_2 = 12,6 \cdot 10^{-5}$ ,  $a_3 = -0,039$  (рис. 1). Коэффициент детерминированности  $r^2$  полученной модели составил 0,82, а абсолютная погрешность прогноза – 0,06%.

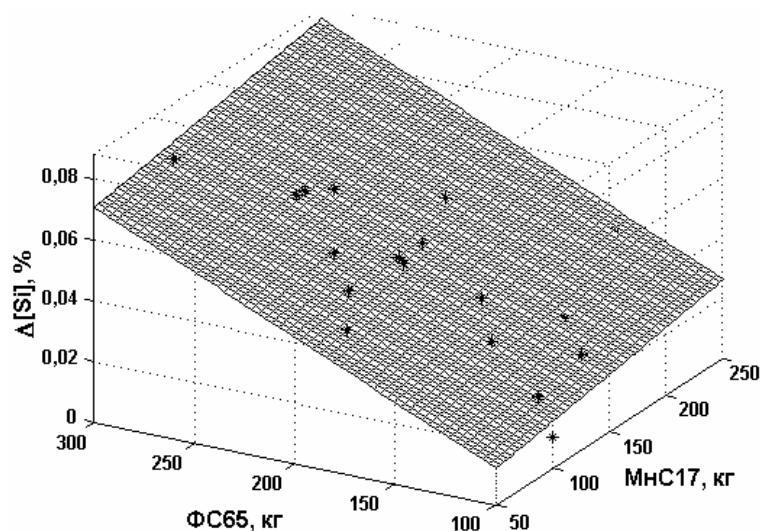


Рисунок 1 - Изменение содержания Si в стали в зависимости от количества введенного ферросилиция - ФС65 и ферросиликомарганца - МnC17

Аналогично получены регрессионные модели изменения

содержания марганца и углерода (рис. 2, 3) с коэффициентами детерминированности  $r^2 = 0,81$  и  $0,73$  соответственно. Абсолютная погрешность прогноза по  $[Mn]$  составляет  $0,05\%$ , а по  $[C]$  -  $0,03\%$ , что удовлетворяет требованиям к модели.

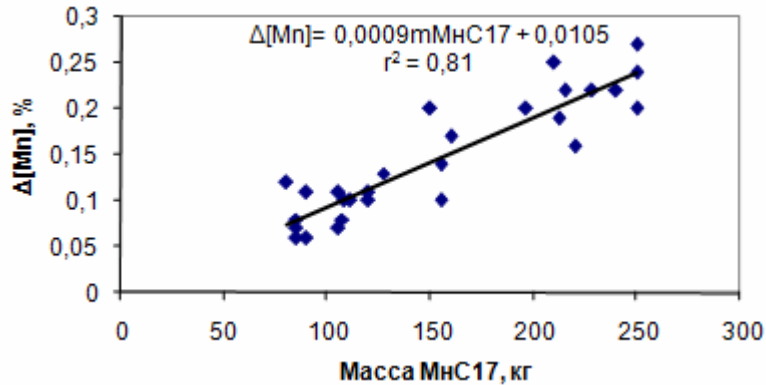


Рисунок 2 - Изменение содержания Mn в стали в зависимости от количества введенного ферросиликомарганца - MnC17

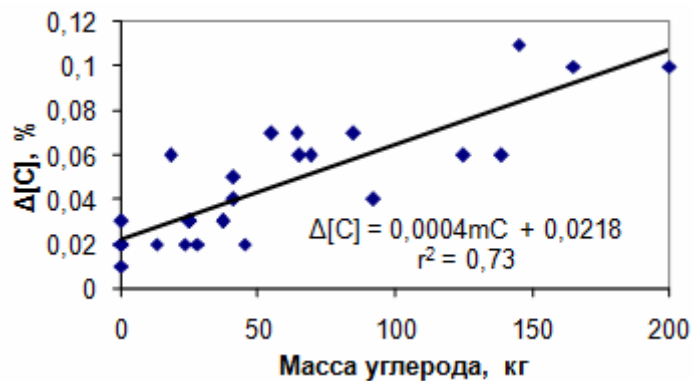


Рисунок 3 - Изменение содержания C в стали

### Структурная схема автоматизированной информационной системы

Для реализации полученных моделей в составе действующей АСУ установки ковш-печь предлагается автоматизированная информационная система (АИС) (рис. 1).

Основное назначение АИС заключается в выдаче оператору на пульт управления информации о текущем содержании углерода ( $[C]_t$ ), кремния ( $[Si]_t$ ), марганца ( $[Mn]_t$ ) в металле по ходу его обработки в агрегате ковш-печь и рекомендаций по количеству вводимых в расплав С ( $mC_{рек}$ ), ФС65 ( $mФ С65_{рек}$ ), MnC17 ( $m Mn C17_{рек}$ ). АИС состоит из следующих подсистем: «прогноз по  $\Delta[C]$ »; «прогноз по  $\Delta[Si]$ »; «прогноз по  $\Delta[Mn]$ »; «расчет

$[C]_t$ »; «расчет  $[Si]_t$ »; «расчет  $[Mn]_t$ »; «рекомендации по  $mC$ »; «рекомендации по  $mMnC17$ »; «рекомендации по  $m\Phi C65$ ». Входными параметрами системы являются:  $[Si]_{нач}$ ,  $[Mn]_{нач}$ ,  $[C]_{нач}$  (результаты замеров поступают в систему математических моделей через ПМК); количество, время и вид вводимых в расплав химических добавок  $mC_t$ ,  $m\Phi C65_t$ ,  $mMnC17_t$ , целевые значения изменения содержания Si, Mn, C -  $[Si]_{кон.цель}$ ,  $[Mn]_{кон.цель}$ ,  $[C]_{кон.цель}$  (задаются оператором УКП). Выше перечисленные входные и конечные выходные параметры подсистем совместно с результатами выполняемых промежуточных замеров дополнительно передаются в подсистему «архивации данных». В случае изменения технологии внепечной обработки наличие подсистемы «архивации данных» позволяет выполнить автоматическую коррекцию коэффициентов моделей, заложенных в подсистемы автоматизированной информационной системы.

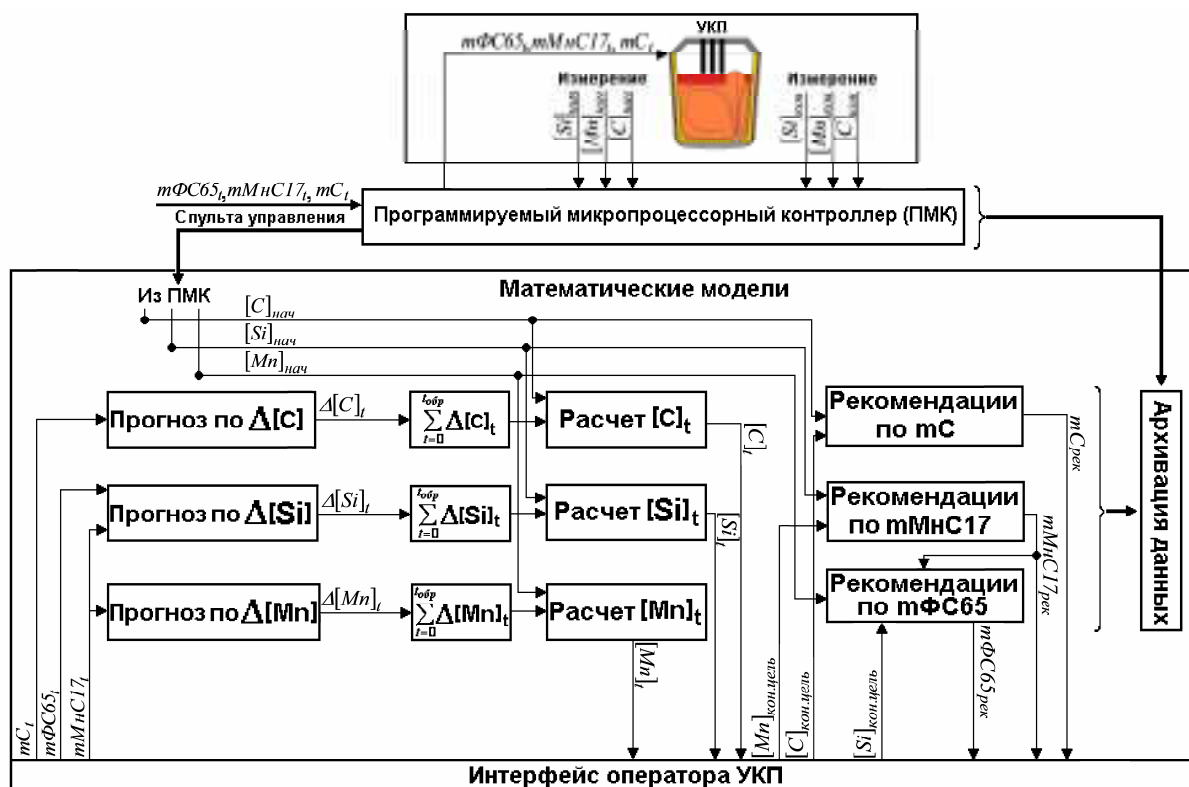


Рисунок 4 – Структурная схема АИС

Данная система реализуется путем интеграции в существующую АСУ ТП участка внепечной обработки стали промышленного компьютера с заложенными в него математическими

моделями.

### Выводы

Полученные в работе регрессионные модели позволяют прогнозировать содержание кремния, марганца и углерода в стали по ходу обработки в агрегате ковш-печь.

Разработана структурная схема автоматизированной информационной системы установки ковш-печь для реализации в составе АСУ ТП внепечной обработки стали. Основное назначение автоматизированной информационной системы заключается в выдаче оператору на пульт управления информации о текущем содержании углерода, кремния, марганца в металле по ходу его обработки в агрегате ковш-печь и рекомендаций по количеству вводимых в расплав углерода, ферросиликомарганца, ферросилиция.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленное освоение компьютерного управления выплавкой стали на БМЗ и ММЗ на основе физико-химической модели ОРАКУЛ / А.Г. Пономаренко, М.П. Гуляев, И.В. Деревянченко [и др.] // Труды пятого конгресса сталеплавателей, г. Рыбница, 14-17 октября 1998 г. – М.: Черметинформация, 1999 - С. 174-177.
2. Казаков С.В. Прогнозирование состава стальных расплавов во время выплавки и внепечной обработки / С.В. Казаков // Металл и литье Украины. – 2005. - №3-4. – С. 17-20.
3. Вихлевщук В.А. Ковшевая доводка стали / В.А. Вихлевщук, В.С. Харахулах, С.С. Бродский. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2000 - 190 с.
4. Колеса цельнокатаные. Технические условия: ГОСТ 10791-2004. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации 2004. – 10 с.
5. Гасик М.И. Физикохимия и технология электроферросплавов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005. – 448 с.
6. Кукушкин О.Н. Статистика в Excel / О.Н. Кукушкин, С.В. Бейцун, А.В. Жаданос - Днепропетровск: НМетАУ, 2002. - 64 с.
7. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов / В.П. Цымбал - М.: Металлургия, 1986. - 240 с.
8. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов - М.: Наука, 1965. - 464 с.
9. Математическая статистика: / В.М. Иванова, В.М. Калинина, Л.А. Нешумова [и др.]. - 2-е изд, перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1981. - 371 с.

Получено 24.01.2010г.

УДК 65.01:65.012

И.И. Коваленко, А.В. Швед

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУППОВЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНЫХ РОБАСТНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР**

*Аннотация. Рассмотрена задача выделения из исходной неоднородной совокупности оценок экспертов её однородной составляющей на основе адаптивных робастных процедур статистического оценивания. Предложенный подход позволяет проводить более детальный анализ групповых экспертных оценок, формируемых в рамках абсолютной шкалы измерений. Что в свою очередь повышает эффективность принятия решений по их согласованности или несогласованности.*

**Введение.** Анализ групповых экспертных оценок направлен, прежде всего, на определение степени их согласованности, по результатам которой формируются коллективные решения. Одним из признаков согласованности экспертных оценок может быть наличие унимодальности и симметричности функции плотности распределения вероятностей, построенной по числовым значениям таких оценок, когда эксперты работают в абсолютной шкале измерений.

Однако, достаточно часто, в составе группы экспертов присутствуют такие, чьи оценки по величине могут отличаться от оценок основной группы. Такие оценки в прикладной статистике квалифицируются как «резко выделяющиеся», «сомнительные», «подозрительные» и др. [1]. Их присутствие в общей совокупности групповых экспертных оценок нарушает её однородность. Поэтому возникает задача выделения из исходной неоднородной совокупности оценок её однородной составляющей, для последующего статистического оценивания. Для решения такой задачи, например, широко используется метод максимального правдоподобия, однако он основан на информации о законе распределения данных, что в свою очередь, требует наличия достаточно большого объема выборок значений ( $n \geq 100$ ). Учитывая то, что число экспертов, принимающих участие в экспертизе, как правило, составляет  $m \leq 30$  [2-4], то соответствующая совокупность их оценок не всегда позволяет

---

© Коваленко И.И., Швед А.В., 2010

гарантированно получить функцию распределения со строгим законом распределения.

В такой ситуации для решения указанной задачи целесообразно использовать адаптивные робастные процедуры статистического оценивания.

**Постановка задачи.** Пусть группа экспертов сформировала некоторую совокупность оценок  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_n\}$ , которая может состоять из ряда подсовокупностей  $X_1 \subseteq X$ ,  $X_2 \subseteq X$ , ...,  $X_k \subseteq X$  оценок, принадлежащих различным подгруппам экспертов. Требуется определить такое пороговое решающее правило, которое позволит разделить исходную совокупность  $X$  на ряд подмножеств вида:

$$x_i \in \begin{cases} X_1, \text{ если } x_i \geq p_1; \\ X_2, \text{ если } x_i \geq p_2; \\ \dots\dots\dots \\ X_k, \text{ если } x_i \geq p_k. \end{cases} \quad (1)$$

где  $p_1, p_2, \dots, p_k$  – значение порогов равные определенным значениям  $x_i$ .

**Изложение основного материала.** Для решения поставленной задачи воспользуемся двумя адаптивными робастными статистическими процедурами, основанными на расчете эксцесса и асимметрии [5-7]:

$$T_1 = \begin{cases} T^c(0, 25), & k < 2, 0; \\ T(0), & 2, 0 \leq k \leq 4, 0; \\ T(0, 25), & 4, 0 < k \leq 5, 5; \\ T(0, 5), & 5, 5 < k. \end{cases} \quad (2)$$

$$T_2 = \begin{cases} T^c(0, 25), & Q < 2, 0; \\ T(0), & 2, 0 \leq Q \leq 2, 6; \\ T(0, 1875), & 2, 6 < Q \leq 3, 2; \\ T(0, 375), & Q > 3, 2. \end{cases} \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3) использованы следующие обозначения:  $k$  – выборочный эксцесс;  $T_s(\alpha)$  – среднее, построенное по  $[\alpha \cdot n]$  старшим и  $[\alpha \cdot n]$  младшим значениям вариационного ряда, вида [6,8]:

$$T^c(\alpha) = \left( \frac{1}{2\alpha n} \right) \left\{ \sum_{i=1}^{[\alpha n]} (x_{(i)} + x_{(n-i+1)}) + (\alpha n - [\alpha n])(x_{([\alpha n]+1)} + x_{(n-[\alpha n])}) \right\}; \quad (4)$$

$n$  – объем вариационного ряда вида  $x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(i) \leq \dots \leq x(n)$ ,

построенного по значениям совокупности  $X$ ;  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 0,5$ ) – константа усечения.  $T(0) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  – выборочное среднее.  $T(\alpha)$  – усеченное среднее с уровнем усечения  $g=1+[\alpha \cdot n]$ ,  $r=g-[\alpha \cdot n]$ , вида [6,8,9]:

$$T(\alpha) = \frac{1}{\{n(1-2\alpha)\}} (rx_{(g)} + \sum_{i=g+1}^{n-g} x_{(i)} + rx_{(n-g+1)}), \quad (5)$$

где  $[\alpha \cdot n]$  – наибольшее целое, не превосходящее  $\alpha \cdot n$  и  $\alpha_1=0,1875$ ,  $\alpha_2=0,25$ ,  $\alpha_3=0,375$ .  $T(\alpha=0,5)=\text{med}$  – выборочная медиана:

$$\text{med} = \begin{cases} x_{((n+1)/2)}, & \text{если } n - \text{нечетное,} \\ (x_{(n/2)} + x_{(1+n/2)}) / 2, & \text{если } n - \text{четное.} \end{cases} \quad (6)$$

$Q = \frac{U_{(0,05)} - L_{(0,05)}}{U_{(0,5)} - L_{(0,5)}}$  – статистика, характеризующая асимметрию распределения [5,7,10-14]. Здесь  $U(\alpha)$  – среднее значение  $[\alpha \cdot n]$ , ( $\alpha_1=0,05$  и  $\alpha_2=0,5$ ) старших членов вариационного ряда;  $L(\alpha)$  – среднее  $[\alpha \cdot n]$ , ( $\alpha_1=0,05$  и  $\alpha_2=0,5$ ) младших членов вариационного ряда.

Основная идея рассмотренных процедур (2) и (3) заключается в том, что в зависимости от значений  $k$  и  $Q$  выбирается и подсчитывается одна из перечисленных оценок типа «среднее».

Принцип усечения значений вариационного ряда, заложенный в построение рассмотренных оценок, может быть использован в решающих правилах разбиения исходной совокупности экспертных оценок  $X$ .

Рассмотрим теперь процесс разбиения значений вариационного ряда  $x(i)$ ,  $i=1, n$  на подсовокупности. По полученным величинам  $k$  и  $Q$  назначаются уровни усечения  $\alpha$ , что позволяет представить исходный вариационный ряд в таком виде:

$$X_{(i)} = \begin{cases} (x_{(1)}, x_{(\alpha_1 n)}), (x_{([\alpha_1 n]+1)}, x_{(3\alpha_1 n)}), \\ (x_{([3\alpha_1 n]+1)}, x_{(n)}), & k < 2, \\ (x_{(1)}, x_{(n)}), & 2 \leq k \leq 4, \\ (x_{(1)}, x_{(\alpha_1 n)}), (x_{([\alpha_1 n]+1)}, x_{(3\alpha_1 n)}), \\ (x_{([3\alpha_1 n]+1)}, x_{(n)}), & 4 \leq k \leq 5,5, \\ (x_{(1)}, x_{(\alpha_2 n)}), (x_{([\alpha_2 n]+1)}), & k > 5,5. \end{cases} \quad (7)$$

$$X_{(i)} = \begin{cases} (x_{(1)}, x_{(\alpha_3 n)}), (x_{([\alpha_3 n]+1)}, x_{(3\alpha_3 n)}), \\ (x_{([3\alpha_3 n]+1)}, x_{(n)}), Q < 2, \\ (x_{(1)}, x_{(n)}), 2 \leq Q \leq 2,6, \\ (x_{(1)}, x_{(\alpha_3 n)}), (x_{([\alpha_3 n]+1)}, x_{(n-[3\alpha n])}), \\ (x_{(n-[3\alpha n]+1)}, x_{(n)}), 2,6 < Q \leq 3,2, \\ (x_{(1)}, x_{(\alpha_4 n)}), (x_{([\alpha_4 n]+1)}, x_{(n-[4\alpha n])}), \\ (x_{(n-[4\alpha n]+1)}, x_{(n)}), Q > 3,2. \end{cases} \quad (8)$$

Используя разные сочетания величин  $k$  и  $Q$  для значений  $\alpha$ , можно получить более детальное разбиение вариационного ряда.

Рассмотрим последовательно такие процедуры:

При  $2,0 \leq k \leq 4,0$  и  $2,0 \leq Q \leq 2,6$  имеем

$$[x_{(1)}, x_{(n)}] \in X_0. \quad (9)$$

Это означает, что ряд не урезается, его значения однородны и степень согласованности экспертных оценок высокая.

При  $k < 2,0$  и  $2,6 < Q \leq 3,2$  имеем  $X = \{X_1, X_0, X_2\}$ ,  $X'_1 \subset X_1, X'_2 \subset X_2$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,25n)}] &\in X_1, [x_{(0,25n+1)}, x_{(0,75n)}] \in X_0, \\ [x_{(0,75n+1)}, x_{(n)}] &\in X_2, \end{aligned} \quad (10)$$

$$[x_{(1)}, x_{(0,1875n)}] \in X'_1, [x_{(0,8125n+1)}, x_{(n)}] \in X'_2.$$

При  $k < 2,0$  и  $Q > 3,2$  имеем  $X = \{X_1, X_0, X_2\}$ ,  $X'_1 \subset X_1, X'_2 \subset X_2$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,375n)}] &\in X_1, [x_{(0,375n+1)}, x_{(0,625n)}] \in X_0, \\ [x_{(0,625n+1)}, x_{(n)}] &\in X_2, \end{aligned} \quad (11)$$

$$[x_{(1)}, x_{(0,25n)}] \in X'_1, [x_{(0,75n+1)}, x_{(n)}] \in X'_2.$$

При  $k < 2,0$  и  $Q < 2,0$  имеем  $X = \{X_1, X_0, X_2\}$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,25n)}] &\in X_1, \\ [x_{(0,25n+1)}, x_{(0,75n)}] &\in X_0, \end{aligned} \quad (12)$$

$$[x_{(0,75n+1)}, x_{(n)}] \in X_2.$$

При  $4,0 < k \leq 5,5$  и  $Q < 2,0$  имеем  $X = \{X_1, X_0, X_2\}$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,25n)}] &\in X_1, \\ [x_{(0,25n+1)}, x_{(0,75n)}] &\in X_0, \end{aligned} \quad (13)$$

$$[x_{(0,75n+1)}, x_{(n)}] \in X_2.$$

При  $4,0 < k \leq 5,5$  и  $2,6 < Q \leq 3,2$  имеем  $X = \{X_1, X_0, X_2\}$ ,  
 $X'_1 \subset X_1, X'_2 \subset X_2$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,25n)}] &\in X_1, \\ [x_{(0,25n+1)}, x_{(0,75n)}] &\in X_0, [x_{(0,75n+1)}, x_{(n)}] \in X_2, \\ [x_{(1)}, x_{(0,1875n)}] &\in X'_1, [x_{(0,8125n+1)}, x_{(n)}] \in X'_2. \end{aligned} \quad (14)$$

При  $4,0 < k \leq 5,5$  и  $Q > 3,2$  имеем  $X = \{X_1, X_0, X_2\}$ ,  
 $X'_1 \subset X_1, X'_2 \subset X_2$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,375n)}] &\in X_1, [x_{(0,375n+1)}, x_{(0,625n)}] \in X_0, \\ [x_{(0,625n+1)}, x_{(n)}] &\in X_2, \\ [x_{(1)}, x_{(0,25n)}] &\in X'_1, [x_{(0,75n+1)}, x_{(n)}] \in X'_2. \end{aligned} \quad (15)$$

При  $k > 5,5$  и  $Q < 2,0$  имеем  $X = \{X_1, X_2\}$ ,  $X'_1 \subset X_1, X'_2 \subset X_2$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,5n)}] &\in X_1, [x_{(0,5n+1)}, x_{(n)}] \in X_2, \\ [x_{(1)}, x_{(0,25n)}] &\in X'_1, [x_{(0,75n+1)}, x_{(n)}] \in X'_2. \end{aligned} \quad (16)$$

При  $k > 5,5$  и  $2,6 < Q \leq 3,2$  имеем  $X = \{X_1, X_2\}$ ,  
 $X'_1 \subset X_1, X'_2 \subset X_2$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,5n)}] &\in X_1, [x_{(0,5n+1)}, x_{(n)}] \in X_2, \\ [x_{(1)}, x_{(0,1875n)}] &\in X'_1, [x_{(0,8125n+1)}, x_{(n)}] \in X'_2. \end{aligned} \quad (17)$$

При  $k > 5,5$  и  $Q > 3,2$  имеем  $X = \{X_1, X_2\}$ ,  $X'_1 \subset X_1, X'_2 \subset X_2$ ,

$$\begin{aligned} [x_{(1)}, x_{(0,5n)}] &\in X_1, [x_{(0,5n+1)}, x_{(n)}] \in X_2, \\ [x_{(1)}, x_{(0,375n)}] &\in X'_1, [x_{(0,625n+1)}, x_{(n)}] \in X'_2. \end{aligned} \quad (18)$$

В приведенных выражениях (9) – (18) подмножество  $X_0$  характеризует однородную составляющую вариационного ряда, что доказывает высокую степень согласованности экспертных оценок. Составляющие ряда  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X'_1$ ,  $X'_2$  характеризуют группы экспертов, оценки которых в некоторой мере отличаются от оценок основной группы экспертов в силу принятого изначального положения про унимодальность функции плотности распределения.

Рассмотрим числовой пример разбиения вариационного ряда, построенного по выборкам значений экспертных оценок, представленных в таблице 1. Для проведения анализа выберем, например, оценки стоящие по главной диагонали таблицы 1, т.е.:

$T^c(\alpha = 0,25)$  при  $k < 2,0$  и  $Q < 2,0$ ;  $T(\alpha = 0)$  при  $2,0 \leq k \leq 4,0$  и  $2,0 \leq Q \leq 2,6$ ;  $T(\alpha = 0,25)$  при  $4,0 < k \leq 5,5$  и  $2,6 < Q \leq 3,2$ ;  $T(\alpha = 0,5)$  при  $k > 5,5$  и  $Q > 3,2$ .

Таблица 1

Попарное представление оценок в зависимости от величин  $k$  и  $Q$

|                                            | $k < 2,0$<br>$T^c(\alpha = 0,25)$            | $2,0 \leq k \leq 4,0$<br>$T(\alpha = 0)$ | $4,0 < k \leq 5,5$<br>$T(\alpha = 0,25)$   | $k > 5,5$<br>$T(\alpha = 0,5)$            |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| $Q < 2,0$<br>$T^c(\alpha = 0,25)$          | $T^c(\alpha = 0,25)$                         | $T(\alpha = 0)$<br>$T^c(\alpha = 0,25)$  | $T(\alpha = 0,25)$<br>$T^c(\alpha = 0,25)$ | $T^c(\alpha = 0,25)$<br>$T(\alpha = 0,5)$ |
| $2,0 \leq Q \leq 2,6$<br>$T(\alpha = 0)$   | $T(\alpha = 0)$<br>$T^c(\alpha = 0,25)$      | $T(\alpha = 0)$                          | $T(\alpha = 0)$<br>$T(\alpha = 0,25)$      | $T(\alpha = 0)$<br>$T(\alpha = 0,5)$      |
| $2,6 < Q \leq 3,2$<br>$T(\alpha = 0,1875)$ | $T(\alpha = 0,1875)$<br>$T^c(\alpha = 0,25)$ | $T(\alpha = 0)$<br>$T(\alpha = 0,1875)$  | $T(\alpha = 0,1875)$<br>$T(\alpha = 0,25)$ | $T(\alpha = 0,1875)$<br>$T(\alpha = 0,5)$ |
| $Q > 3,2$<br>$T(\alpha = 0,375)$           | $T^c(\alpha = 0,25)$<br>$T(\alpha = 0,375)$  | $T(\alpha = 0)$<br>$T(\alpha = 0,375)$   | $T(\alpha = 0,25)$<br>$T(\alpha = 0,375)$  | $T(\alpha = 0,375)$<br>$T(\alpha = 0,5)$  |

Процедуры формирования уровней усечения  $m=[\alpha \cdot n]$ , лежащих в основе разбиения ряда, показаны на рис.1.

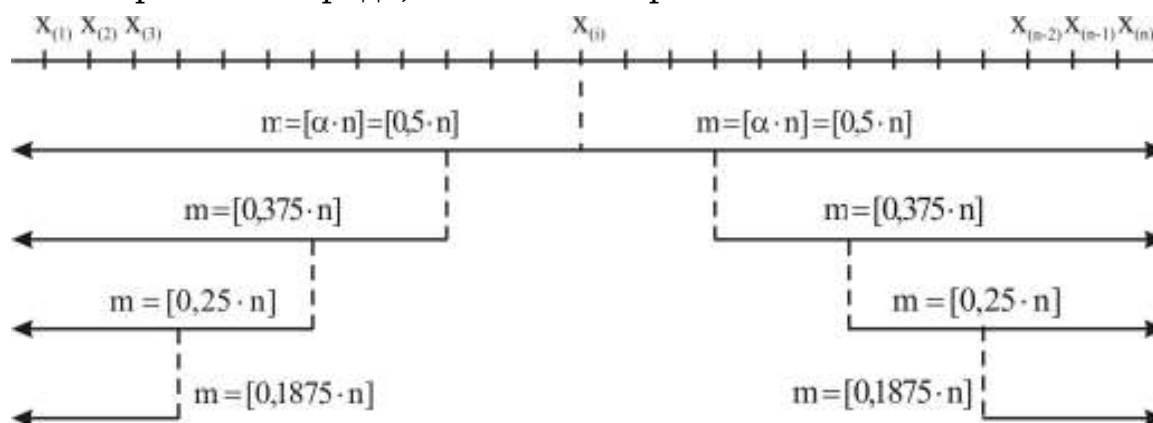


Рисунок 1 – Графическое представление процедур формирования уровней усечения вариационного ряда

Виды исследуемых выборок экспертных оценок, состоящие из однородной выборки; выборки с «сомнительными» значениями; выборки с «резко выделяющимися» значениями и комбинированной выборки, включающей в себя как «сомнительные», так и «резко выделяющиеся» значения, даны в таблице 2.

Таблица 2

## Виды исследуемых выборок экспертных оценок

|    | I | II | III | IV |    | I | II | III | IV |    | I | II | III | IV |
|----|---|----|-----|----|----|---|----|-----|----|----|---|----|-----|----|
| 1  | 2 | 2  | 2   | 2  | 11 | 6 | 16 | 6   | 12 | 21 | 4 | 4  | 4   | 4  |
| 2  | 2 | 2  | 2   | 2  | 12 | 6 | 6  | 6   | 6  | 22 | 4 | 4  | 4   | 4  |
| 3  | 4 | 4  | 4   | 4  | 13 | 7 | 14 | 72  | 21 | 23 | 5 | 16 | 5   | 5  |
| 4  | 3 | 3  | 3   | 3  | 14 | 7 | 17 | 7   | 17 | 24 | 5 | 13 | 96  | 96 |
| 5  | 3 | 3  | 3   | 3  | 15 | 5 | 5  | 5   | 5  | 25 | 7 | 7  | 7   | 7  |
| 6  | 5 | 15 | 5   | 15 | 16 | 5 | 5  | 5   | 5  |    |   |    |     |    |
| 7  | 8 | 8  | 8   | 8  | 17 | 4 | 4  | 4   | 4  |    |   |    |     |    |
| 8  | 8 | 16 | 56  | 56 | 18 | 2 | 2  | 2   | 2  |    |   |    |     |    |
| 9  | 8 | 8  | 8   | 8  | 19 | 4 | 4  | 4   | 4  |    |   |    |     |    |
| 10 | 6 | 6  | 6   | 6  | 20 | 3 | 3  | 3   | 3  |    |   |    |     |    |

I – однородная выборка значений экспертных оценок;

II – выборка экспертных оценок с «сомнительными» значениями;

III – выборка экспертных оценок с «резко выделяющимися» значениями;

IV – комбинированная выборка значений экспертных оценок.

Рассмотрим схему разбиения вариационного ряда, построенного по числовой выборке экспертных оценок содержащей «сомнительные» значения (таблица 2).

Определим выборочный эксцесс k:

$$k = n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 / \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^2 = 25 \cdot \frac{34688,19}{443875,74} = 1,95.$$

Из выражения (2) выбирается оценка  $T(0,25)$  с константой усечения  $\alpha = 0,25$ .

Определим средние  $m=[\alpha \cdot n]$ , ( $\alpha_1=0,05$  и  $\alpha_2=0,5$ ) младших членов вариационного ряда, при  $m=1$  и  $m=12$  соответственно:

$$L(0,05) = 2_{(1)} = 2;$$

$$L(0,5) = \frac{2_{(1)} + 2_{(2)} + 2_{(3)} + 3_{(4)} + 3_{(5)} + 3_{(6)} + 4_{(7)} + 4_{(8)} + 4_{(9)} + 4_{(10)}}{12} + \frac{4_{(11)} + 5_{(12)}}{12} = 3,33.$$

Определим средние  $m=[\alpha \cdot n]$ , ( $\alpha_1=0,05$  и  $\alpha_2=0,5$ ) старших членов

вариационного ряда, при  $m=1$  и  $m=12$  соответственно:

$$U(0,05) = 17_{(25)} = 17;$$

$$U(0,5) = \frac{6_{(14)} + 6_{(15)} + 7_{(16)} + 8_{(17)} + 8_{(18)} + 13_{(19)} + 14_{(20)} + 15_{(21)} + 16_{(22)} + 16_{(23)} + 16_{(24)} + 17_{(25)}}{12} = 11,83.$$

Определим стабильный аналог коэффициента асимметрии:

$$Q = \frac{U(0,05) - L(0,05)}{U(0,5) - L(0,5)} = \frac{17 - 2}{11,83 - 3,33} = 1,76.$$

Из выражения (3) выбирается оценка  $T(0,25)$  с константой усечения  $\alpha = 0,25$ .

Используя выражение (12), выделим из исходной неоднородной совокупности оценок, которая представляет собой выборку экспертных оценок с «сомнительными» значениями, её однородную составляющую:

$$[x_{(1)}, x_{(6)}] \in X_1,$$

$$[x_{(7)}, x_{(18)}] \in X_0,$$

$$[x_{(19)}, x_{(25)}] \in X_2.$$

Таким образом, значения вариационного ряда попадающие в подмножество  $X_0$  можно считать однородными, что свидетельствует о наличии высокой степени согласованности экспертных оценок в этой подсовкупности ( $X_0 \subseteq X$ ). Составляющие ряда  $X_1$  и  $X_2$  ( $X_1 \subseteq X, X_2 \subseteq X$ ) характеризуют группы экспертов, оценки которых в некоторой мере отличаются от оценок основной группы.

**Выводы.** Рассмотренный подход позволяет проводить более детальный анализ групповых экспертных оценок, формируемых в рамках абсолютной шкалы измерений, что в свою очередь повышает эффективность принятия решений по их согласованности или несогласованности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов А.И. Устойчивость в социально-экономических моделях. - М.: Наука, 1979. - 296 с.
2. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. - М.: 2002. - 31 с.

3. Орлов А.И. Экспертные оценки // Заводская лаборатория, 1996, Т. 62, № 1, с. 54-60.
4. Горский В.Г., Орлов А.И., Гриценко А.А. Метод согласования кластеризованных ранжировок // Автоматика и телемеханика. 2000, № 3, с. 159-167.
5. Hogg R.V. Some observations on robust estimation // Journal of the American Statistical Association, 1967, vol. 62, pp. 1179–1186.
6. Reed III J.F., Stark D.B. Robustness estimators of locations: a classification of linear and adaptive estimators // Journal of Applied Statistics, 1994, vol. 21, № 3, pp. 95–124.
7. Hogg R.V. Adaptive robust procedures: a partial review and some suggestions for future applications and theory // Journal of the American Statistical Association, 1974, vol. 69, pp. 909–923.
8. Balakrishnan N. Parameters, order statistics, outliers and robustness // Revista Matematica Complutense, 2007, vol. 20, № 1, 107 p.
9. Ramsey P.H., Ramsey P.P. Optimal trimming and outlier elimination // Journal of Modern Applied Statistical Methods, 2007, vol. 6, pp. 355–360.
10. Andrews D.F., Bickel P.J., Hampel P.J., Huber P.J., Rogers W.H. & Tukey J.W. Robust Estimates of Locations: Survey and Advances // Princeton, NJ, Princeton University Press, 1972.
11. De Wet T., Van Wyk J.W.J. Efficiency and robustness of Hogg's adaptive trimmed means // Communications in Statistics – Theory and methods, 1979, vol. 8, pp. 117–128.
12. Reed III J.F., Stark D.B. Hinge estimators of location: Robust to asymmetry // Computer methods and programs in Biomedicine, 1996, vol. 49, pp. 11–17.
13. Hogg R.V. & Lenth R.V. A review of some adaptive statistical techniques // Communications in Statistics – Theory and methods, 1984, vol. 13, pp. 1551–1579.
14. Hogg R.V., Horn P.S., Lenth R.V. On adaptive estimation // Journal of Statistical Planning and Inference, 1984, pp. 333–343.

Получено 24.01.2010г.

УДК 528.71

В.В. Гнатушенко, Вікт.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва  
**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОРЕКЦІЇ ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ  
ДАНИХ СКАНЕРНОЇ ЗЙОМКИ**

*Анотація.* Геометрична корекція зображень земної поверхні, одержуваних цифровими лінійними ПЗЗ-камерами, може проводитися з використанням даних про кутові елементи зовнішнього орієнтування в моменти часу, що відповідають реєстрації кожного з рядків. При відсутності таких даних пропонується використовувати запропоновану математичну модель корекції сканерних даних, що дозволяє компенсувати вплив кутових коливань шляхом аналізу самих зображень, одержуваних ПЗЗ-камерою.

*Ключові слова:* сканерне зображення, фотограмметрія, модель, геометрична корекція.

**Постановка проблеми**

Системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) знаходять ефективне застосування в багатьох галузях народного господарства. Однак у вихідному виді фотограмметричні зображення не можуть бути використані по призначенню, оскільки мають значні геометричні спотворення стосовно об'єктів спостережуваної сцени. Першочерговим завданням при наземній обробці таких відеоданих є їхня геометрична корекція з метою одержання зображень, по яких стає можливим з високою точністю вимірювати геометричні характеристики об'єктів земної поверхні. Основними характеристиками систем ДЗЗ є їхня роздільна здатність і смуга огляду. Традиційне поліпшення цих характеристик здійснювалося шляхом розробки відеодатчиків з підвищеним числом фотоприйомних елементів. Такі датчики, як правило, конструювалися на основі приладів із зарядовим зв'язком з максимально можливим числом світлочутливих елементів. Це дуже тривалий і трудомісткий технологічний шлях, по якому не можна задовольнити зростаючі вимоги споживачів до роздільної здатності й смуги огляду зйомки. Тому в останні роки в практику дистанційного

зондування стали активно впроваджуватися відеодатчики сканерного типу. Характерною рисою сканерних зображень, сформованих у процесі польоту супутника або літака, є зміна за складними законами перекриття сканів, що залежить від багатьох факторів: параметрів орбіти й кутів орієнтації носія; режимів роботи сканера (маневри супутника й програмне відхилення поля зору датчика); рельєфу місцевості й ін. Дія цих факторів приводить до порушення структури зображення у вигляді геометричних розривів об'єктів спостережуваної сцени уздовж лінії стику сканів. У зв'язку із цим гостро виникає проблема розробки адекватних моделей геометричної корекції сканерних зображень, які б враховували реальні умови їхнього формоутворення [1].

#### **Аналіз останніх досліджень**

Для геометричної корекції одержуваних зображень використовують інформацію із прецизійних датчиків у складі інерціальних навігаційних систем і апаратури автономної супутникової навігації, установлюваних спільно зі знімальною камерою [2, 3]. Навігаційна апаратура повинна забезпечувати вимір кутових і лінійних елементів зовнішнього орієнтування в моменти реєстрації кожного з рядків зображення з високою точністю (порядку 5-10" і 10 см відповідно). При відсутності точних навігаційних вимірів геометрична корекція одержуваних зображень може здійснюватися шляхом їхнього сполучення із заздалегідь отриманими фотопланами. Для забезпечення високої точності при цьому потрібна ідентифікація дуже великої кількості опорних точок (ОТ). Але викривлення форми об'єктів на зображеннях утруднюють ідентифікацію ОТ. Одним зі шляхів підвищення точності корекції може бути детектування та зіставлення прямолінійних ділянок границь об'єктів [3]. Параметри кутових коливань літака по трьом осям суттєво різняться. Кожна зі складових кутового руху виявляє свій вплив на зображення й характер викривлень, що привносяться ними, різний. Кутові коливання по крену встановленої на літаку камери під час зйомки привносять найбільш помітні на око викривлення: прямолінійні ділянки границь об'єктів набувають хвилеподібного виду [3, 4]. Механізм появи таких викривлень полягає в тому, що при коливаннях камери по крену сусідні рядки на зображенні зрушуються друг щодо друга. Описаний ефект можна

частково компенсувати шляхом аналізу самих зображень.

### Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ціль роботи полягає у розробці математичної моделі корекції сканерних даних, що дозволить урахувати кривизну Землі та компенсувати вплив кутових коливань шляхом аналізу самих зображень, одержуваних ПЗЗ-камерою.

### Основна частина

Розглянемо схему формування аерокосмічних зображень із урахуванням кривизни Землі. Нехай супутник обгинає поверхню Землі по круговій орбіті на висоті  $H$ . Це рівносильно руху супутника по прямій, але над поверхнею циліндра. «Спотворене» зображення, яке буде сканер супутника із циліндричним або лінійним розгорненням, — це проекція на поверхню циліндра  $F$  (рис. 1).

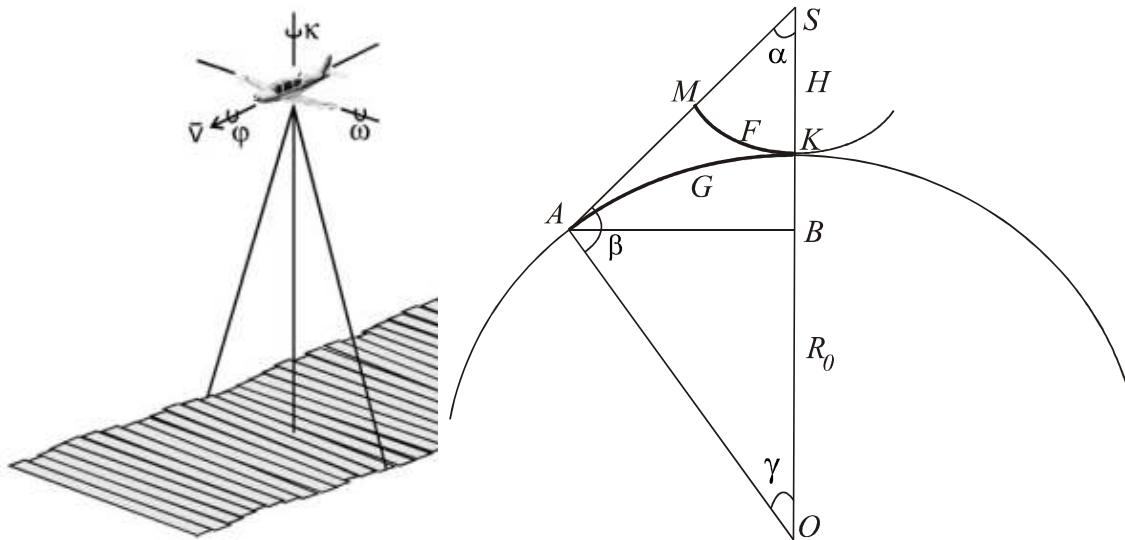


Рисунок 1 - Формування сканерного зображення

У дійсності ж сканер відображає земну поверхню, тобто зовнішню поверхню циліндра  $G$ . Будемо вважати, що Земля — куля радіусом  $R_0 = 6370$  км; власне обертання Землі під час побудови сканерного зображення враховувати не будемо. Нехай  $L = SA$  — відстань від супутника  $S$  до деякої точки земної поверхні при скануванні,  $\Delta L$  — дозвіл у надирі,  $\Delta\varphi$  — миттєве поле зору,  $\alpha$  — кут сканування (кут візування), під кутом  $\gamma$  дуга  $AK$  видна із центру Землі. Використовуючи теорему синусів і враховуючи, що для всіх значень кута  $\alpha$  виконується співвідношення  $(H + R_0) \sin \alpha < H$ , одержуємо:

$$\frac{SO}{\sin \beta} = \frac{AO}{\sin \alpha}; \sin \beta = \left(1 + \frac{H}{R_0}\right) \sin \alpha; \gamma = \pi - \beta - \alpha;$$

$$\gamma = \pi - \arcsin \left( \left(1 + \frac{H}{R_0}\right) \sin \alpha \right) - \alpha; L = \frac{R_0 \sin \gamma}{\sin \alpha}. \quad (1)$$

Довжина дуги АК, що відповідає розгорненню зовнішньої поверхні циліндра G дорівнює  $y = AK = R_0 \gamma$ . Довжина дуги МК, що відповідає зображенню x дорівнює  $MK = H\alpha$ , звідки  $\alpha = \frac{x}{H}$ . Таким чином,

$$y = R_0 \left( \pi - \arcsin \left( \left(1 + \frac{H}{R_0}\right) \sin \left( \frac{x}{H} \right) \right) - \frac{x}{H} \right) \quad (2)$$

Використовуючи (2), можна перерахувати координату x уздовж рядка «спотвореного» зображення в координату уздовж рядка реального зображення. Знання відстані L дозволяє уточнити просторове розрізнення. Мінімальна дальність  $L_{\min} = H$ , при цьому розрізнення  $\Delta L = \Delta \varphi H$ ; при максимальному куті сканування  $\alpha_{\max}$  дальність дорівнює  $L_{\max}$ , розрізнення  $\Delta L_1 = \Delta \varphi L_{\max}$  уздовж напрямку руху супутника. Але поверхня видна із супутника під кутом  $\alpha_{\max}$ , тому поперек напрямку руху  $\Delta L_2 = \Delta L_1 / \cos \alpha_{\max}$ . Таким чином, на максимальній дальності поперек напрямку руху піксели виявляються стислими в  $\frac{\Delta L_2}{\Delta L}$  рази, уздовж — у  $\frac{\Delta L_1}{\Delta L}$  разу. Смуга огляду, що здається,  $F_{\max} = H\alpha_{\max}$ , реальна смуга  $G_{\max} = 2R\beta_{\max}$ .

Для супутника NOAA  $H = 870$  км,  $\alpha_{\max} = 55^\circ$ ,  $\Delta \varphi = 1.26 \cdot 10^{-3}$  рад.,  $\Delta L = 1,1$  км. Максимальна дальність  $L_{\max} = 1827$  км, смуга огляду  $G \sim 3000$  км, розрізнення  $\Delta L_1 = 2,31$  км і  $\Delta L_2 = 4,02$  км. На максимальній дальності поперек напрямку руху піксели виявляються стислими в 3,65 рази, уздовж нього — в 2,1 рази. Дві ріки, що течуть паралельно напрямку руху супутника і перебувають на відстані 1,1 км друг від друга, у надирі були б помітні, але на краю скана вони зливаються. Якщо не проводити корекцію, то смуга огляду видається рівною  $F_{\max} = H\alpha_{\max} = 1670$  км. Під час одного скана супутник NOAA переміщається на 1,1 км при розрізненні в надирі 1,1 км. На деякій

відстані від надир рядки зображення починають помітно перекриватися. Визначимо область супутникового зображення з малими викривленнями як ділянку, де рядки перекриваються не більше ніж на 10%, тобто приблизно на 0,1 км. При цьому  $\Delta L_1 = 1,3$  км. Ця ділянка відповідає смузі огляду в  $\pm 475$  км і дійсній смузі огляду в  $\pm 540$  км від надир. Розрізнення уздовж скана на границі ділянки становить  $\Delta L_2 = 1,54$  км, уздовж скана піксели витягнуто в 1,4 рази.

Для супутників з малою смугою огляду (наприклад, супутник «Ресурс-01-3», сканер «МСУ-Э»; супутник SPOT, сканер HVR) при спостереженні в надир геометричні викривлення зображень за рахунок кривизни Землі незначні. Викривлення виникають при відхиленні осі сканування від надир, яке може досягати близько  $30^\circ$  (перспективні викривлення). У дійсності зображення трохи витягнуте уздовж напрямку сканування (60,5 км). При цьому розрізнення уздовж напрямку руху супутника становить  $\Delta L_1 = 41$  м на максимальній дальності та  $\Delta L_1 = 39$  м на мінімальній, у той час як у надирі  $\Delta L_1 = 35$  м. У надирі для МСУ-Э розрізнення уздовж лінії сканування  $\Delta L_2 = 45$  м, при відхиленні осі сканування на  $30^\circ$   $\Delta L_2 = 60$  м. Результати аналогічних розрахунків для інших сучасних супутників зведено у табл.1.

Таблиця 1

| Супутник  | Висота, км | Розрізнення в надирі, м | Кут | Доступна смуга огляду, км | Смуга захвату, км | $\Delta L_1$ | $\Delta L_2$ |
|-----------|------------|-------------------------|-----|---------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| QuickBird | 450        | 0.61                    | 30  | 544                       | 16.5              | 0,74         | 0,85         |
| IRS-P5    | 618        | 2,5x2,78                | 26  | 800                       | 30                | 3,37         | 3,74         |
| Монитор-Э | 540        | 8                       | 30  | 780                       | 90                | 11,56        | 13,34        |
| Ресурс-ДК | 350-600    | 1                       | 30  | 448                       | 28,3              | 1,28         | 1,48         |
| THEOS     | 822        | 2                       | 30  | 1000                      | 22                | 0,05         | 0,06         |

Розглянуті причини геометричних викривлень супутникових зображень не єдино можливі. Сонячно-синхронні орбіти природознавчих супутників не перетинають вісь обертання Землі, а нахилені щодо неї. Оскільки супутник рухається з півночі на південь (спадний виток орбіти), то вгорі зображення буде не північ, як на карті, а, наприклад, північ-північно-схід. До того ж під час сеансу приймання супутникової інформації Земля повертається на деякий

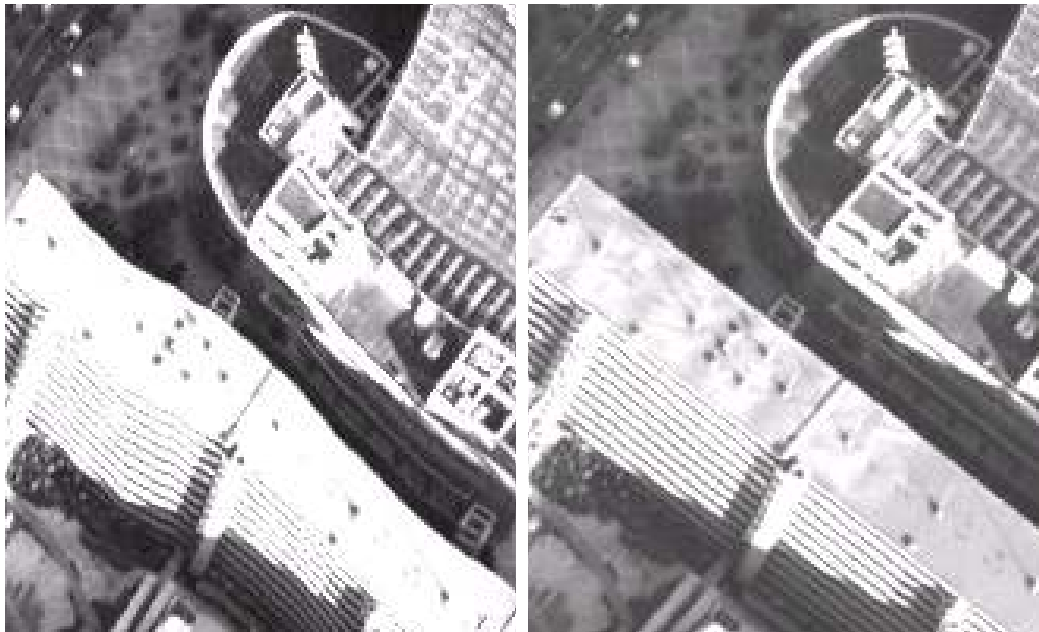
кут (на  $0,25^\circ$  за 1 хв). Крім того, часто доводиться обробляти архівні зображення, для яких невідомі й орбітальні дані, і кут відхилення осі сканування від надира.

Запропонована модель формування сканерних зображень та геометричної корекції викривлень, що викликані кутовими коливаннями носія та кривизною Землі, засновано на оцінці величини взаємних зсувів сусідніх рядків зображень із субпіксельною точністю й наступній компенсації цих зсувів. Наявність на зображенні навіть окремих яскраво виражених діагонально орієнтованих об'єктів може привести до неправильної оцінки величини зсуву сусідніх рядків, оскільки такі об'єкти будуть домінувати над неконтрастними деталями на зображенні. Для того щоб уникнути зазначеного ефекту, доцільно проводити оцінки зсувів у межах декількох фрагментів рядка, а потім відсівати неправильні оцінки шляхом медіанної фільтрації. Пропонуємий алгоритм оцінки зсувів рядків зображення включає наступні етапи: 1) кожний рядок зображення розбивається на набір фрагментів фіксованого розміру; 2) для кожного із фрагментів визначається величина зсуву поточного рядка щодо попереднього; 3) оцінюється величина додаткового субпіксельного зсуву фрагмента рядка щодо попереднього рядка; 4) у якості величини зсуву рядка ухвалюється середнє значення зсувів, отриманих для окремих фрагментів; 5) отриманий вектор величин зсувів зазнає високочастотної та низькочастотної фільтрації для виключення шумових складових.

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Тестування запропонованої моделі геометричної корекції сканерних зображень підтвердило її адекватність. На рис. 2 поданий приклад результатів роботи спеціально написаного програмного модуля геометричної корекції. На рис. 2а подане вихідне сканерне зображення («сирий» знімок, сформований у наземному Центрі прийому), на якому можна бачити геометричні спотворення уздовж лінії стику сканів. На рис. 2б подане скоректоване зображення. Викривлення, що були присутні у вигляді хвилеподібних границь будинків і доріг практично не помітні на скоректованому зображенні. Наші подальші дослідження будуть присвячені питанням геометричної корекції сканерних стереозображень. Оскільки стереозйомка має більшу інформативність, то на перший погляд це

надасть додаткові можливості з підвищення якості результатів геометричної корекції сканерних знімків.



а) вихідне зображення

б) після корекції

Рисунок 2 - Результати геометричної корекції

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гнатушенко В.В. Моделирование процесса формирования цифровых сканерных изображений дистанционного зондирования / В.В. Гнатушенко // Научно-техн. журнал “Автоматика. Автоматизация. Электротехн. комплексы и системы”. – Херсон: ХНТУ. — №1 (15), 2005. – С. 42-46.
2. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин // Учебное пособие. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
3. Василейский А.С. Коррекция геометрических искажений видеоданных с цифровых аэросъемочных камер, вызываемых угловыми колебаниями носителя по крену / А.С. Василейский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ИКИ РАН. — №1 Т.2, 2005. – С. 203-209.
4. Гнатушенко В. В. Моделі геометричної корекції сканерних зображень / В.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва // Праці ТДАТУ. — Мелітополь, 2008. — Вип. 4, т.39. — С.75—79.

Получено 27.01.2010г.

УДК 519.24:681

А.В. Кошулян, В.П. Малайчук, А.В. Мозговой  
**ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ СО  
 СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

*Аннотация. Проведено исследование по выбору оптимальных порогов сравнения в задаче контроля качества объектов со случайными параметрами на основе критериев минимума вероятности принятия ошибочных решений и минимума условного среднего риска.*

*Ключевые слова: контроль качества, случайные параметры, ошибки 1-го и 2-го рода, интервал допуска, оптимальные пороги сравнения.*

**Постановка задачи**

Среди множества объектов контроля рассмотрим класс изделий, контролируемые параметры которых по своей физической природе или технологии производства являются случайными величинами. Изделия считаются в норме, если значения контролируемых параметров не выходят за пределы допуска в заданном интервале от  $H_1$  до  $H_2$ . Если бы контролируемый параметр измерялся безошибочно, то решения о состоянии изделия принимались бы следующим образом: изделие считалось бы в норме, при выполнении неравенства  $H_1 \leq H \leq H_2$ . Так как параметр  $H$  - случайная величина с некоторым законом распределения вероятностей  $W(H)$ , то вероятность выполнения этого неравенства

$$P(N) = \int_{H_1}^{H_2} W(H) dH. \quad (1)$$

Вероятность  $P(N)$  - показатель эффективности технологии производства контролируемых изделий,  $1 - P(N) = P(B)$  - вероятность брака. Если  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - выборка измерений параметра, то его оценка  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  случайная величина с законом распределения вероятностей  $W(\bar{x}/H)$ . Представляется, что если решение о состоянии изделия будет приниматься путем сравнения оценки  $\bar{x}$  с

двумя порогами  $H_1^*$  и  $H_2^*$  и если имеет место неравенство  $H_1^* \leq \bar{x} \leq H_2^*$ , то изделие должно считаться в норме. Изделия, поступающие на контроль, могут находиться в состоянии нормы  $N$  или в состоянии брака (не норма)  $\bar{N}$ , а решения по результатам измерений  $\bar{x}$  могут приниматься как норма  $N^*$  или не норма (брак)  $\bar{N}^*$ . Как состояния  $N$  и  $\bar{N}$ , так и решения  $N^*$  и  $\bar{N}^*$  являются случайными событиями. В рассматриваемом случае результаты контроля представляют собой сложные события, состоящие из сочетания двух событий:  $NN^*$ ,  $N\bar{N}^*$ ,  $\bar{N}\bar{N}^*$ ,  $\bar{N}N^*$ . Из них два сложных события  $N\bar{N}^*$  и  $\bar{N}N^*$  - это ошибочные решения контроля: перебраковка и пропуск брака. Если ввести плату за ошибочные решения  $C(N\bar{N}^*)$  и  $C(\bar{N}N^*)$ , тогда математическое ожидание стоимости принятия ошибочных решений (значение среднего риска) можно определить по формуле [1]

$$\bar{C} = C(N\bar{N}^*)P(N\bar{N}^*) + C(\bar{N}N^*)P(\bar{N}N^*). \quad (2)$$

Величина  $\bar{C}$  характеризует эффективность контроля, а соответствующие вероятности ошибочных решений зависят от порогов  $H_1^*$  и  $H_2^*$  [2]. Следовательно существует возможность оптимального выбора порогов  $H_1^*$  и  $H_2^*$ , минимизирующих  $\bar{C}$ .

### Уравнения оптимальности

Предполагается, что если известны законы распределения  $W(H)$  и  $W(\bar{x}/H)$ , то вероятность принятия правильного решения норма-норма  $NN^*$  можно определить по формуле

$$P(NN^*) = \int_{H_1}^{H_2} \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(H) W(\bar{x}/H) d\bar{x} dH. \quad (3)$$

Вероятности принятия ошибочных решений  $N\bar{N}^*$  и  $\bar{N}N^*$  равны

$$\begin{aligned} P(N\bar{N}^*) &= P(N)P(\bar{N}^*/N) = P(N)[1 - P(N^*/N)] = P(N) - P(NN^*), \\ P(\bar{N}N^*) &= P(N^*)P(\bar{N}/N^*) = P(N^*)[1 - P(N/N^*)] = P(N^*) - P(NN^*), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $P(N^*)$  - вероятность принятия решения норма  $N^*$  равна

$$P(N^*) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(H) W(\bar{x}/H) d\bar{x} dH = \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(\bar{x}) d\bar{x}. \quad (5)$$

Если ввести обозначения  $C_1 = C(N\bar{N}^*)$  и  $C_2 = C(\bar{N}N^*)$ , то для определения среднего риска получим формулу

$$\bar{C} = C_1 \int_{H_1}^{H_2} W(H) dH + C_2 \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(\bar{x}) d\bar{x} - (C_1 + C_2) \int_{H_1}^{H_2} \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(H) W(\bar{x}/H) d\bar{x} dH. \quad (6)$$

Пороги сравнения при контроле  $H_1^*$  и  $H_2^*$  выберем из условия минимума среднего риска, т.е. из условия минимума математического ожидания стоимости принятия ошибочных решений.

Условие минимума среднего риска  $\bar{C}(H_1^*, H_2^*)$  запишем в виде двух уравнений

$$\frac{\partial \bar{C}(H_1^*, H_2^*)}{\partial H_1^*} = 0, \quad \frac{\partial \bar{C}(H_1^*, H_2^*)}{\partial H_2^*} = 0.$$

Определив производные, получим

$$\begin{aligned} (C_1 + C_2) \int_{H_1}^{H_2} W(H) W(H_2^*/H) dH - C_2 W(H_2^*) &= 0, \\ (C_1 + C_2) \int_{H_1}^{H_2} W(H) W(H_1^*/H) dH - C_2 W(H_1^*) &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Если законы распределения  $W(H)$  и  $W(\bar{x}/H)$  аппроксимировать плотностью распределения Гаусса

$$W(H) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(H - H_T)^2}{2\sigma_T^2}\right), \quad W(\bar{x}/H) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\bar{x} - H)^2}{2\sigma_x^2}\right), \quad (8)$$

то после вычисления интегралов уравнение (7) представим в виде

$$\Phi\left(\frac{(\sigma_T^2 + \sigma_x^2) \Delta H_2 + \sigma_T^2 \Delta x_1}{\sigma_x \sigma_T \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) - \Phi\left(\frac{\sigma_T^2 \Delta x_1 - (\sigma_T^2 + \sigma_x^2) \Delta H_1}{\sigma_x \sigma_T \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) = \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad (9)$$

$$\Phi\left(\frac{(\sigma_T^2 + \sigma_x^2) \Delta H_1 + \sigma_T^2 \Delta x_2}{\sigma_x \sigma_T \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) - \Phi\left(\frac{\sigma_T^2 \Delta x_2 - (\sigma_T^2 + \sigma_x^2) \Delta H_2}{\sigma_x \sigma_T \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) = \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad (10)$$

где  $\Delta H_1 = H_T - H_1$ ,  $\Delta H_2 = H_2 - H_T$ ,  $\Delta x_1 = H_T - H_1^*$ ,  $\Delta x_2 = H_2^* - H_T$ ,

$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  - интеграл вероятности Гаусса.

Для симметричных законов распределения  $\Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H$ ,

$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x$  и уравнения (9) и (10) запишутся как одно уравнение

$$\Phi \left( \frac{\Delta H / \sigma_T \left[ \left( \frac{\Delta x}{\Delta H} \right) + (1 + \delta_x^2) \right]}{\delta_x \sqrt{1 + \delta_x^2}} \right) - \Phi \left( \frac{\Delta H / \sigma_T \left[ \left( \frac{\Delta x}{\Delta H} \right) - (1 + \delta_x^2) \right]}{\delta_x \sqrt{1 + \delta_x^2}} \right) = \frac{C_2}{C_1 + C_2}. \quad (11)$$

Определение и анализ оптимальных порогов контроля

Разность  $\Delta \Phi \left( \frac{\Delta x}{\Delta H}, \frac{\Delta H}{\sigma_T}, \delta_x \right)$  зависит от показателей технологии

производства и  $\sigma_T$  и от ошибок измерений контролируемого

параметра  $\sigma_x / \sigma_T = \delta_x$ . На рис.1 показаны графики разности  $\Delta \Phi \left( \frac{\Delta x}{\Delta H} \right)$

и решения уравнения (11) для двух вариантов выбора стоимости ошибок  $C_1$  и  $C_2$ : 1)  $C_1 = C_2$  - критерий минимума вероятности принятия ошибочных решений; 2)  $C_1 = P^{-1}(N)$ ,  $C_2 = (1 - P(N))^{-1}$  - критерий минимума условной стоимости ошибочных решений. В первом случае  $C = 0,5$ ; во втором  $C = P(N)$ .

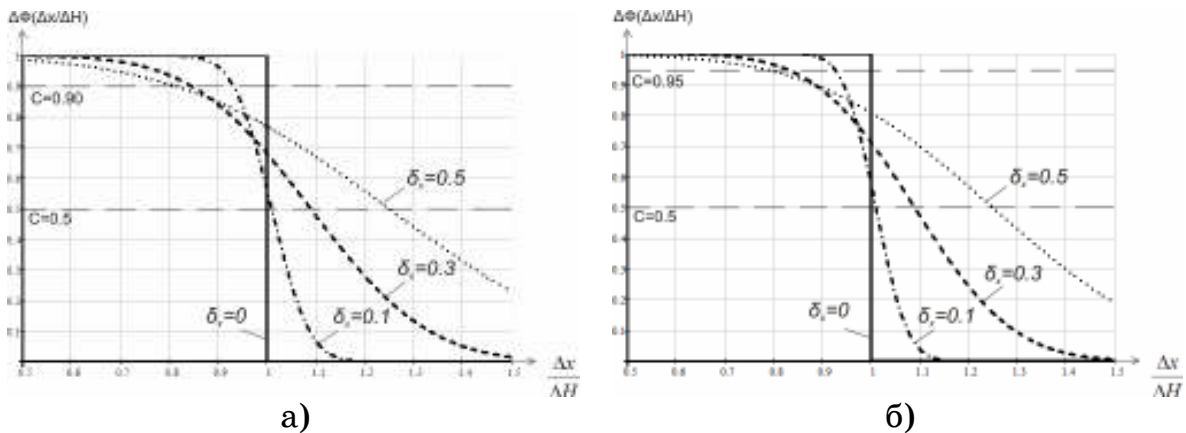


Рисунок 1 - Графическое решение уравнения (11);

а)  $P(N) = 0.9$ ; б)  $P(N) = 0.95$ .

В результате графического решения уравнения (11) получены оптимальные значения  $\Delta x / \Delta H$  (таб.1).

Как следует из анализа таб.1 оптимальные пороги контроля  $H_1^*$  и  $H_2^*$  очень зависят от критерия оптимальности 1) для критерия минимума вероятности ошибочных решений ( $C=0.5$ )  $H_1^* < H_1$  и  $H_2^* > H_2$ ; 2) для критерия минимума среднего риска ( $C=P(N)$ ) наоборот  $H_1^* > H_1$  и  $H_2^* < H_2$ . Из таб.1, а также из рис.1 можно

заметить, что для случая  $C=0.5$  пороги  $H_1^*$  и  $H_2^*$  не зависят от величины  $P(N)$  для рассматриваемого диапазона  $\delta_x$ .

Таблица 1

Оптимальные значения  $\Delta x / \Delta H$ 

| C          | 0.5   |       | P(N)  |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| $\delta_x$ | P(N)  |       | P(N)  |       |
|            | 0.90  | 0.95  | 0.90  | 0.95  |
| 0          | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 0.1        | 1.010 | 1.010 | 0.932 | 0.926 |
| 0.3        | 1.090 | 1.090 | 0.846 | 0.827 |
| 0.5        | 1.250 | 1.250 | 0.810 | 0.781 |

Аналитическое решение для оценки  $\Delta x$  можно получить, если аппроксимировать функцию распределения Гаусса логистическим распределением

$$\Phi^*(x) = \left[ 1 + \exp\left(-\frac{\pi}{\sqrt{3}} x\right) \right]^{-1}.$$

$$\text{Обозначим } a = 1 + \delta_x^2, \quad b = \frac{\delta_x \sqrt{1 + \delta_x^2}}{\Delta H / \sigma_T}, \quad z = \Delta x / \Delta H, \quad C = \frac{C_1}{C_1 + C_2}.$$

Тогда уравнение (11) запишется в виде

$$\left[ 1 + \exp\left(-\frac{\pi(z+a)}{b\sqrt{3}}\right) \right]^{-1} - \left[ 1 + \exp\left(-\frac{\pi(z-a)}{b\sqrt{3}}\right) \right]^{-1} = C. \quad (12)$$

Представление о точности аппроксимации можно получить из рис.2., где показана исследуемая разность для точного и приближенного решения при  $\delta_x = 0.5$ .

Среднеквадратическая погрешность аппроксимации, с учетом введенных выше обозначений  $a$ ,  $b$ ,  $z$ , может быть вычислена по формуле

$$\varepsilon\left(\frac{\Delta H}{\sigma_T}, \delta_x\right) = \sqrt{\frac{\Delta x}{\Delta H} \cdot \int_0^{\Delta x / \Delta H} \left[ \Delta \Phi\left(z, \frac{\Delta H}{\sigma_T}, \delta_x\right) - \Delta \Phi^*(z, b, a) \right]^2 dz}. \quad (13)$$

На рис. 3 изображена среднеквадратическая погрешность (13) при аппроксимации выражения (11) выражением (12) в зависимости от  $\delta_x$ .

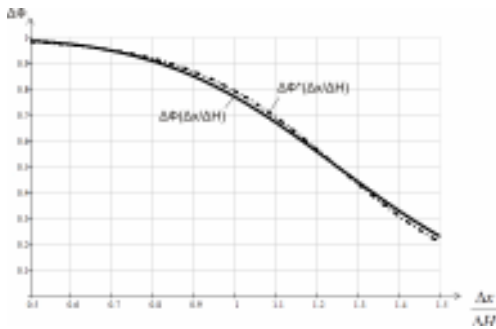


Рисунок 2 - Графическое решение уравнения (11) и уравнения (12) для случая  $\delta_x = 0.5$ ,  $P(N) = 0.9$ .

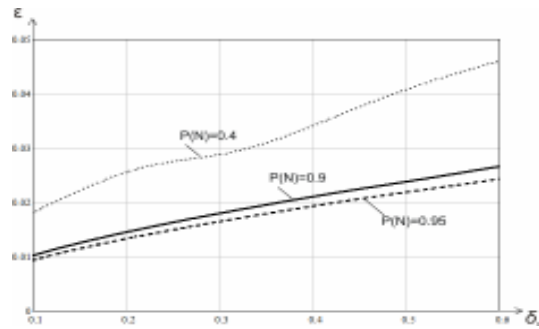


Рисунок 3 - Среднеквадратическая погрешность аппроксимации в зависимости от  $\delta_x$  для  $P(N) = 0.4$ ;  $P(N) = 0.9$ ;  $P(N) = 0.95$ .

Если ввести обозначения  $y = \exp\left(-\frac{\pi z}{b\sqrt{3}}\right)$ ,  $A = \exp\left(-\frac{\pi a}{b\sqrt{3}}\right)$ , то уравнение (12) приводится к виду  $y^2 - Dy + 1 = 0$ , где  $D = \frac{(1-C) - A^2(1+C)}{AC}$ . Корни уравнения равны  $y_{1,2} = \frac{D}{2} \pm \sqrt{\frac{D^2}{4} - 1}$ .

Если  $C_1 = C_2$  и  $C = 0.5$ , то  $D = A^{-1} - 3A$ . Это критерий минимума вероятности принятия ошибочных решений. Если применить критерий условного среднего риска, то  $C_1 = P^{-1}(N)$ ,  $C_2 = (1 - P(N))^{-1}$  и  $C = P(N)$ . В этом случае

$$D = \frac{(1 - P(N)) - A^2(1 + P(N))}{A \cdot P(N)}.$$

Для известной вероятности  $P(N)$  можно определить пороги  $H_1^*$

и  $H_2^*$  вычислив корень  $z_1 = \Delta x / \Delta H = \frac{b\sqrt{3}}{\pi} \ln \left[ \left( \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - 1} \right)^{-1} \right]$

уравнения (12) для известного отношения  $\delta_x$ . Если использовать

приближенную формулу  $\sqrt{\frac{D^2}{4} - 1} = \frac{D}{2} - \frac{1}{D}$ , тогда для  $P(N) = 0.85 \div 0.99$

и  $\delta_x = 0 \div 1.0$  выполняется условие  $-0.085 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 < -1 < 0.093 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$  и

согласно [3] погрешность при использовании приближенной формулы

не будет превышать 0.1%. В этом случае корень  $z_1 = \frac{\Delta x}{\Delta H} \approx \frac{b\sqrt{3}}{\pi} \ln(D)$ .

На рис. 4 представлены зависимости  $z_1(\delta_x)$ , по которым можно определять оптимальные пороги  $H_1^*$  и  $H_2^*$  для критериев оптимальности - минимума вероятности и минимума стоимости принятия ошибочных решений. Заметим, что для критерия минимума вероятности принятия ошибочных решений изменение вероятности производственной нормы  $P(N)$  практически не оказывает влияния на выбор порогов. Лишь для  $P(N) < 0.4 \sim 0.5$  две кривые становятся различимы в рассматриваемом диапазоне  $\delta_x$ . Однако такие значения вероятности производственной нормы на практике маловероятны, как и маловероятны большие ошибки измерений  $\delta_x > 0.6$ .

При использовании критерия минимума условной стоимости ошибочных решений на выбор порогов  $H_1^*$  и  $H_2^*$  оказывает влияние как вероятность производственной нормы  $P(N)$  так и  $\sigma_x^2$  - дисперсия измерений параметра  $H$ .

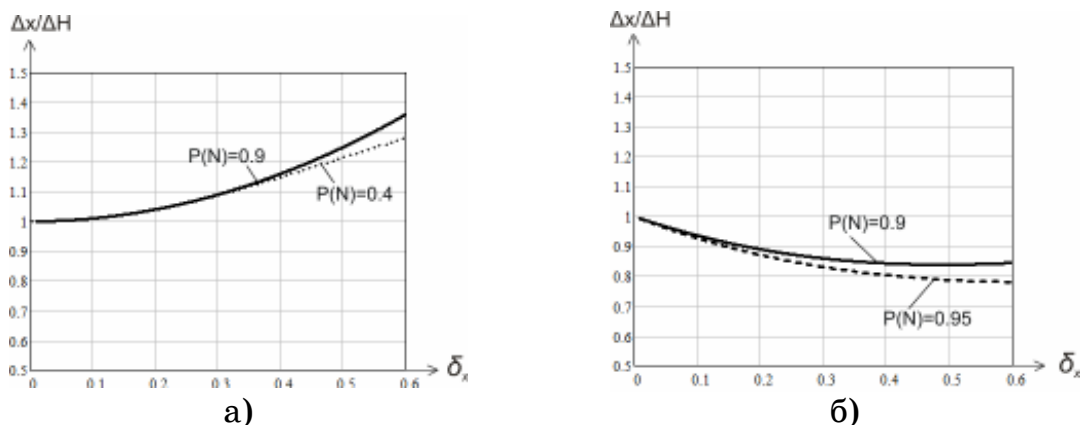


Рисунок 4 - Выбор порогов контроля в зависимости от дисперсии оценки

- а) за критерием минимума вероятности принятия ошибочных решений;
- б) за критерием минимума условной стоимости ошибочных решений.

Если контролируемые параметры  $H$  и их оценки  $\bar{x}$  описываются нормальными распределениями, то вероятности, входящие в формулы (4), будут равны [2]

$$P(N) = 2\Phi\left(\frac{\Delta H}{\sigma_T}\right) - 1, \quad P(N^*) = 2\Phi\left(\frac{z \frac{\Delta H}{\sigma_T}}{\sqrt{1+\delta_x^2}}\right) - 1,$$

$$P(NN^*) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\Delta H}{\sigma_T}} \left[ \Phi\left(\frac{t+z\frac{\Delta H}{\sigma_T}}{\delta_x}\right) - \Phi\left(\frac{t-z\frac{\Delta H}{\sigma_T}}{\delta_x}\right) \right] e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (14)$$

Используя формулы (4) и (14) для множества корней  $z_1(\delta_x)$  можно определить соответствующие им значения вероятностей ошибочных решений. Это позволяет сопоставить выбранным в зависимости от  $\delta_x$  оптимальным порогам  $H_1^*$  и  $H_2^*$  вероятности ошибочных решений при контроле качества с использованием оптимальных порогов. Эти зависимости представлены на рис.5.

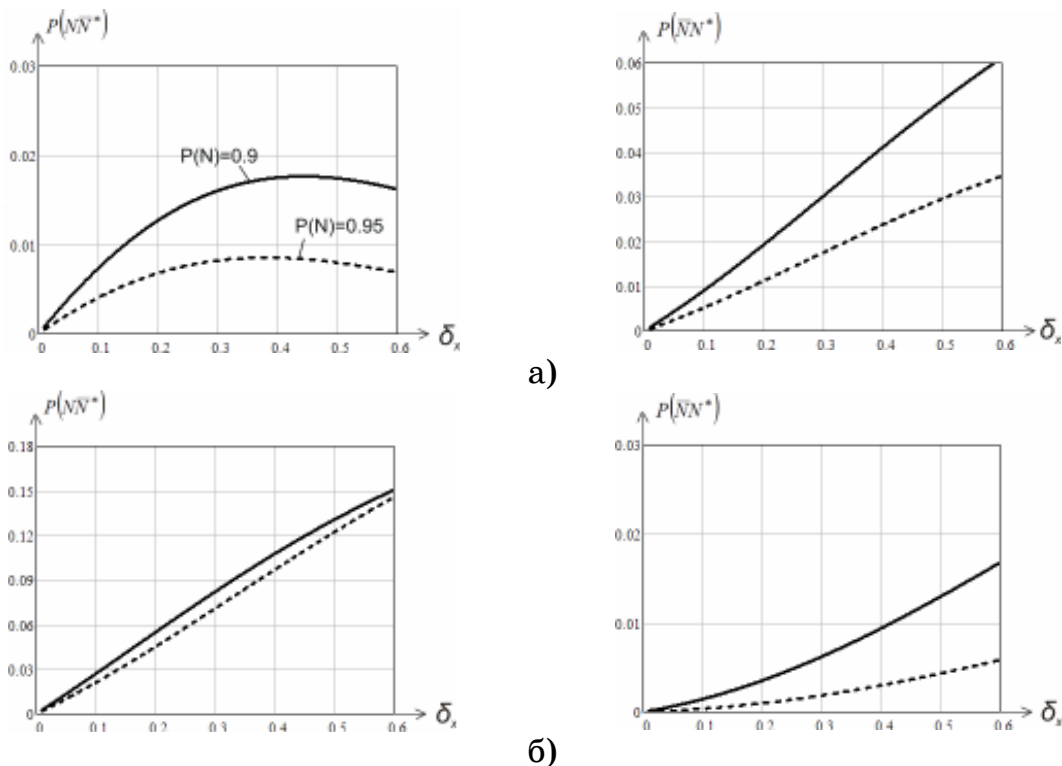


Рисунок 5 - Влияние дисперсии оценки на вероятности пропуска брака и перебраковки при оптимальном выборе порогов  
а) за критерием минимума вероятности принятия ошибочных решений;  
б) за критерием минимума условной стоимости ошибочных решений.

#### Выводы

Рассмотрена задача оптимального выбора порогов сравнения за критериями минимума вероятности принятия ошибочных решений и минимума условной стоимости ошибочных решений при контроле объектов со случайными параметрами.

Получены зависимости, позволяющие для случая нормальных распределений параметров и их оценок находить оптимальные значения порогов контроля качества при известной вероятности

производственного брака.

Значения оптимальных порогов контроля при их выборе за критерием минимума вероятности принятия ошибочных решений определяются дисперсией оценки параметра и практически не зависит от вероятности производственного брака.

Для двух рассмотренных критериев получены зависимости вероятности принятия ошибочных решений (перебраковки и пропуска брака) от величины порогов. Из анализа этих зависимостей следует, что при контроле качества объектов со случайными параметрами новые пороги контроля следует выбирать за критерием минимума вероятности принятия ошибочных решений, если для контролируемых объектов критической является перебраковка и за критерием минимума ожидаемой стоимости принятия ошибочных решений - для объектов ответственного назначения, для которых критическим является пропуск бракованных изделий. Платой за такие решения является увеличение приблизительно в 6 раз по сравнению с критерием минимума вероятности принятия ошибочных решений вероятности перебраковки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малайчук, В.П. Математическая дефектоскопия: Монография / В.П. Малайчук, А.В. Мозговой.-Д.:Системные технологии, 2005. - 180 с.
2. Кошулян, А.В. Контроль объектов со случайными параметрами/ А.В. Кошулян, В.П. Малайчук, Н.А. Лысенко,. -Д.: Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 3 (68). - Днепропетровск, 2010.
3. И.Н. Бронштейн. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов./ И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. - М.: Наука, 1964.

Получено 27.01.2010г.

УДК 629.735.015.017.2

С.В. Клименко, В.В. Огоренко

## **ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА КОМПЬЮТЕРНОГО ПСИХОМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАМЕНТА ЛИЧНОСТИ**

*Аннотация. Предложена новая вероятностная оценка темперамента личности по результатам психометрического компьютерного тестирования методом Айзенка на основе формулы Байеса с учетом измерения времени, которое необходимо на осмысление каждого вопроса и подготовку ответов.*

*Ключевые слова: темперамент, психическое состояние личности, эмоциональное состояние личности, модель Байеса, нейротизм, экстрверсия-интроверсия, вероятностная модель.*

### **Постановка задачи**

Классические методы обработки результатов тестирования и оценки темперамента личности рассматривались в работах [1, 2]. Психометрические измерения представляют собой случайные величины. Причиной этого является нестабильность психического и эмоционального состояния личности и неконтролируемого влияния окружающей среды. Результаты любого тестирования  $R(k)$  можно рассматривать как психическое  $\Pi(t)$  и эмоциональное  $\Theta(t)$  состояние личности, т.е.  $R(k) = \Pi(t) + \Theta(t)$ . Если психическое состояние описывается медленноменяющейся функцией времени  $\Pi(t)$ , то функция эмоционального состояния  $\Theta(t)$  относится к классу высокочастотных, быстро меняющихся функций. Причинно-следственные связи между результатами тестирования и психическим состоянием имеют вероятностный характер и для их математического описания можно использовать модель Байеса: если известны  $P(\Pi_i)$  вероятность  $i$ -той причины  $\Pi_i$  и вероятность  $P(C_i)$  следствия  $C$ , а также условные вероятности следствия по каждой  $i$ -той причине  $P(C/\Pi_i)$ , то условная вероятность  $i$ -той причины  $P(\Pi_i/C)$ , если следствие  $C$  произошло, оценивается по формуле Байеса

$$P(\Pi_i / C) = \frac{P(\Pi_i)P(C / \Pi_i)}{P(C)}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

где вероятность следствия определяется по формуле полной вероятности:

$$P(C) = \sum_{i=1}^m P(\Pi_i)P(C / \Pi_i). \quad (2)$$

Метод тестирования на основе стимулов как последовательности вопросов, задач и ответов широко используется в практике психологического исследования личности, оценки тех или иных её свойств. Уровень того или иного свойства может изменяться от самого высокого до самого низкого, например, высокий и низкий уровень нейротизма, экстраверсия-интроверсия, знание – незнание, смелость – робость, напряжённость – раскованность, доверчивость – подозрительность и т.д. Для оценки различных свойств личности психологами разработаны специальные группы вопросов. Ответы испытуемых на каждый из этих вопросов содержат информацию об уровне изучаемого свойства: высокий уровень, если ответ совпадает с ключом или функцией теста  $\Phi(k)$  (мнением психологов) и низкий, если не совпадает. Ключ теста обосновывается психологами, и проверяется на большой выборке испытуемых, обладающих тем или иным уровнем изучаемого свойства личности. Психолог Раша установил одну очень важную особенность такого тестирования: чем меньше испытуемый затрачивает времени на принятие решения, тем более надёжным представляется ответ, и следовательно более вероятным является или высокий, или низкий уровень исследуемого свойства личности [3, 4].

В тестах-вопросниках или задачах с ответами «больше или меньше» функция теста (ключ) принимает значения +1 или -1. В тестах заданиях с численным ответом – это заданная последовательность чисел.

В процессе тестирования в ответ на каждое стимульное воздействие  $S(k)$  формируется решение  $R(k)$ , измеряется время, затраченное на его принятие  $T(k)$ . Функция решений  $R(k)$  принимает значения +1, -1 или +1, -1, 0, где 0 – отказ от принятия решения. Для описания результатов тестирования введем функцию соответствия  $Z_k = \Phi(k)R(k)$  и функцию скорости обработки

стимулов  $V_k = S(k)/T(k)$ . Как  $Z_k$ , так и  $V_k$  - это дискретные случайные последовательности со своими неизвестными статистическими закономерностями, содержащие информацию о психическом и эмоциональном состоянии прошедшей тестирование личности, надежность которой характеризуется условными вероятностями причинно-следственных связей  $P(\Pi_i / C)$ , зависящих в свою очередь от функций  $Z_k$  и  $V_k$ . Исследуем эти вероятности при оценке темперамента личности по методу Айзенка. Темперамент – это характеристика динамических особенностей психической деятельности и интенсивности психических процессов личности. Оценивается высоким и низким уровнем нейротизма и экстроинтроверсиями.

#### **Вероятностная модель результатов тестирования личности методом Айзенка.**

Представляется очевидным следующее утверждение: если испытуемые в действительности имеют высокий уровень исследуемого свойства, то условная вероятность  $P(Z_k/B)$  должна быть больше, чем  $P(Z_k/H)$  для испытуемых с таким же ответом, но с низким уровнем этого свойства. Значения  $Z_k$  являются случайными величинами и зависят от скорости обработки информации в уме  $V_k = S_k/T_k$ . Эти же вероятности должны быть больше, если меньше время реакции на  $k$ -ый вопрос-стимул (по Рашу: чем больше скорость обработки стимульной информации, тем выше вероятность). Этим требованиям удовлетворяют следующие математические модели условных вероятностей

$$P(Z_k/B) = \frac{\exp[-0,5\alpha V(k)(1 - Z_k)]}{1 + \exp[-\alpha V(k)]},$$

$$P(Z_k/H) = \frac{\exp[-0,5\alpha V(k)(1 + Z_k)]}{1 + \exp[-\alpha V(k)]}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – масштабный коэффициент.

Располагая вектором независимых результатов тестирования  $|Z| = |Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n|^T$  и выборкой скоростей обработки  $|V| = |V_1, V_2, V_3, \dots, V_n|$ , определим условные вероятности для двух

гипотез В и Н – высокий и низкий уровень исследуемого свойства личности

$$P(|Z|/B) = \prod_{k=1}^n P(Z_k/B), \quad P(|Z|/H) = \prod_{k=1}^n P(Z_k/H). \quad (4)$$

Подставив (3.) и (4) в формулы (1) и (2), получим

$$P\left(\frac{|Z|}{B}\right) = \prod_{k=1}^n P\left(\frac{Z_k}{B}\right) = \frac{\exp(-0,5\alpha \sum_{k=1}^n V_k(1 - Z_k))}{\prod_{k=1}^n (1 + \exp(-\alpha V_k))},$$

$$P\left(\frac{|Z|}{H}\right) = \frac{\exp(-0,5\alpha \sum_{k=1}^n V_k(1 + Z_k))}{\prod_{k=1}^n (1 + \exp(-\alpha V_k))}. \quad (5)$$

#### Вероятностная оценка типов темперамента по результатам тестирования.

Используя формулу Байеса, вычислим вероятности двух гипотез:

гипотезы В – вектор результатов тестирования  $|Z|$  относится к испытуемому с высоким уровнем исследуемого свойства личности;

гипотезы Н – вектор  $|Z|$  относится к испытуемому с низким уровнем исследуемого свойства

$$P(B/|Z|) = \frac{P(B)P(|Z|/B)}{P(B)P(|Z|/B) + P(H)P(|Z|/H)},$$

$$P(H/|Z|) = \frac{P(H)P(|Z|/H)}{P(B)P(|Z|/B) + P(H)P(|Z|/H)}. \quad (6)$$

где  $P(B)$ ,  $P(H)$  – вероятность состояния В или Н, в котором находится испытуемый.

Вероятности  $P(B)$  и  $P(H)$  характеризуют априорные знания психологов о соотношении испытуемых с высоким и низким уровнем исследуемого свойства личности в больших группах. В условиях незнания эти уровни равновероятны  $P(H) = P(B) = 0,5$  и тогда с учетом выражений (4) получим расчетные формулы для оценки вероятностей причинно-следственных связей

$$P(B|Z) = \frac{1}{1 + \exp \left[ -\alpha \sum_{k=1}^n V_k Z_k \right]},$$

$$P(H|Z_k) = \frac{\exp \left[ -\alpha \sum_{k=1}^n V_k Z_k \right]}{1 + \exp \left[ -\alpha \sum_{k=1}^n V_k Z_k \right]}. \quad (7)$$

Предположим, что существует абстрактный испытуемый, у которого при тестировании  $R(k) = \Phi(k)$  и всегда  $R(k)\Phi(k) = 1$ , так что апостериорная вероятность  $P(B|Z)$  должна быть близкой к единице. В этом случае если выбрать эти вероятности равной  $P$ , то получим уравнение для оценки коэффициента нормировки

$$\alpha = \ln \left( \frac{P}{1-P} \right) \left( \sum_{k=1}^n V_k \right)^{-1}. \quad (8)$$

В частном случае при  $P = 0,95$  расчетные формулы будут иметь вид

$$P(B|Z) = \frac{1}{1 + \exp \left[ -2,944 \left( \sum_{k=1}^n V_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n V_k Z_k \right]},$$

$$P(H|Z) = \frac{\exp \left[ -2,944 \left( \sum_{k=1}^n V_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n V_k Z_k \right]}{1 + \exp \left[ -2,944 \left( \sum_{k=1}^n V_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n V_k Z_k \right]}. \quad (9)$$

Зная вероятности высокого и низкого уровня исследуемого свойства, можно определить вероятности высокого и низкого уровня нейротизма и экстраверсии-интроверсии по результатам тестирования теста Айзенка по формулам

$$P_{\Theta}(B|Z) = \frac{\Theta(k)}{1 + \exp \left[ -\sum_{k=1}^n \alpha V_k \Phi(k) R(k) \right]},$$

$$P_{\Theta}(H|Z) = \frac{\Theta(k)}{1 + \exp \left[ \sum_{k=1}^n \alpha V_k \Phi(k) R(k) \right]}, \quad (10)$$

$$P_N(B/Z) = \frac{N(k)}{1 + \exp \left[ - \sum_{k=1}^n \alpha V_k \Phi(k) R(k) \right]},$$

$$P_N(H/Z) = \frac{N(k)}{1 + \exp \left[ \sum_{k=1}^n \alpha V_k \Phi(k) R(k) \right]},$$

где  $N(k)$  – функция нейротизма,  $\Theta(k)$  – функция экстраверсии-интроверсии.

Темперамент личности по Айзенку характеризуется состоянием двух показателей: нейротизма и экстраверсии-интроверсии: 1) сангвиники – это экстраверты с низким нейротизмом; 2) меланхолики – интроверты с высоким нейротизмом; 3) холерики – экстраверты с высоким нейротизмом; 4) флегматики – интроверты с низким нейротизмом. Надежность оценок темперамента личности получаем по формулам

$$\begin{aligned} P(Ca/Z) &= P_{\Theta}(B/Z) \cdot P_N(H/Z), \quad P(Me/Z) = P_{\Theta}(H/Z) \cdot P_N(B/Z), \\ P(Xo/Z) &= P_{\Theta}(B/Z) \cdot P_N(B/Z), \quad P(\Phi l/Z) = P_{\Theta}(H/Z) \cdot P_N(H/Z). \end{aligned} \quad (11)$$

Результаты тестирования можно представить на плоскости интроверсия-экстраверсия – нейротизм, где размеры площадей равны вероятностям  $P(Ca/Z)$ ,  $P(Xo/Z)$ ,  $P(\Phi l/Z)$ ,  $P(Me/Z)$  и их расположения наглядно характеризуют темперамент личности (рис.1).

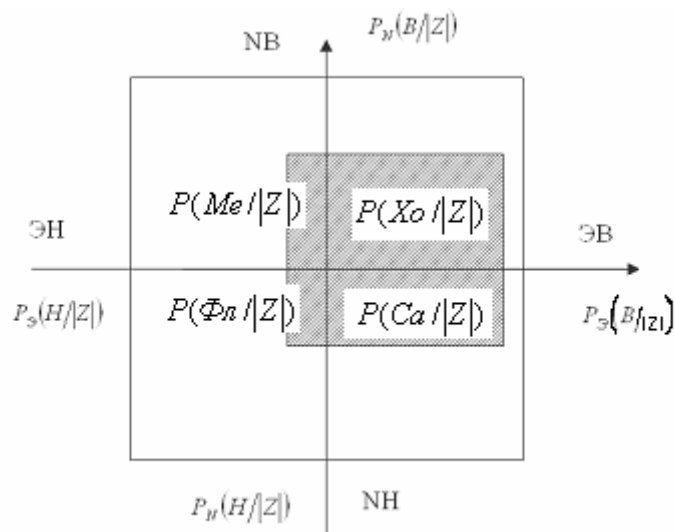


Рисунок 1 – Графическое представление результатов тестирования при использовании метода Раша-Байеса

Интегральными числовыми показателями темперамента личности по Айзенку являются оценки условных математических ожиданий функций согласия

$$M[Z/B] = \sum_{k=1}^n Z_k P(Z_k/B), M[Z/H] = \sum_{k=1}^n Z_k P(Z_k/H)$$

и условные выборочные дисперсии

$$D[Z/B] = \sum_{k=1}^n (Z_k - M[Z/B])^2 P(Z_k/B),$$

$$D[Z/H] = \sum_{k=1}^n (Z_k - M[Z/H])^2 P(Z_k/H)$$

Первые характеризуют психологическую составляющую темперамента, вторые – эмоциональную. Дополнительными числовыми показателями могут быть средние значения скорости обработки стимулов и оценки их разброса (выборочные дисперсии).

### Выводы

Между результатами компьютерного психометрического тестирования по методу Айзенка (следствием) и уровнями нейротизма и экстро-интроверсиями (причинами) имеет место вероятностная причинно-следственная связь, математической моделью которой, является формула Байеса. Надежность результатов компьютерного психометрического тестирования предлагается оценивать условными вероятностями правильности ответов на вопросы-стимулы с учетом скорости их осмысления, подготовки и принятия решений. Получены расчетные формулы для оценки по результатам тестирования условных вероятностей уровней нейротизма, экстраверсии и интроверсии, и по формуле Байеса определяется с какой вероятностью оцениваются типы темперамента (сангвиник, холерик, меланхолик, флегматик).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко С.В., Огоренко В.В. Информационные технологии индивидуального компьютерного психометрического тестирования. Системные технологии 6'(53). – Днепропетровск.-2007.-С.116-124.
2. Малайчук В.П., Дюбо С.В. Статистическая обработка результатов компьютерного психометрического исследования структуры личности. Вісник Дніпропетровського університету. Днепропетровск ДДУ, 1998г.
3. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика / Дюк В.А. // – Спб.: Братство. –1994. – 284с.
4. Бурлачук Л. Ф. Исследование личности в клинической психологии.- Киев, 1979.- 175 с

УДК 536.24

А.М. Павленко, Е.Н. Сайко

## ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ

*Аннотация. В данной работе рассмотрено влияние структурных параметров на теплопроводность пористого материала. Предложены рекомендации для оценки влияния различных факторов на теплопроводность пористого материала.*

**Введение.** В настоящее время исследования теплопроводности существенно неупорядоченных пористых структур остаются актуальными, что продиктовано широчайшим спектром применения таких материалов в определенном температурном диапазоне в промышленных целях.

При разработке новых материалов с набором заранее заданных теплофизических характеристик, необходимо исследовать закономерности формирования физико-механических свойств с учетом условий эксплуатации этих теплоизоляционных материалов. Поскольку пористые материалы имеют резко неоднородное строение, такие закономерности весьма сложны и недостаточно изучены. Таким образом, пористые теплоизоляционные материалы, как сложная гетерогенная структура, являются важным модельным объектом для установления фундаментальных закономерностей поведения неоднородных сред при действии высоких температур.

**Постановка задачи.** Пористые материалы представляют собой своеобразный класс неупорядоченных сред, особенности которых затрудняют применение традиционных методов описания структуры [1]. Исследование структуры таких материалов позволяет адекватно описать параметры строения, а также связать их с теплофизическими характеристиками. Широкий диапазон структурных и теплофизических свойств пористых материалов дает возможность использовать их в самых разнообразных условиях.

Сложность теоретического описания процесса переноса тепла в пористых структурах заключается не только в различных механизмах теплопереноса, но и в наличии двух фаз: собственно материала и газонаполненного порового пространства.

---

© Павленко А.М., Сайко Е.Н., 2010

Передача теплоты в пористых материалах осуществляется посредством:

кондуктивной теплопроводности твердого скелета (каркаса), образующего пористую структуру материала  $\lambda_{\text{карк}}$ ;

кондуктивной теплопроводности газа  $\lambda_{\text{г}}$ , находящегося в ячейках пор;

излучения между стенками пор (радиационная теплопроводность)  $\lambda_{\text{р}}$ ;

конвекции вследствие перемещения газа в порах материала  $\lambda_{\text{к}}$ .

Коэффициент теплопроводности пористого материала (эффективная теплопроводность) является суммарной характеристикой:

$$\lambda_{\text{эф}} = \lambda_{\text{карк}} + \lambda_{\text{г}} + \lambda_{\text{р}} + \lambda_{\text{к}} \quad (1)$$

Таким образом, эффективная теплопроводность пористого теплоизоляционного материала является сложной функцией, зависящей от многих факторов: температуры, давления газа в порах, пористости, размера пор, формы и упаковки пор, степени черноты стенок пор и др., оказывающих различное влияние на величину коэффициента теплопроводности.

Элементарные виды теплообмена не обособлены и в чистом виде не встречаются. Как правило, одновременно имеют место все виды теплообмена, поэтому количественная оценка вклада каждого из них в общую теплопередачу затруднена и доминирует при конкретных термодинамических условиях применения.

Необходимо проанализировать степень влияния каждого из потоков в общий тепловой поток, который передается через пористый материал. В связи с этим, актуальна задача определения данных параметров с целью применения конкретных материалов с набором заданных теплофизических свойств в определенных термодинамических условиях.

**Результаты исследований.** Конвективный теплообмен, возникающий в порах материала, протекает в ограниченном размерах пор и микрозазоров на стыке частиц пространстве. Ограниченность пространства препятствует возникновению конвективных токов газа, заполняющего поры, под действием температурного градиента. Таким образом, вследствие замкнутости объема пор материала и наличия восходящих и нисходящих потоков

сильно усложняются условия движения среды. Они зависят от геометрических размеров (диаметра пор), рода вещества, заполняющего поровое пространство, а также условий теплообмена.

Можно получить приближенное выражение для величины минимального температурного градиента  $\beta$ , необходимого для образования конвекционных токов в пористой среде [2]:

$$\beta = \frac{4\pi^2 \nu a}{kg\rho\beta_0 d^2} \quad (2)$$

где  $k$  и  $a$  – проницаемость и коэффициент температуропроводности среды,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\rho$ ,  $\nu$ ,  $\beta_0$  – плотность, кинематическая вязкость и коэффициент объемного температурного расширения газа, заполняющего поры,  $d$  – толщина исследуемого слоя материала.

Коэффициент конвекции  $\varepsilon_k$  является функцией критерия Релея [3]:

$$\varepsilon_k = f(Ra) \quad (3)$$

При малых значениях аргумента  $Ra < 10^3$  (или  $\lg Ra < 3$ ) значение функции  $\varepsilon_k = 1$  ( $\lg \varepsilon_k = 0$ ). Это означает, что при малых значениях  $Ra$  теплопередача в порах обуславливается только теплопроводностью воздуха. При значении  $10^3 < Ra < 10^6$  коэффициент конвекции

$$\varepsilon_k = 0,105 Ra^{0,3} \quad (4)$$

При значении  $10^6 < Ra < 10^{10}$  коэффициент конвекции

$$\varepsilon_k = 0,40 Ra^{0,2} \quad (5)$$

Принимая диапазон значений диаметра закрытой поры от 0,5 мм до 3,0 мм, перепад температур на границах поры до 20 °С (максимальный для закрытой поры), определим наличие конвекционных токов в закрытой поре в диапазоне температур -110 °С ... +1000 °С.

На рисунке 1 показаны результаты зависимости коэффициента конвекции от температуры при изменении диаметра пор закрытой поры. Из графика видно, что начало возникновения конвекции имеет место при диаметре поры, составляющем 3 мм и наличии перепада температур, равного 20 °С, но исключительно в диапазоне температур -110 °С ... -105 °С. При дальнейшем возрастании температуры возникновение конвекционных токов не наблюдается.

Принимая диапазон значений диаметра открытой поры от 9,0 мм до 20,0 мм, перепад температур на границах поры до 100 °С (максимальный для открытой поры), определим наличие конвекционных токов в открытой поре в диапазоне температур -110 °С ...+1000 °С. На рисунке 2 показаны результаты зависимости коэффициента конвекции от температуры при изменении диаметра пор открытой поры.

Из результатов расчетов, представленных на рисунке 2 видно, что в воздушных порах диаметром от 9,0 мм до 20,0 мм при наличии в поре перепада температур, возрастающего от 40°С до 100 °С, в исследованном интервале температур наблюдается наличие конвекционных токов. Для поры диаметром 9,0 мм при минимальном перепаде температур 40°С конвекция возникает в интервале температур от -110 °С до 100 °С. Дальнейшее возрастание температуры не приводит к возникновению конвективного тока. Для данной поры при перепаде температур 100°С конвекция возникает в интервале температур от -110 °С до 190 °С. Для поры диаметром 20,0 мм при минимальном перепаде температур 40°С конвекция возникает в интервале температур от -110 °С до 370 °С. Для данной поры при перепаде температур 100°С конвекция возникает в интервале температур от -110°С до 530 °С. При дальнейшем возрастании температуры возникновение конвекционных токов не наблюдается.

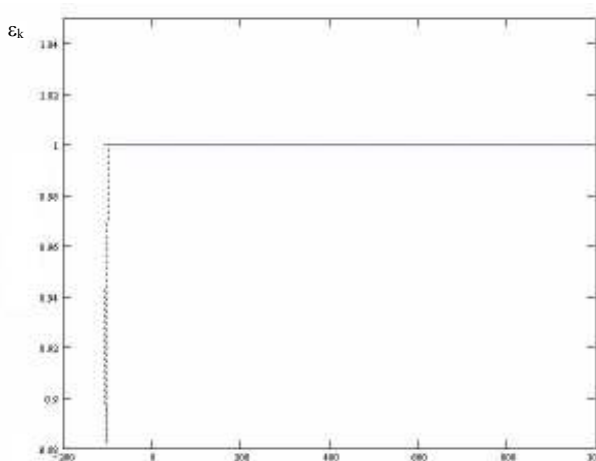


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента конвекции от температуры для закрытой поры

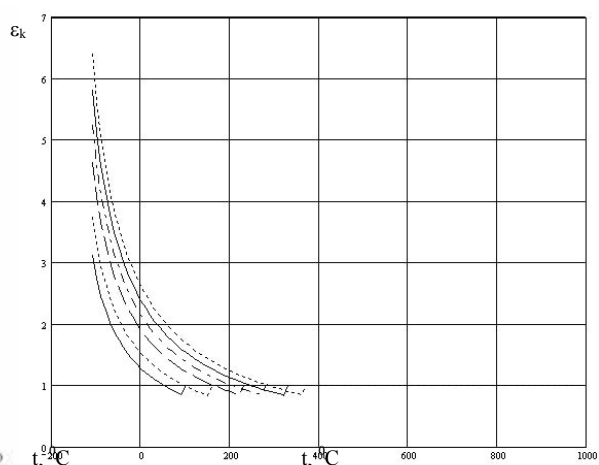


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента конвекции от температуры для открытой поры

Анализируя характер кривых зависимости коэффициента конвекции  $\epsilon_k$  от температуры (рис. 1 и рис. 2), можно сделать вывод,

что при приближении к температуре, при которой конвективный ток прекращается, происходит небольшой рост коэффициента конвекции (кривая имеет некоторый «скачок») от минимально возможной величины (при определенном температурном перепаде в поре) к  $\varepsilon_k=1$ . С увеличением температуры происходит снижение интенсивности теплопередачи путем конвекции, что можно объяснить взаимными помехами в движении поднимающихся и опускающихся потоков воздуха (влияние внутреннего трения воздуха о частицы), вследствие ограниченности пространства.

Влияние степени замкнутости пор на теплопроводность дисперсных материалов неоднозначно. При отрицательных, нормальных и повышенных температурах оно проявляется по разному. Кинематическая вязкость воздуха в пределах температур от +330 0С до -110 0С уменьшается в 13,2 раза. Воздух становится более текучим. В результате конвекция его внутри пористого материала возрастает. Поэтому для тепловой изоляции сооружений и оборудования, эксплуатируемого при отрицательной температуре, предпочтительны материалы с мелкой замкнутой ячеистой структурой. При невысоких положительных температурах воздух расширяется и в случае открытой пористости частично вытесняется из материала. Поэтому для ограждающих конструкций, работающих при невысокой положительной температуре, целесообразно применять материалы с равномерно распределенной открытой пористостью.

Вопрос о роли излучения в общей теплопередаче дисперсных систем оказывается наиболее сложным. На основании определения радиационного коэффициента теплопроводности  $\lambda_r$  имеем [4]:

$$\lambda_p = 2\varepsilon^2 \sigma T^3 h \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  - степень черноты поверхности поры;  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана;  $T$  – температура;  $h$ – толщина газовой прослойки.

Исходя из формулы (6), тепловой радиационный поток можно снизить как за счет уменьшения степени черноты поверхности поры, так и за счет уменьшения толщины газовой прослойки (при этом преимущественным параметром является уменьшение поверхности излучения и перепада температуры).

На рисунке 3 и рисунке 4 представим зависимость коэффициента лучистой теплопроводности от температуры при различных диаметрах пор и степени черноты поверхности поры.

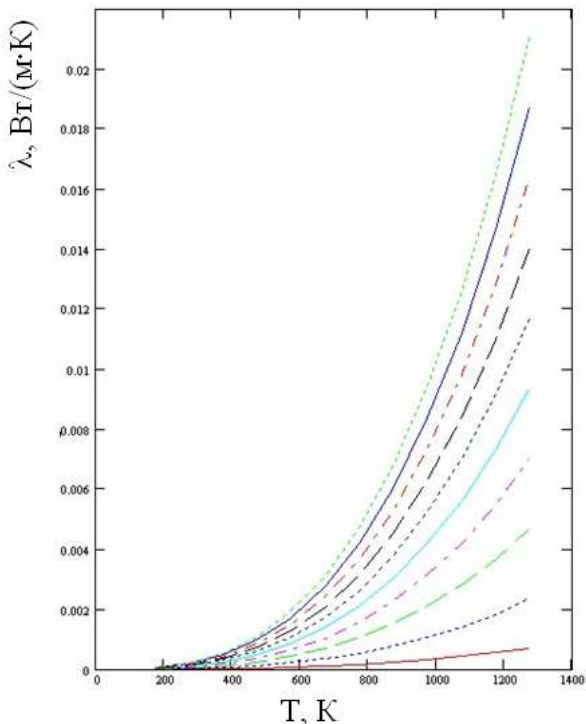


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента лучистой теплопроводности от температуры при  $\varepsilon = 0,1$

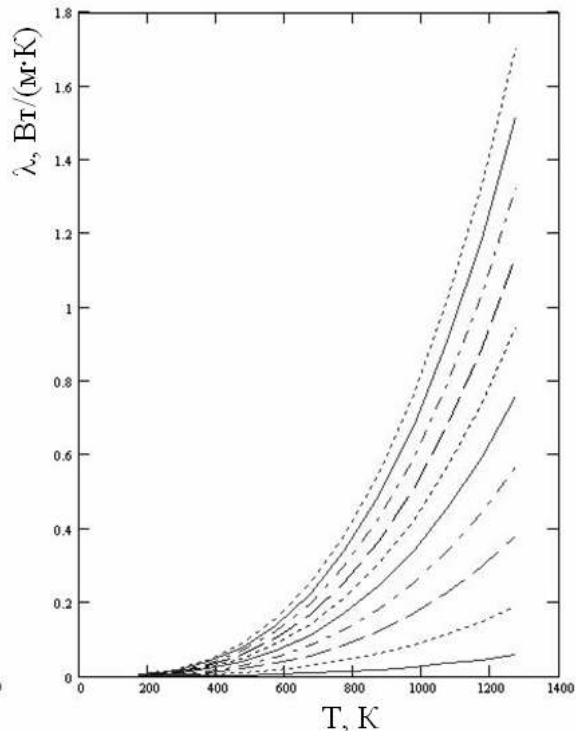


Рисунок 4 - Зависимость коэффициента лучистой теплопроводности от температуры при  $\varepsilon = 0,9$

Из графиков, представленных на рис. 3 и рис. 4 видно, что степень черноты поверхности поры оказывает существенное влияние на коэффициент лучистой теплопроводности.

Приведенный расчет зависимости коэффициента радиационной теплопроводности от температуры и степени дисперсности системы показал, что при низких температурах излучение мало влияет на общий процесс теплообмена. Уже при 10 °С в материале с порами размером 1 мм роль излучения усиливается и достигает заметного значения при 100 °С.

Анализ графиков дает основание считать, что при высоких температурах излучение возрастает особенно сильно. Крайне интенсивный рост радиационной теплопроводности в дисперсном объекте достигается при увеличении температуры до 1000 °С.

**Выводы.** Теплопередача в ячейке (поре) представляет собой сложный комплексный процесс. Рассматривая долю конвективной составляющей передачи тепла в общей теплопередаче в порах дисперсного материала, можно заключить, что конвекция преобладает над лучистым теплопереносом в области температур  $t$

$=+25^{\circ}\text{C}$  и умеренных температур порядка и ниже  $100^{\circ}\text{C}$ . С учетом того, что состав переходит во вспученное состояние в диапазоне  $t = 500-800^{\circ}\text{C}$ , а применяется как теплоизолирующий материал в диапазоне до  $1000^{\circ}\text{C}$ , вклад отдельных составляющих (конвекция, излучение, теплопроводность) в общий теплоперенос зависит от температурных условий, при которых применяется данный материал.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков В.В. , Головин А.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 11. С. 54-57.
2. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов, Москва, 1962 г., 456 с.
3. Васильев Л.Л., Танаева А.С. Теплофизические свойства пористых материалов. Минск, 1971., 265 с.
4. Белов С.В. Пористые проницаемые материалы. М.: Металлургия, 1987. – 335 с.

Получено 29.01.2010г.

**ДИСКРЕТНЕ ФУР'Є-ПРОДОВЖЕННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ**

*Анотація. В даній статі розглядається алгоритм прогнозування низькочастотної складової часового ряду, який полягає у апроксимації даних сумою гармонічних функцій. Пропонується ітераційний алгоритм оцінювання параметрів моделі низькочастотної складової за допомогою мінімізації функціоналу нев'язки. Експериментальна апробація ефективності запропонованого алгоритму на прикладах фінансово-економічних часових рядів показав достатньо високу точність отриманих прогнозів.*

**1. Постановка проблеми, завдання дослідження**

Задача прогнозування часових рядів різної природи, зокрема фінансово-економічних, є надзвичайно актуальною з огляду на кількість публікацій з даної тематики. Розглядаються підходи до екстраполяції тренду часового ряду аналітичною функцією[1], конструювання моделі відтворення ряду на основі технології нейронних мереж[2], побудова багатofакторних регресійних [3] чи авторегресійних [4] моделей та їх розширений варіант – метод групового урахування аргументів [5]. В даній роботі основною ідеєю побудови прогнозу є дослідження частотних характеристик коливань, наявних у динамічному ряді та екстраполяція ряду сумою гармонічних функцій.

**2. Аналіз основних публікацій щодо проблеми дослідження**

Задача прогнозування часових рядів на основі частотних складових розглядалися у роботах [6], де запропоновано використання дискретного перетворення Фур'є. Перетворення Фур'є дає можливість дослідити амплітудно-частотну характеристику сигналу, що досліджується, але має певні недоліки, зв'язані з задачами прогнозування. Зокрема, нульова фаза коливань в перетворенні Фур'є не дає можливість відтворити та спрогнозувати низькочастотний сигнали зі зміщенням фази, які частіше всього зустрічаються у реальних системах. Також спектр частот, кратних 2 не дає можливість порівняно невеликою кількістю доданків ряду

Фур'є представити сигнал з частотою, не кратною 2 до кроку часової дискретизації ряду. Підхід вейвлет-аналізу, запропонований у роботах [7], дає можливість подолати першу з вищезазначених проблем, але залишається проблема неефективності, збитковості кодування частотних складових. В даній роботі пропонується підхід, який дозволяє подолати зазначені проблеми, описуючи сигнал достатньо малою кількістю гармонік (до 10) зі змінною фазою та здійснити прогноз ряду за допомогою екстраполяції аналітичного представлення його частотних характеристик.

### 3. Цілі статті, постановка задачі

Нехай ряд заданий послідовністю дискретних рівнів зі сталим кроком дискретизації часу  $\Delta t$ . Необхідно побудувати функцію  $y(t)$ , яка апроксимує задані емпіричні значення, оцінити параметри даної функції та експериментально перевірити ефективність прогнозів часового ряду на основі екстраполяції побудованої функції.

### 4. Основна частина

У роботах [8] та [9] авторами пропонується підхід до прогнозування часових рядів методом складних ланцюгів Маркова. Метод полягає у виявленні статистичних залежностей у послідовностях змін часового ряду та генерації продовження досліджуваного ряду з використанням виявлених залежностей. Апробація запропонованої методики показала, що прогнозування динамічних рядів за цією методикою дає непогані результати для рядів із високою регулярністю, повторюваністю значень для короткострокових прогнозів. Але при довгостроковому прогнозуванні слід враховувати також низькочастотні коливання у вихідному ряді. Для подолання цієї проблеми вищезазначена модель була вдосконалена введенням низькочастотної апроксимуючої функції виду

$$y_{\text{abs}}(t) = a + bt + \sum_{i=1}^m c_i \sin(d_i t + e_i) \quad (1)$$

або для відносного масштабу:

$$y_{\text{rel}}(t) = ae^{bt} \prod_{i=1}^m c_i \sin(d_i t + e_i). \quad (2)$$

Параметри моделі  $a$ ,  $b$ ,  $c_1, c_2, \dots, c_m$ ,  $d_1, \dots, d_m$ ,  $e_1, \dots, e_m$  мають бути мінімізовані відносно наступного критерію оптимальності:

$$F(a, b, c_1, \dots, c_m, d_1, \dots, d_m, e_1, \dots, e_m) = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{lin}}(t_0 + i\Delta t))^2, \quad (3)$$

або для відносного варіанту:

$$F(a, b, c_1, \dots, c_m, d_1, \dots, d_m, e_1, \dots, e_m) = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{y_i}{y_{\text{lin}}(t_0 + i\Delta t)} \right)^2. \quad (4)$$

При розв'язуванні задач оптимізації, необхідно задати початкові оцінки параметрів, які оптимізуються, а також накласти обмеження на їх значення. Суттєвим обмеженням необхідно піддати частоту  $\Delta t$ . У випадку короткої навчальної вибірки можлива ситуація, коли найкраща апроксимація відповідає неповному гармонічному коливанню. При цьому продовження даної аналітичної кривої може бути не характерним для ряду, що досліджується. Тому необхідною має бути умова відповідності 2-х повних коливань довжині навчальної, тобто частота коливання не може бути нижчою величини  $\frac{\pi}{n}$ , де  $n$  – довжина вибірки навчання. Також обмеження має бути накладене на високі частоти, що пояснюється по-перше, складністю розв'язування задач оптимізації для високих частот, зв'язаними з наявністю великої кількості хибних локальних мінімумів. Емпірично було вибране обмеження 10 коливань за час навчальної вибірки.

Оскільки число параметрів функції  $F$  зростає зі збільшенням числа гармонік  $m$ , пропонується ітераційна апроксимація по одній (або двох) гармоніках, обчислення залишків та застосування наступної ітерації до більш високочастотних залишків для одночастинного наближення:

$$r_i(t) = r_{i-1}(t) - (a + bt + c_i \sin(d_i t + e_i)), \quad (5)$$

або для  $m$ -частинного наближення:

$$r_i(t) = r_{i-1}(t) - \left( a + bt + \sum_{j=1}^m c_{ij} \sin(d_{ij} t + e_{ij}) \right). \quad (6)$$

Мінімізація нелінійного функціоналу нев'язки (3) або (4) зв'язана з труднощами, спричиненими існуванням декількох локальних мінімумів функції  $F$  у просторі значень параметрів. Для подолання цієї проблеми пропонується здійснювати оптимізацію з використанням декількох початкових оцінок значень параметрів. У якості початкових наближень для коефіцієнтів тренду вибираються

коефіцієнти лінійного тренду, визначені за допомогою МНК. Вибирається 2 початкових значення для фази: 0 та  $\pi$  радіан. Це дає можливість підкоректувати фазу апроксимуючої функції як в сторону збільшення, так і в сторону зменшення. Пропонується декілька початкових значень для частоти, вибраних із рівномірною сіткою в інтервалі між мінімальною та максимальною частотою. Емпірично вибрано кількість початкових значень частоти для низькочастотних коливань (перша ітерація, апроксимація безпосередньо вхідного ряду)  $nf=3$ , для середньочастотних (друга та подальші ітерації)  $nf=5$ .

### 5. Експериментальні результати.

Експериментальні результати апроксимації логарифму індексу Доу-Джонса наведені на рис. 1. Як видно з рис. 1, точність апроксимації досить висока, така апроксимація дозволяє виокремити низькочастотну складову ряду, що прогнозується, та отримати стаціонарні з точки зору статистики залишки (рис. 2.) Отримані залишки піддаються аналогічній апроксимації, в результаті чого виділяється наступна низькочастотна складова, наявна в ряді. Таким чином, виконуючи деяку кількість ітерацій даної процедури, отримаємо частотний спектр, який містить виокремлені на кожній ітерації низькочастотні складові.

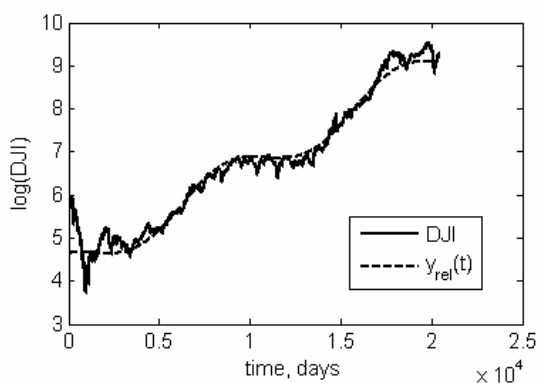


Рисунок 1 - Індекс Доу-Джонса, ітерація 1.

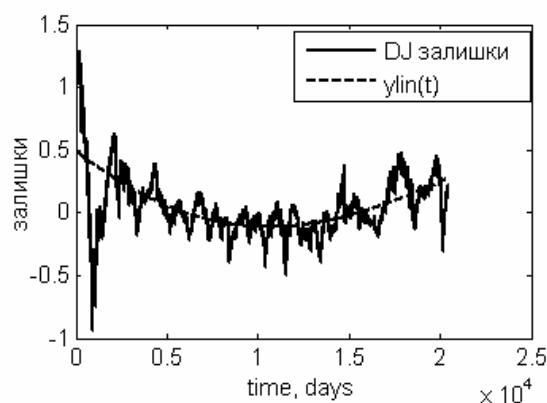


Рисунок 2 - Залишки та їх повторна апроксимація (ітерація 2).

Для прогнозування аналітичну суму гармонічних функцій екстраполюють в часі. На рис. 3. зображені результати прогнозування індексів Доу-Джонса та S&P 500 з різними початковими моментами прогнозу: за 100, 250, 500, 1000, 1500, 2000 днів до кінця відомих даних (останні дані за 12 квітня 2010 року)

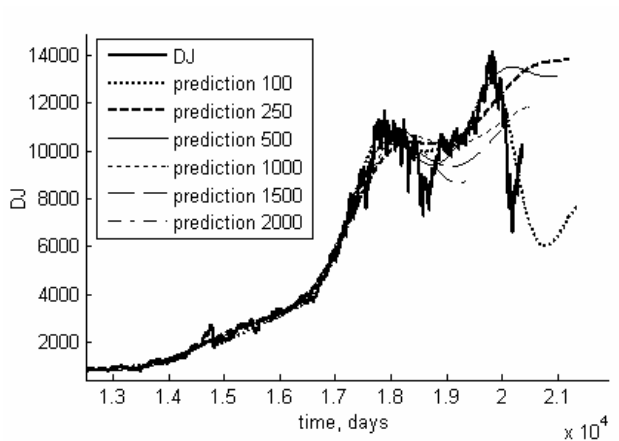


Рисунок 3 - Прогноз індексу Доу-Джонса

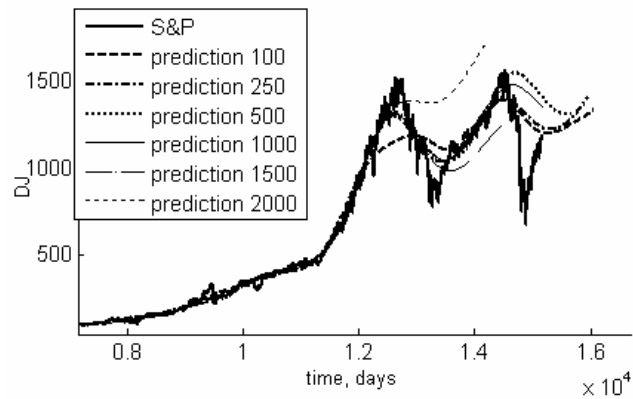


Рисунок 4 - Прогноз індексу S&amp;P 500

Дані результати показують достатньо високу точність прогнозів на низькочастотному рівні.

В середньо- та високочастотному діапазоні коливання відбувались нерегулярно, що погіршує результати прогнозів. Середні відхилення вихідного ряду та прогнозів наведені в таблиці 1. Критерієм якості прогнозу вибраний середній квадрат похибки MSE (7) та MAPE (8):

$$MSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - y(x_i))^2} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - y(x_i)|}{\bar{y}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Помічено, що зі збільшенням точності апроксимації збільшується точність прогнозів. Відхилення від поміченої особливості можуть бути пояснені наявністю кризи на навчальному або прогнозованому фрагменті, що створює різкі зміни ряду, що досліджується, які погіршують апроксимацію на навчальній вибірці та не дають можливості виявити шукані закономірності. Також кризові явища спричиняють відхилення прогнозів від реального продовження ряду, що може бути пояснене структурними перебудовами в системі, що досліджується. З цього необхідно зробити висновки, що падіння при кризових явищах можуть прогнозуватися наведеною методикою, як видно з рис. 3 та рис. 4, але глибину падіння визначити не вдається.

### 6. Вплив об'єму вибірки навчання на точність прогнозів.

Одним із параметрів запропонованого алгоритму, є об'єм навчальної вибірки, який задається кількістю значень вхідного ряду, які використовуються для оцінки параметрів функції (1) або (2). На рядах, які представлені значною історією значень, таких як індекс Доу-Джонса та S&P 500 проведена експериментальна апробація запропонованого алгоритму прогнозування з різними довжинами вибірки навчання. Результати експериментальної роботи наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Дослідження впливу довжини навчальної вибірки на результати прогнозування

| Індекс | Довжина навчальної вибірки | Похибка оцінювання на вибірці навчання |       | Довжина прогнозу | Похибки прогнозу |        |
|--------|----------------------------|----------------------------------------|-------|------------------|------------------|--------|
|        |                            | MSE                                    | MAPE  |                  | MSE              | MAPE   |
| DJ     | 2000                       | 60,894                                 | 3,1 % | 1000             | 525,2870         | 18%    |
| SP     | 2000                       | 3,25375                                | 2,27% | 1000             | 33,43603         | 10,25% |
| DJ     | 3000                       | 65,0776                                | 3,5%  | 1000             | 1520,364         | 37%    |
| SP     | 3000                       | 4,53145                                | 2,97% | 1000             | 50,31766         | 22,3%  |
| SP     | 4500                       | 5,53694                                | 3,5%  | 1000             | 67,47576         | 14,5%  |
| DJ     | 4500                       | 56,7211                                | 3,93% | 1000             | 1170,949         | 29%    |
| SP     | 7000                       | 7,10203                                | 4,3 % | 1000             | 284,5858         | 35%    |
| DJ     | 7000                       | 63,4337                                | 4,8 % | 1000             | 1533,841         | 27,4%  |
| SP     | 10500                      | 11,3889                                | 5,5 % | 1000             | 289,8961         | 28%    |
| DJ     | 10500                      | 71,2804                                | 6,1 % | 1000             | 584,3527         | 12%    |

Таблиця 1 містить усереднені результати прогнозування з різними довжинами навчальної вибірки (по 5 експериментів з кожним індексом та вибраною довжиною навчальної вибірки). Оптимальна довжина вибірки навчання для прогнозу в 1000 точок коливається в межах 2000-3000. Даний результат був підтверджений на інших часових рядах, але немає можливості провести на них детальне експериментування через недостатність історичних даних. При довжинах вибірки навчання 3000 отримані приклади прогнозів з MAPE=10,25%, що є дещо вищим за результати при інших довжинах вибірки. Це може бути пояснене наявністю постійної частоти коливань, яка залишилась незмінною на прогнозному фрагменті.

### 7. Висновки і подальша робота.

Запропоновано новий алгоритм прогнозування часових рядів на основі виявлення частотного спектру. Експериментальна апробація показала ефективність запропонованого методу для прогнозування рядів фінансово-економічної динаміки. У порівнянні з відомими класичними підходами, дана технологія дає можливість передбачати моменти часу, в яких можлива зміна тенденції часового ряду, що є важливим у роботі трейдерів на фінансових ринках. При високій інформативності отриманих прогнозів, про які говорять відповідання локальних мінімумів часових рядів прогнозу та реального продовження, класичні критерії оцінювання точності прогнозу (MSE, MARE) не дають можливості виокремити дану перевагу методу у порівнянні з іншими методами прогнозування. Тому актуальним є розробка нових критеріїв точності прогнозів, які по-перше адекватно відобразили співпадання точок зміни тренду при прогнозуванні, а по-друге дозволили спростити задачу пошуку оптимальних параметрів моделі. Похибки прогнозів даного методу можуть бути пояснені наступними моментами: 1) наявністю фінансової кризи на проміжку навчання або прогнозування; 2) похибками моделі частот, що спричиняють невідповідність екстремумів; 3) похибками амплітуд коливань, які не є сталими і можуть збільшуватись під час кризи. Для подолання проблем, які були помічені, пропонується здійснення пошук оптимальних коефіцієнтів одночасно за двома гармоніками (модель (6) при  $m=2$ ) з ціллю отримати більш складні їх комбінації (накладання частот, „биття”), що має покращити прогнозні можливості запропонованого методу.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Присенко Г. В., Равікович Є. І. Прогнозування соціально-економічних процесів / Присенко Г. В., Равікович Є. І. [Навч. посіб.] — К.: КНЕУ, 2005. — 378 с.
2. Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе. / Ежов А.А., Шумский С.А. — М., 1998.
3. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Лукашин Ю.П. [Учеб. пособие]. — М.: Финансы и статистика, 2003. — 416 с.

4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. / Бокс Дж., Дженкинс Г. – М.: Мир, 1974.
5. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: учеб. пособие для иностр. студ. вузов, направления "Компьютерные науки" / Зайченко Ю. П.; [М.З. Згуровский (общ.ред.)]. – К.: Слово, 2008. — 344 с.
6. The Fourier Transform and its applications Second edition, revised. / Ronald N. Bravwell. – McGraw-Hill Book Company, 1986.
7. Анушина, Е.С. Вейвлет-теория в задачах прогнозирования [Текст] / Н.Д. Поляхов, И.А. Приходько, Е.С. Анушина, Е.В. Хартян // Изв. СПб ГЭТУ «ЛЭТИ». – 2008. – Вып. 4. – С. 50–54
8. Чабаненко Д.М. Алгоритм прогнозування фінансових часових рядів на основі складних ланцюгів Маркова / Чабаненко Д.М. // Вісник Черкаського університету, Випуск 173. – 2003. – С. 90-102.
9. Фур'є-продовження низькочастотних складових рядів економічної динаміки / В.М. Сапцін, Д.М. Чабаненко / Проблеми економічної кібернетики: Тези доповідей XIV Всеукраїнської науково-методичної конференції (8-9 жовтня 2009 р., м. Харків). – Харків.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. – С. 132-133.

Одержано 30.01.2010р.

УДК 519.210 (075-8)

Д.А. Джамалов

**О РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ**

*Аннотация. Рассматривается вычисление вероятности в зависимости от обобщенной прочности  $\tilde{R}$  и от обобщенной нагрузки  $\tilde{Q}$ . Уточняются выражения для характеристики безопасности  $\gamma$  и коэффициента изменчивости  $\xi$ .*

Надежность строительных конструкций гарантируется расчетом на прочность и устойчивость, который устанавливает необходимую связь между действующей нагрузкой и прочностью материала конструкции. Полученные при этом соотношения представляются в виде неравенств, ограничивающие область надежных состояний конструкций.

При расчете конструкций на надежность все расчетные величины разделяют на две основные группы – прочности  $\tilde{R}$  и нагрузки  $\tilde{Q}$ . Надежность конструкции будет обеспечена при выполнении с некоторой вероятностью неравенства

$$\tilde{R} - \tilde{Q} > 0 \quad (1)$$

здесь  $\tilde{Q}$  - обобщенная нагрузка,  $\tilde{R}$  - обобщенная прочность конструкции.

Резерв прочности конструкции  $\tilde{T}$  - определяется выражением:

$$\tilde{T} = \tilde{R} - \tilde{Q} \quad (2)$$

при этом неравенство (1) получить вид:

$$\tilde{T} > 0 \quad (3)$$

Допустимая вероятность разрушения:

$$V = \int_{-\infty}^0 P_T(T) dT = P_t(0) \quad (4)$$

где  $P_T(T)$  – распределение плотности вероятности резерва прочности.

Если заданы красивые распределения  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$ , то можно построить кривую распределения  $\tilde{T}$ , используя формулу [1]:

$$P_T(T) = \int_{-\infty}^{\infty} P_R(T+Q)P_Q(Q)dQ, \quad (5)$$

здесь  $P_R(T)$  - плотность вероятности распределения прочности;

$P_R(T+Q)$  - плотность вероятности с аргументом  $(T+Q)$ ;

$P_Q(Q)$  - плотность вероятности распределения нагрузки.

В выражении (5)  $R$  и  $Q$  считаются взаимно независимыми случайными величинами. В случае взаимозависимости  $R$  и  $Q$ , в  $P(R, Q)$  надо заменить  $R$  на  $T+Q$ :

$$P_T(T) = \int_{-\infty}^{\infty} P(T+Q, Q)dQ, \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4) получим:

$$V = P_T(0) = \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^{\infty} P(T+Q, Q)dQdT \quad (7)$$

Если в этом выражении верхний предел первого интегрального знака заменить на  $Q$ , то под знаком интеграла  $dT$  надо заменить на  $d(T+Q) = dR$ , получим:

$$V = \int_{-\infty}^Q \int_{-\infty}^{\infty} P(R, Q)dQdR = \int_{-\infty}^Q \int_{-\infty}^Q P(R, Q)dRdQ \quad (8)$$

Аналогично, подставляя формулу

$$P_T(T) = \int_{-\infty}^{\infty} P(R, R-T)dR$$

в (4) получим:

$$V = \int_{-\infty}^{\infty} \int_R^{\infty} P(R, Q)dQdR \quad (9)$$

Если параметры  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$  являются взаимнонезависимыми, то вместо формул (8) и (9) можно записать:

$$V = \int_{-\infty}^{\infty} P_Q(Q) \int_{-\infty}^Q P_R dR dQ = \int_{-\infty}^{\infty} P_Q(Q)P_R(Q)dQ \quad (10)$$

и

$$V = \int_{-\infty}^{\infty} P_R(R) \int_R^{\infty} P_Q(Q)dQdR = \int_{-\infty}^{\infty} P_R(R)[1 - P_Q(R)]dR = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} P_R(R)P_Q(R)dR \quad (11)$$

В этих формулах переменную интегрирования обозначим через  $X$ ; тогда будем иметь:

$$V = \int_{-\infty}^{\infty} P_Q(x)P_R(x)dx = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} P_R(x)P_Q(x)dx \quad (12)$$

Функции, стоящие под знаком интеграла (12), можно представлять в виде произведения ординат кривых  $P_R(x)$  и  $P_Q(x)$ , совмещая эти кривые на оси абсцисс  $X$  или кривых  $P_Q(x)$  и  $1 - P_Q(x)$ .

При вычислении вероятности разрушения конструкции, удобно ввести в рассмотрение коэффициент запаса, равной отношению математических ожиданий прочности  $\bar{R}$  и действующей нагрузки  $\bar{Q}$ :

$$\xi = \bar{R} / \bar{Q} \quad (13)$$

При произвольных законах распределения  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$  имеем

$$\bar{T} = \bar{R} - \bar{Q} \text{ - математическое ожидание;} \quad (13a)$$

$$\hat{T} = \hat{R} + \hat{Q} \text{ - дисперсия случайных величин;} \quad (13б)$$

$$\hat{T} = \sqrt{\hat{R} + \hat{Q}} \text{ - стандарт случайной величины } \hat{T} \quad (13в)$$

Отношение  $\gamma = \bar{T} / \hat{T}$  - называется характеристикой безопасности

$$\gamma = \frac{\bar{T}}{\hat{T}} = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\hat{R} + \hat{Q}}} = A_T^{-1} \quad (14)$$

$A_T$ - коэффициент изменчивости резерва прочности.

Разделяя в правой части (14) числитель и знаменатель на  $\bar{Q}$  будем иметь:

$$\gamma = \frac{\frac{\bar{R}}{\bar{Q}} - 1}{\sqrt{\frac{\hat{R}}{\bar{Q}^2} + \frac{\hat{Q}}{\bar{Q}^2}}} = \frac{\xi - 1}{\sqrt{\frac{\hat{R}^2}{\bar{Q}^2} + \frac{\hat{Q}^2}{\bar{Q}^2}}} = \frac{\xi - 1}{\sqrt{A_Q^2 + \xi^2 A_R^2}} \quad (15)$$

$$\text{где } A_R = \frac{\hat{R}}{\bar{R}}; A_Q = \frac{\hat{Q}}{\bar{Q}} \quad (16)$$

В частном случае, при нулевой изменчивости прочности ( $A_R = 0$ ) из (15) следует:

$$\xi = 1 + \gamma A_Q \quad (17)$$

а при нулевой изменчивости нагрузки ( $A_Q = 0$ )

$$\xi = \frac{1}{1 - \gamma A_R} \quad (18)$$

Из выражения (15), после некоторых преобразований получим квадратное уравнение:

$$(1 - \gamma^2 A_R^2) \xi^2 - 2\xi + 1 - \gamma^2 A_Q^2 = 0 \quad (19)$$

откуда

$$\xi = \frac{1 + \sqrt{1 - (1 - \gamma^2 A_Q^2)(1 - \gamma^2 A_R^2)}}{1 - \gamma^2 A_R^2} \quad (20)$$

Формулу (20) можно записать в следующем виде:

$$\xi = \frac{1 + \sqrt{\gamma^2 (A_R^2 + A_Q^2) - \gamma^4 A_R^2 A_Q^2}}{1 - \gamma^2 A_R^2} \quad (21)$$

Пренебрегая квадратами малых величин  $A_R, A_Q$  будем иметь

$$\xi = 1 + \gamma \sqrt{A_R^2 + A_Q^2} \quad (22)$$

Для частных случаев, рассматриваемых выше получим:

$$\text{при } A_Q = 0, \xi = 1 + \gamma A_R \quad (23)$$

$$\text{и при } A_R = 0, \xi = 1 + \gamma A_Q \quad (24)$$

Сравнивая эти формулы соответственно с формулами (18) и (17) убеждаемся в том, что пренебрежение квадратами малых величин при  $A_R = 0$  приводит к одному и тому же результату; а при  $A_Q = 0$  полученные результаты отличаются друг от друга.

Между нагрузкой и прочностью существует корреляционная связь, которая в зависимости от состояния конструкций носит различный характер.

Положительная корреляционная связь нагрузки с прочностью ( $R, Q > 0$ ) имеет место в случае когда более прочные элементы с максимальной вероятностью предназначены для больших нагрузок.

В случае когда между  $\hat{R}$  и  $\hat{Q}$  существует отрицательная корреляционная связь ( $R, Q < 0$ ), менее прочные элементы воспринимают большие нагрузки.

Если с помощью смещанной дисперсии удастся оценить величину корреляционной связи между  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$ , то смещанную дисперсию  $R, Q$  можно введя формулы для определения коэффициента запаса  $\xi$ .

В общем случае дисперсия резерва прочности  $\hat{T}$  выражается формулой:

$$\hat{T} = \hat{R} - 2R, \hat{Q} + \hat{Q} \quad (25)$$

В таком случае для характеристики безопасности  $\gamma$  вместо формулы (14) будем иметь:

$$\gamma = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\bar{R} - 2R, \hat{Q} + \hat{Q}}} \quad (26)$$

а взамен формулы (15)

$$\gamma = \frac{\xi - 1}{\sqrt{A_Q^2 - 2\xi A_{RQ}^2 + \xi A_R^2}} \quad (27)$$

где  $A_{RQ} = \sqrt{\frac{R, \hat{Q}}{\bar{R}\bar{Q}}}$

При этом уравнение (19) запишется в виде:

$$(1 - A_{RQ}^2 \gamma^2) \xi^2 - 2(1 - \gamma^2 A_{RQ}^2) \xi + (1 - \gamma^2 A_Q^2) = 0 \quad (28)$$

Решением этого уравнения будет:

$$\xi = \frac{1 - A_{RQ}^2 \gamma^2 + \sqrt{(1 - A_{RQ}^2 \gamma^2)^2 - (1 - \gamma^2 A_Q^2)(1 - A_R^2 \gamma^2)}}{1 - \gamma^2 A_R^2} \quad (29)$$

Пренебрегая квадратами малых величин  $A_R, A_Q, A_{RQ}$  по сравнению с их первыми степенями будем иметь:

$$\xi = 1 + \gamma \sqrt{A_Q^2 - 2A_{RQ}^2 + A_R^2} \quad (30)$$

Сравнивая это выражение с (22) можно убедиться в том, что при существовании корреляционной связи между нагрузкой и прочностью, коэффициент запаса  $\xi$  несколько снижается, так как  $A_{RQ}$  положительная величина.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ржаницин А.Р. Определение коэффициента запаса при нагрузках представляющих собой случайные процессы. «Строительная механика и расчет сооружений», 1971, № 3

Получено 30.01.2010г.

УДК 621.311.2.22

Р.Т. Исмайылов

## **О ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПО НОВОЙ БЕССТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*Аннотация. В статье рассматривается разработанная новая бессточная технология подготовки воды для систем теплоснабжения. В результате анализа и исследования выведены математические выражения для определения основных режимных параметров бессточных установок работающие по предложенной технологической схеме.*

Для подпитки систем теплоснабжения используется обессоленная, умягченная или частично – умягченная вода. Обессоленная вода используется в ТЭЦ - ях, в паровых генераторах работающих при критических и сверхкритических давлениях. Умягченная вода обычно используется для подпитки паровых генераторов работающих при низких и средних давлениях, а также для подпитки испарителей, а частично – умягченная вода используется для подпитки тепловых сетей [1].

При подготовки подпиточной воды для тепловых сетей с использованием воды из городского водопровода отпадает необходимость предварительной очистки воды от грубодисперсных примесей. Поэтому использование осветлителей для осаждения ионов жесткости с применением метода содо-известкования заметно увеличивает себестоимость умягченной воды.

Учитывая вышеизложенное разработана новая технология подготовки воды для систем теплоснабжения в случае использования в качестве исходной воды из городского водопровода. В разработанной технологии с целью подготовки частично- или полностью умягченной воды в качестве реагента используется раствор серной кислоты. Она по сравнению с раствором соляной кислоты более дешевле и удобна при эксплуатации. Кроме того, применение раствора серной кислоты позволяет удалить ионы кальция из состава отработанных регенерационных растворов в виде  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и создает условия обеспечить бессточность процесса обработки воды.

---

© Исмайылов Р.Т., 2010

В данной статье рассматривается технология подготовки воды для систем теплоснабжения с применением Н – катионирования с условием регенерации катионита с технометрическим количеством серной кислоты.

На рисунке а показана принципиальная схема подготовки воды путем частичного умягчения с применением Н – катионирования с «голодной» регенерацией. Исходная вода пропускается через Н – катионированный фильтр (1) и с помощью воздуха продуваемым вентилятором (3) декарбонизируется в декарбонизаторе (2). Далее частично умягченная вода собирается в бак (4), и с помощью насоса (5) пропускается через саморегенерирующийся буферный фильтр и направляется к потребителю.

При «голодной» регенерации ионы водорода полностью задерживаются катионитом и вследствие этого в отработанном регенерационном растворе и отмывочных водах кислота отсутствует. Кроме того, количество кислоты в этом режиме выбирается таким условием, что при стадии обработки не появилась вода кислого характера. Однако, учитывая вероятность появления в определенном этапе стадии обработки воды кислого характера, а также для поддержки щелочности обработанной воды в необходимом уровне за Н – катионитным фильтром устанавливают буферный саморегенерируемый фильтр с загрузкой из сульфогля.

В этом режиме рабочая обменная емкость катионита в Н – катионитном фильтре получается низкой и тем самым неэффективно используется возможность Н – катионитного фильтра. Кроме того Н – катионирование с «голодной» регенерацией рекомендовалось применить только для вод гидрокарбонатного класса.

С целью устранения вышеуказанного недостатка присущего Н – катионированию с «голодной» регенерацией нами разработана и исследована новая технология регенерации Н – катионитного фильтра. Согласно разработанной технологии на регенерацию Н – катионитного фильтра подается раствор кислоты превышающий количество кислоты используемой при «голодной» регенерации [2].

В предложенной технологии удельное количество кислоты выбирается таким образом, что в стадии регенерации и отмывки из фильтра не выходит отработанный регенерационный раствор кислого

характера. А появление кислого фильтрата при стадии обработки исходной воды, в отличие от традиционного Н – катионирования с «голодной» регенерацией, не ограничивается.

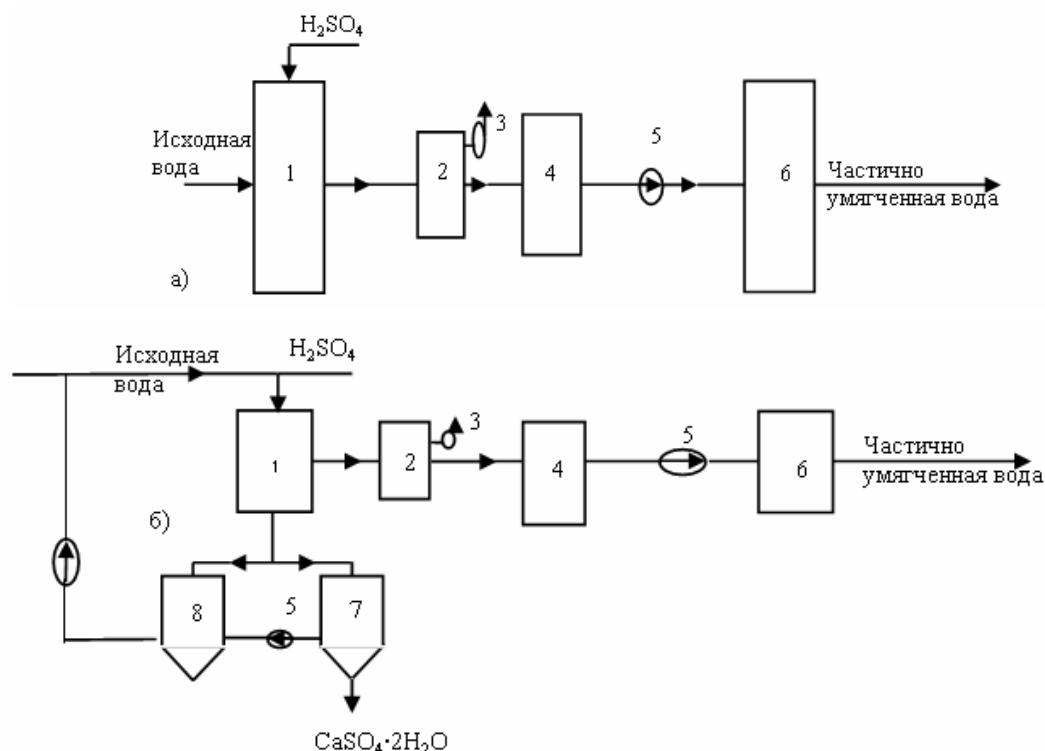


Рисунок 1 - Схема установок со сбросом стоков и бессточного водоприготовлений а) со сбросом стоков, б) бессточный

Кислотность фильтрата, появляющегося в определенном этапе обработки воды, устраняется в буферном фильтре, который все равно предусматривается устанавливать после Н – катионитного фильтра. При традиционной Н – катионировании с «голодной» регенерацией буферный фильтр можно сказать, что считается почти без действия.

Таким образом не устанавливая никакого дополнительного оборудования и не увеличивая капитальных затрат появляется возможность повысить эффективность процесса водоприготовления на счет увеличения рабочей обменной емкости катионита сульфогугля в Н – катионитном фильтре. В результате этого количество регенераций, а также количество одновременно регенерируемых фильтров уменьшается, т.е. уменьшается общее количество и Н – катионитных и буферных фильтров. За счет увеличения рабочей обменной емкости катионита уменьшается количество отработанных регенерационных растворов и вследствие этого объем сборных баков и производительность насосов уменьшается. Отмеченные преимущества предложенной технологии обуславливают создание более компактных

водоподготовительных установок при более высоких производительностях, уменьшение капиталовложений и себестоимости обработанной воды.

Проведенное нами исследование показало, что применение предложенной технологии позволяет увеличить рабочую обменную емкость катионита сульфогля при Н – катионитном фильтре на 50 – 60% по сравнению с традиционной Н – катионированием с «голодной» регенерацией.

Нами разработана также технологическая схема бессточной регенерации Н – катионитного фильтра. Согласно разработанной бессточной технологии принципиальная схема которого показано на рисунке б, концентрированная часть отработанного регенерационного раствора собирается в бак кристаллизатор (7), а разбавленная часть собирается в бак (8). После осаждения основного количества ионов кальция из ОРР в виде  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в кристаллизаторе, раствор из бака (7) также направляется в бак (8). С помощью насоса после смешивания с мало концентрированной частью раствор из бака (8) с помощью насоса (10) смешивается с исходной водой и направляется на Н – катионитный фильтр (1) для обработки. Таким образом, сточные воды образующиеся при регенерации Н – катионитного фильтра утилизируются в самом процессе водоприготовления.

При традиционной технологии Н – катионирования с «голодной» регенерацией в буферный фильтр почти не поступает фильтрат кислого характера и буферный фильтр сыграет страхующую функцию. При предложенной технологии в начальной стадии обработки буферный фильтр поступает в фильтрат кислого характера, а потом фильтрат щелочного характера. Таким образом в новой технологии буферный фильтр действует полной силой выполняя свою предназначенную функцию, и в результате обеспечивается получение фильтрата со средней остаточной щелочностью.

Для выявления основных параметров процесса водоприготовления при применении новой технологии и определения области применения данной технологии нами было получено математическое выражение.

Концентрация ионов кальция на входе Н – катионитного фильтра при бессточной технологии будет выше, чем в традиционной технологии. Причиной тому, является остаточная концентрация

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  из бака кристаллизатора (7), которая смешивается с исходной водой для подачи заново в Н – катионитный фильтр. В этом случае концентрацию ионов кальция при входе из Н – катионитного фильтра можно определить следующим образом:

$$\text{Ca}_{\text{см}} = \frac{\text{Ca}_{\text{исх}} - \text{Ca}_{\text{фил}}(1 - \eta)}{\eta}; \text{мг экв / л} \quad (1)$$

где  $\text{Ca}_{\text{см}}$  – концентрация ионов кальция в смеси на входе из Н – катионитного фильтра, мг – экв/л;  $\text{Ca}_{\text{исх}}$  – концентрация ионов кальция в исходной водопроводной воде, мг – экв/л;  $\text{Ca}_{\text{фил}}$  – среднеостаточная концентрация ионов кальция в фильтрате за фильтроцикл, мг – экв;  $\eta$  – коэффициент показывающий долю осаждаемых ионов кальция в кристаллизаторе в виде  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Концентрацию осаждаемых ионов кальция в кристаллизаторе можно определить по формуле:

$$\sum \text{CaSO}_{4\text{осаж}} = \eta (\text{Ca}_{\text{см}} - \text{Ca}_{\text{фил}}) \text{mq} - \text{экв} \quad (2)$$

Снижение солесодержания фильтрата будет происходить за счет снижения концентрации ионов кальция:

$$\Delta S = \text{Ca}_{\text{исх}} - \text{Ca}_{\text{фил}} \text{mq} - \text{экв / л} \quad (3)$$

где  $\text{Ca}_{\text{исх}}$  – концентрация ионов кальция в исходной водопроводной воде: мг-экв/л;

Тогда остаточное общее солесодержание обработанной воды можно определить по формуле:

$$C_{\text{ост}} = C_{\text{исх}} - \Delta S \text{ мг – экв / л} \quad (4)$$

где  $C_{\text{исх}}$  – солесодержание исходной водопроводной воды, мг-экв/л.

Удельный расход серной кислоты для каждого 1м<sup>3</sup> обработанной воды, подаваемой на регенерацию катионитного фильтра можно определить по формуле:

$$\sum \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Ca}_{\text{исх}} - \text{Ca}_{\text{фил}}}{\eta} \text{q} - \text{экв / м}^3 \quad (5)$$

Расход кислоты по новой технологии будет превышать расход кислоты по традиционной технологии на величину  $(\text{Ca}_{\text{см}} - \text{Ca}_{\text{исх}})$  мг-экв/м. Поэтому при новой технологии щелочность обработанной воды получается более низкой. Дополнительное количество серной кислоты используется для задержания ионов кальция циркулирующих между кристаллизатором и Н – катионитным фильтром.

Концентрация кальциевых соединений циркулирующих в

технологической схеме можно определить формулой:

$$Ca_{\text{цирк}} = \frac{1-\eta}{\eta} (Ca_{\text{исх}} - Ca_{\text{фил}}) m q - \text{экв} / \text{л} \quad (6)$$

На основе вышеуказанных формул было получено выражение для определения области применения предложенной новой технологии:

$$Q_{\text{исх}} - Ca_{\text{исх}} \geq Q_{\text{доп}} - Ca_{\text{фил}} \quad (7)$$

где  $Q_{\text{исх}}$  – щелочность исходной воды, мг-экв/л;

$Q_{\text{доп}}$  – допустимая средняя концентрация ионов щелочности в фильтрате, мг-экв/л, которую можно определить из выражения карбонатного индекса:

$$Q_{\text{доп}} = \frac{I_k}{Ca_{\text{фил}}} \quad (8)$$

где  $I_k$  – карбонатный индекс.

Учитывая выражение (8) в выражении (7) получим зависимость для определения область применение новой технологии:

$$Q_{\text{исх}} - Ca_{\text{исх}} \geq \frac{I_k}{Ca_{\text{фил}}} - Ca_{\text{фил}} \quad (9)$$

Как следует из полученного выражения область применения новой бессточной технологии водоприготовления Н – катионированием зависит от щелочности и концентрации ионов кальция исходной воды.

### Выводы

Разработанна новая бессточная технология подготовки воды для тепловых сетей.

Разработанная технология позволяет повысить эффективность процесса Н – катионирования при стехнометрическом удельном расходе кислоты и расширит область применение этого метода.

Получены математические выражения для определения технологических параметров водоподготовительной установки работающей по новой бессточной технологии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Фейзиев Г.К., Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды Баку. 2009.441с.
2. Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и воднохимический режим тепловых сетей. М. Энергоиздат, 1982.

УДК 51-74:669.162-669.181.4

И.Г. Тригуб, С.С. Федоров, С.Н. Форись, В.И. Головко

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗАСЫПИ ИЗВЕСТНЯКА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ШАХТНОЙ ПЕЧИ**

*Аннотация.* Рассматривается взаимосвязь тепло-технологических параметров работы шахтной известково-обжигательной печи на основе математической модели, учитывающей тепло-массообменные процессы в объеме печи, и каркасной модели засыпи материалов в шахте. Предложено определение показателей обжига известняка в зависимости от изменения конфигурации поверхности засыпи (высоты и углов откоса). Показана возможность использования моделей для определения оптимального уровня загрузки шахты и конфигурации верха печи с целью совершенствования режимов загрузки.

*Ключевые слова:* шахтные печи, конфигурация поверхности, процесс обжига, математическая модель печи, взаимосвязь тепло-технологических параметров

### **Постановка проблемы**

Исследованию тепловой работы шахтных известково-обжигательных печей посвящено множество фундаментальных работ [1-3]. Каждое из физических явлений, протекающих в печном агрегате, а именно движение газов в плотном слое, конвективный и диффузионный перенос тепла, горение топлива, процессы внешнего и внутреннего теплообмена, достаточно хорошо изучено. Вместе с тем важным с точки зрения управления технологическим процессом является комплексное представление о работе шахтных печей, учитывающее взаимодействие вышеуказанных явлений [4], а также влияние конфигурации поверхности в печи (высоты и углов откоса засыпи материалов) на характер протекания процессов обжига.

Задача повышения качества готовой извести, а также реализация энергоэффективных режимов работы шахтных печей на газообразном топливе, при наличии в шахте свободного незаполненного материалом печного пространства, может быть решена путем своевременной обоснованной работы АСУ загрузки-выгрузки. В этом смысле интересен и актуален системный подход, основанный на комплексном математическом моделировании

---

© Тригуб И.Г., Федоров С.С., Форись С.Н., Головко В.И., 2010

шахтных печей с учетом известных особенностей теплообмена и газодинамики [5], а также информации о высоте и форме засыпи загружаемых в печь кусковых материалов [6].

#### **Анализ публикаций по теме исследования**

Многочисленные работы в области механики движения материала и газов в шахтных печах [1-2], известные математические модели обжига [4-5, 7-8], созданные на основе закономерностей кинетики диссоциации известняка и рассматривающие теплообменные процессы, протекающие внутри столба обжигаемого материала, направлены на изучение теплофизических процессов с целью прогнозирования показателей обжига и разработку рациональных режимов работы печных агрегатов. Вместе с тем недостаточно изучен вопрос влияния высоты и формы поверхности засыпи материалов в шахте на показатели обжига.

Для исследования влияния конфигурации поверхности засыпи на процессы, протекающие в шахте печи и, как следствие на качество производимой извести были использованы математическая модель печи, отапливаемой газообразным топливом [4], и каркасная модель засыпи материалов в шахтной известково-обжигательной печи [6] применительно к условиям ОАО «ДМЗ им. Петровского».

В модели [4] рассмотрен и совместно решен ряд отдельных сопряженных задач: движение газов в плотном слое, конвективный и диффузионный перенос вещества, горение топлива, внешний и внутренний теплообмен. Учтены подводы газов в горелки и основание печи, а также потери через изоляцию. Принятым в модели допущением являлась работа печи в установившемся режиме, а именно постоянство во времени параметров газов и материала в каждой точке печного пространства. Система дифференциальных уравнений, описывающих работу печи, решена интегро-интерполяционным методом.

В модели [6] рассмотрен процесс формирования поверхности засыпи по мере загрузки с учетом особенностей геометрии рабочего пространства печи и траекторий падения материала в шахту, определены форма и углы откоса образующейся поверхности засыпи на различной высоте.

### Формулирование целей статьи

Целью данной работы явилось: определение взаимосвязи тепло-технологических параметров работы шахтной печи на основе анализа ее тепловой работы с учетом конфигурации поверхности засыпи (высоты и углов откоса кусковых материалов); проведение адаптации используемой математической модели к экспериментальным данным.

### Основная часть

Одним из основных факторов, повлиявших на выбор математической модели [4] для анализа тепловой работы шахтной печи, явилась реализация в ней последовательной проверки достоверности математического описания протекающих в печи теплофизических процессов. Так, адаптация газодинамики плотного слоя и анализ результатов исследований показали хорошее совпадение расчетных данных при шаге по высоте печи  $\Delta h$  и радиусу  $\Delta r \leq 0,25$  м. Также показано [4], что модель адекватно описывает процессы диффузионного переноса вещества: расхождение расчетных значений концентраций с аналитическим решением не превышает 10%. Хорошо согласуются между собой результаты численного и аналитического решений задачи внешнего теплообмена. При шаге по высоте  $\Delta h \leq 0,25$  м отклонение численного результата не превышает 3%. В ходе тестирования математической модели нагрева и термического разложения куска известняка [4] были определены интервалы допустимого изменения шага по времени  $\Delta \tau \leq 120$  с и по радиусу куска  $\Delta r_k \leq 0,01$  м, в пределах которых достигается максимальная точность.

Адаптация математической модели тепловой работы шахтной печи [4] к условиям участка обжига известняка ОАО «ДМЗ им. Петровского» выполнена с учетом задания параметров неровной конусообразной поверхности засыпи материалов – углов откоса и высоты столба шихты [6].

Схема шахтной известково-обжигательной печи применительно к ОАО «ДМЗ им. Петровского» с необходимыми условными обозначениями приведена на рис. 1.

Система уравнений, описывающих работу шахтной известково-обжигательной печи, приведена в работе [4] и включает следующие сопряженные задачи:

- движение газа в слое,

- перенос вещества и горение топлива в слое,
- внешний теплообмен в слое,
- внутренний тепломассообмен в куске материала.

В качестве критерия сходимости и завершенности последовательных вычислений конечно-разностных уравнений при решении каждой из сопряженных задач с последующими многократными итерациями был принят модуль невязки материального и теплового баланса печи. В соответствии со схемой (см. рис. 1) приходная часть теплового баланса включает теплоту, полученную в результате сгорания топлива, а также физическую теплоту, вносимую потоками массы вещества.

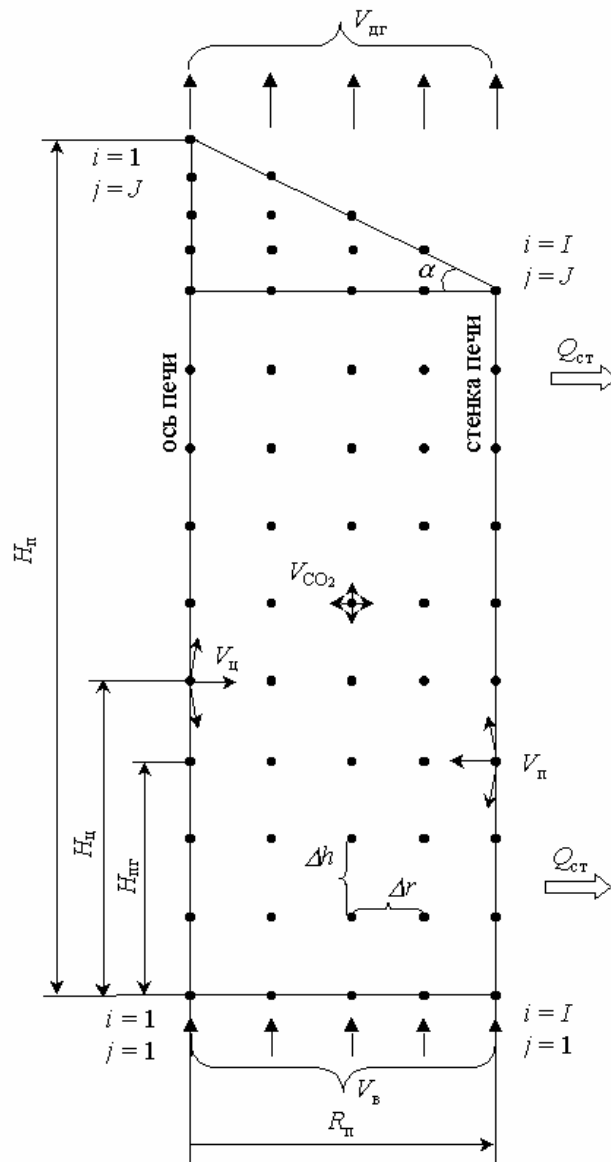


Рисунок 1 - Схема внешнего тепломассообмена в шахтной известково-обжигательной печи

На рисунке 1,  $H_{\text{п}}$  – высота печи;  $R_{\text{п}}$  – радиус печи;  $H_{\text{ц}}$  – уровень расположения центральной балочной горелки;  $H_{\text{пт}}$  – уровень яруса периферийных горелок;  $V_{\text{в}}$  – расход воздуха в основание печи;  $V_{\text{ц}}$  – расход газа на центральную горелку (топливо + воздух);  $V_{\text{п}}$  – расход газа на ярус периферийных горелок (топливо + воздух);  $V_{\text{CO}_2}$  – выход диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в результате диссоциации известняка;  $V_{\text{дг}}$  – расход дымовых газов на выходе из печи;  $Q_{\text{ст}}$  – потери теплоты через стенки печи;  $\Delta r$  – расчетный шаг по радиусу печи;  $\Delta h$  – расчетный шаг по высоте печи;  $i, j$  – индексы узловых точек по радиусу и высоте печи;  $I, J$  – количество узловых точек по радиусу и высоте печи.

Задача считалась решенной при достижении значений модуля невязки  $\leq 0,5 \%$ .

Базовый режим работы исследуемой шахтной печи представлен следующими показателями, полученными в ходе экспериментальных замеров на участке обжига завода:

- расход известняка  $G_{\text{изв-к}} = 72 \text{ т/сут}$ ,
- расход топлива на горелки  $B_{\text{пт}} = 290 \text{ м}^3/\text{ч}$  (пропорционально на балочную и периферийные горелки по  $145 \text{ м}^3/\text{ч}$ ),
- расход воздуха на печь  $V_{\text{в}} = 3512 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,
- высота конуса засыпи  $H_{\text{п}} = 6,9 \text{ м}$ ,
- угол откоса поверхности засыпи  $\alpha = 32^\circ$ ,
- температура загружаемого известняка  $20^\circ\text{C}$ ,
- содержание  $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{изв-к}}^{\text{общ}} = 53,9\%$ ,
- содержание  $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{изв}}^{\text{общ}} = 73,8 \%$ ,
- состав дымовых газов в соответствии с показаниями газоанализатора.

Анализ технологических показателей работы шахтной печи выполнялся в соответствии с методикой расчета [9]: степени обжига известняка, содержания в извести активного оксида кальция и магния, производительности печи по извести, КПД печи по обратному и прямому тепловому балансу, удельного расхода условного топлива.

Так, степень обжига известняка определялась по формуле

$$\sigma = \frac{1 - \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{из-к}}^{\text{общ}}}{(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{изв}}^{\text{общ}}}}{1 - 0,01 \cdot \text{RO}_{2\text{из-к}} - 0,01 \cdot (\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{из-к}}^{\text{общ}}} \cdot 100, \% . \quad (1)$$

КПД печи по обратному тепловому балансу

$$q_{\text{пол}} = 100 - (q_{\text{хим}}^{\text{ух}} + q_{\text{физ}}^{\text{ух}} + q_{\text{физ}}^{\text{гп}} + q_{\text{охл}}), \% . \quad (2)$$

КПД печи по прямому тепловому балансу

$$\eta = \frac{G_{\text{из-к}} \cdot \sigma \cdot q_{\text{дис}}}{Q_{\text{нпг}}^{\text{р}} \cdot V_{\text{см}}} \cdot 100, \% , \quad (3)$$

где  $G_{\text{из-к}}$  – производительность печи по известняку, т/сут;  
 $q_{\text{дис}}$  – теплота диссоциации, Вт;  $Q_{\text{нпг}}^{\text{р}}$  – теплота сгорания природного газа, Дж/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{см}}$  – суммарный расход природного газа и выделившегося в результате диссоциации диоксида углерода, м<sup>3</sup>/ч.

Моделирование тепловой работы шахтной печи проводилось для следующих входных данных: расхода известняка 72 т/сут, размера фракции  $r = 0,06$  м, углов откоса конуса засыпи  $\alpha = 32^\circ$  и  $\alpha = 0^\circ$  (ровная поверхность). Высота конуса засыпи при  $\alpha = 32^\circ$  устанавливалась в соответствии с базовым режимом  $H_{\text{п-к}} = 6,9$  м, исходя из чего уровень кусковых материалов изменялся от центра печи к периферии. Высота ровной поверхности устанавливалась исходя из соответствия объемов материала, ограниченных образующими конуса и ровной поверхностью, а именно  $H_{\text{п-р}} = 6,3$  м.

Первый этап исследований заключался в определении температуры газа  $t_r$  по радиусу печи (узлы  $i = 1 \dots I$ ) на различных горизонтах (высотах) обжигаемого материала (узлы  $j = 1 \dots J$ )  $H_{(i,j)}$  (см. рис. 1). Изменение этого параметра процесса термической диссоциации оказывает существенное влияние на качество производимой извести – степень обжига известняка  $\sigma$ . В результате установлено, что средняя температура в зоне нагрева материала выше при наличии конуса засыпи (кривая 2, рис. 2), чем в случае ровной поверхности (кривая 1, см. рис. 2).

Подобная динамика температур по высоте столба кусковых материалов связана с характером газораспределения по сечениям печи и плотностью слоя. Область высоких температур над балочной горелкой значительно выше, чем над периферийными. Поэтому центр

печи прогревается интенсивнее, несмотря на присутствие конуса. Нагрев известняка на периферии происходит менее активно в случае ровной поверхности засыпи ( $t_r = 352^\circ\text{C}$ ), так как уровень материала в пристенной области выше по сравнению с уровнем известняка у основания конуса (при одной и той же протяженности зоны высоких температур) (см. рис. 2, а и 2, б). Температура газа на периферии у поверхности конуса засыпи достигает  $543^\circ\text{C}$ .

Анализ качества извести выполнен по величине степени обжига  $\sigma$ , а также по содержанию в извести активного оксида кальция и магния.

По результатам моделирования можно судить: о характере изменения степени обжига материала в объеме печи от ее центра к периферии (см. рис. 3, а и б), КПД печи  $q_{\text{пол}}$ , потерях теплоты с уходящими газами  $q_{\text{физ}}^{\text{yx}}$  и от химического недожога топлива  $q_{\text{хим}}^{\text{yx}}$  в зависимости от конфигурации поверхности (с учетом конуса засыпи и для ровной поверхности). Так, при наличии конуса засыпи, КПД печи по обратному тепловому балансу составляет  $q_{\text{пол}}=44,0\%$ , несмотря на потери теплоты  $q_{\text{физ}}^{\text{yx}}=30,3\%$  и  $q_{\text{хим}}^{\text{yx}}=15,6\%$ . Ровная поверхность материала в шахте обеспечивает незначительное снижение потерь теплоты с уходящими газами  $q_{\text{физ}}^{\text{yx}}=28,7\%$  при увеличении потерь теплоты от химического недожога топлива  $q_{\text{хим}}^{\text{yx}}=19,6\%$  и общем снижении КПД печи  $q_{\text{пол}}=41,4\%$ .

Следует отметить, что размер зоны диссоциации над балочной горелкой на уровне 5,7 м в 2 раза шире при наличии конуса. Усреднение степени диссоциации по радиусу дает представление о динамике этого показателя по высоте печи (см. рис. 3).

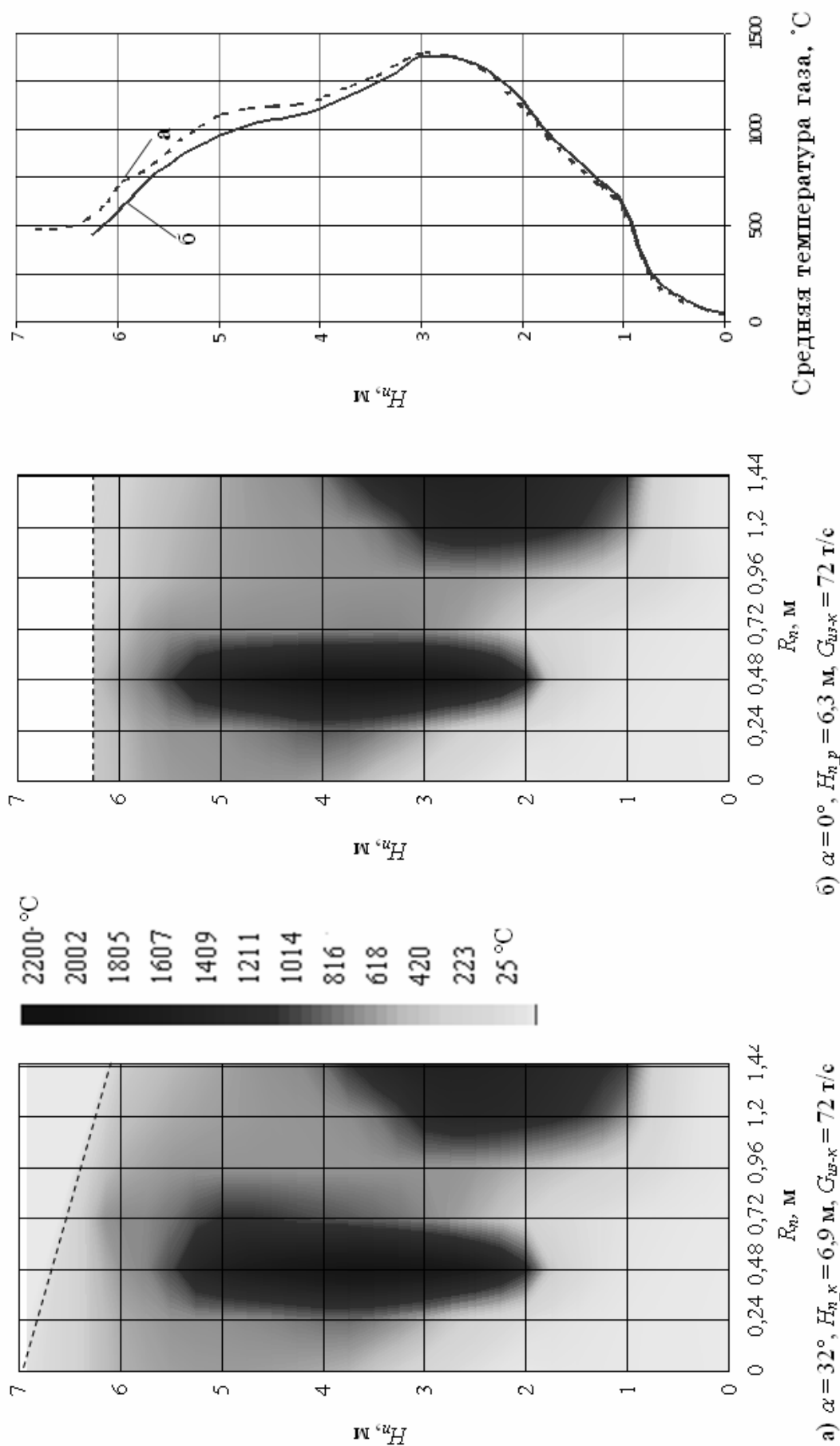


Рис. 2. Распределение температур газа в объеме печи (режим №1)

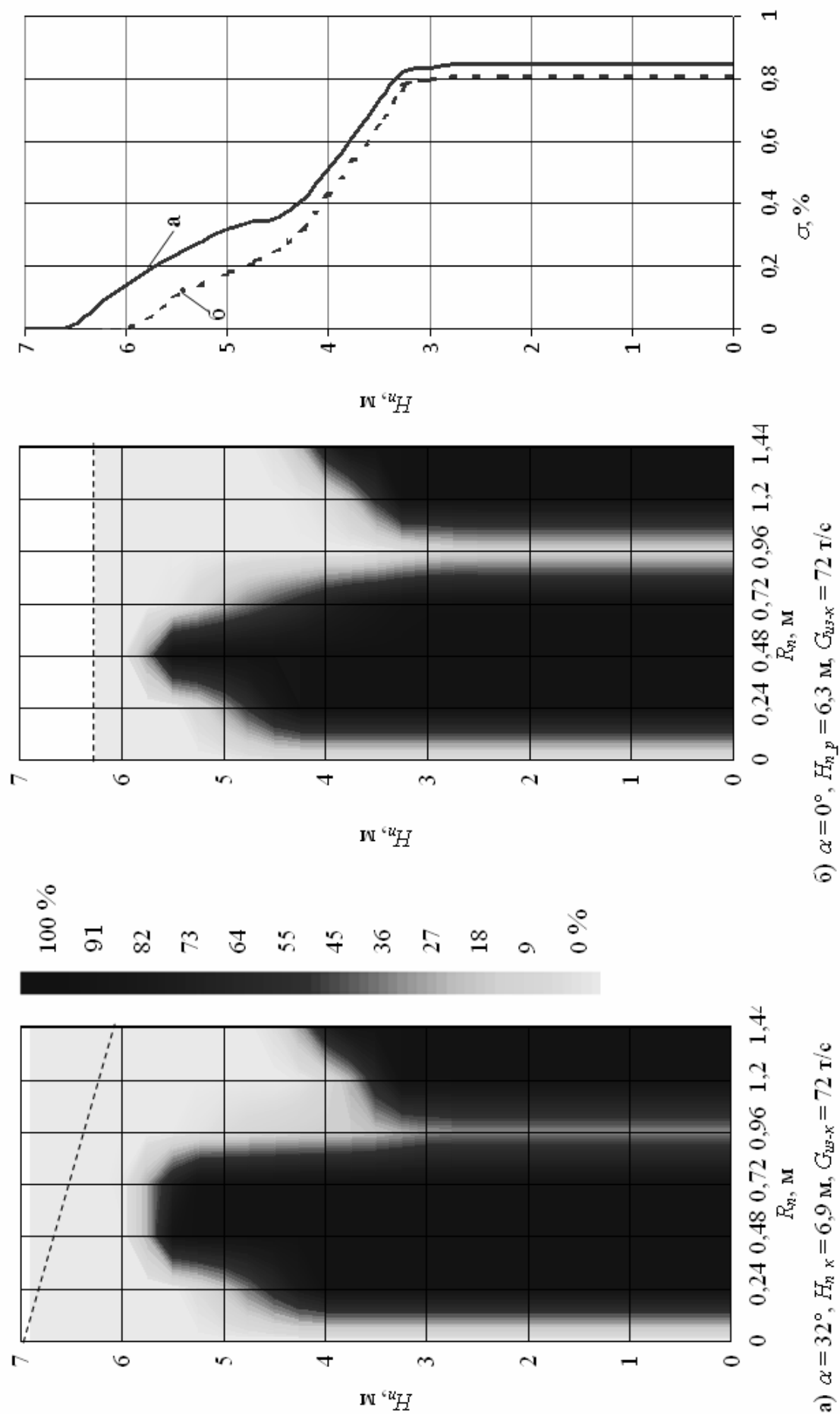


Рис. 3. Распределение степени обжига по высоте печи (режим №1)

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенные исследования на модели позволили установить качественное влияние конфигурации поверхности засыпи на показатели работы шахтной печи. Начало декарбонизации известняка происходит на более ранних горизонтах печи в случае поверхности засыпи, имеющей форму конуса (угол откоса  $\alpha = 32^\circ$ ). Это объясняется более рациональным распределением температур в зоне обжига. Вместе с тем КПД печи снижают значительные потери теплоты с уходящими газами ( $t_r = 543^\circ\text{C}$ ), что связано с перепадом высоты от центра к периферии, который определяется величиной угла откоса засыпи. В случае ровной поверхности зона разложения смещена ниже на 0,5 м (кривые а и б на рис. 3).

В результате получены следующие значения степени обжига известняка:  $\sigma = 84,5\%$  при наличии конуса засыпи,  $\sigma = 80,9\%$  в случае ровной поверхности материалов в печи.

Дальнейшие исследования тепловой работы шахтной известково-обжигательной печи необходимо выполнить для различных вариантов конфигурации верха печи – изменения как углов откоса засыпи, так и высоты загрузки, что с учетом технологических требований и представленных в данной работе результатов, позволит определить оптимальный уровень заполнения шахты при наиболее рациональной конфигурации верха печи. Перспектива использования результатов исследований состоит в разработке эффективных режимов загрузки шахты печи и алгоритмов управления процессом обжига известняка.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшенко Ю.П. Разработка и внедрение эффективных газодинамических и тепловых режимов шахтных печей для обжига известняка: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика» / Ю.П. Ляшенко – Днепропетровск, 1985. – 22 с.
2. Гордон Я.М. Механика движения материала и газов в шахтных печах / Гордон Я.М., Максимов Е.В., Швыдкий В.С. – Алма-Ата, 1989. – 144 с.
3. Монастырев А.В. Печи для производства извести / А.В. Монастырев, А.В. Александров – М.: Металлургия, 1979. – 232 с.

4. Форись С.Н. Математическое моделирование шахтных известково-обжиговых печей / С.Н. Форись, С.С. Федоров, М.В. Губинский // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (56). – Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.98-104.
5. Мойкин В. Разработка технологии и техники обжига известняка в шахтных печах / В. Мойкин // Оборудование. Технический альманах. – 2008. – № 2. – С. 12 – 15.
6. Моделирование поверхности засыпи в шахтной печи / И.Г. Тригуб, О.Н. Кукушкин, В.П. Радченко [и др.] // Сборник научных трудов НГУ №19, том 2. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – С.169-177.
7. Пархоменко Т.Ю. Прогнозирование качества металлургической извести на основе математической модели кинетики диссоциации известняка: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.02 «Металлургия черных металлов» / Т.Ю. Пархоменко. – Днепропетровск, 1989. – 17 с.
8. Голубев В.О. Оптимизация режима работы и конструкции шахтной печи известкового производства черной металлургии: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / В.О. Голубев. – Санкт-Петербург, 2007. – 20 с.
9. Федоров О.Г. Методика определения тепло-технологических показателей работы шахтных известково-обжиговых печей по результатам химического анализа дымовых газов / О.Г. Федоров, В.М. Бойко, С.И. Сазонов, С.Н. Форись // Металлургическая теплотехника: Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск: НМетАУ.– 2008. – Т.9. – С.10-15.

Получено 29.01.2010г.

УДК 004.93

В.М. Долгов, Т.В. Селиверстова

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ СЕГМЕНТАЦИИ  
НИЗКОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Аннотация. В работе предложен метод обработки изображений, который обеспечивает возможность повышения достоверности сегментации низкоконтрастных областей изображений по сравнению с традиционными методами обработки.*

*Ключевые слова: низкоконтрастные изображения, генетический алгоритм, сегментация изображений, совокупная межклассовая дисперсия, взвешенное среднее значение элементов класса, оптимальная последовательность границ кластеров.*

**Постановка проблемы.** Для ряда практически важных задач, связанных с обработкой изображений, важнейшей процедурой является сегментация. Все последующие шаги обработки (выделение признаков, распознавание образов, классификация) зависят от качества сегментации. Для решения этой проблемы было предложено достаточно большое количество алгоритмов, однако до сих пор не существует универсального, который позволял бы оптимальным образом выполнять сегментацию изображений.

Для решения этой задачи в основном используются итеративные методы кластеризации, которые базируются на априорном задании количества кластеров и некотором выборе первоначального разбиения. При этом результат их применения существенно зависит от правильности оценки количества кластеров. Одним из таких методов является метод k-средних [6]. Известны также и многие другие методы кластеризации, они основываются на теории графов, нечетких множествах, эвристические и другие [5, 6]. Однако основными проблемами их практического применения являются стандартные оптимизационные сложности дискретного перебора, большое число локальных экстремумов, вычисление вырожденных решений, наличие кластеров различной конфигурации и размера.

---

© Долгов В.М., Селиверстова Т.В., 2010

Также характерной особенностью задач сегментации изображений является отсутствие какой-либо априорной информации о количестве и вероятностных характеристиках кластеров, а также классифицированной обучающей выборки. В этих условиях для анализа изображений целесообразно использовать алгоритмы кластеризации, базирующиеся на непараметрическом подходе [7]. В настоящее время в рамках этого подхода разработано достаточно много алгоритмов [2, 3], однако область их применения ограничена в силу больших вычислительных затрат и сложности процедуры настройки основных параметров. К тому же, вычислительная сложность известных алгоритмов кластеризации существенно растет при увеличении мощности исследуемого множества данных.

Таким образом, можно сказать, что в данной предметной области не существует определяющего алгоритма и не предложено универсального подхода, позволяющего оптимальным образом сегментировать изображения любых классов.

Целью работы является модификация алгоритма Отсу для осуществления сегментации низкоконтрастных изображений на любое заранее неизвестное число классов и сравнение получаемых на основе предложенного метода результатов с традиционно используемыми подходами. При соответствующей пороговой обработке необходимо вычислить значение совокупной межклассовой дисперсии, после чего сформировать оптимальную последовательность границ кластеров путем последовательного перебора всех возможных вариантов границ. Сформировавшаяся задача является NP-сложной, поэтому для ускорения получения ее решения целесообразно использовать генетический алгоритм.

**Основная часть.** Алгоритмы сегментации можно условно разделить на алгоритмы выделения контуров и алгоритмы выделения областей изображения. К последним относится так называемая сегментация по порогу, предполагающая отнесение пикселей, значение яркости которых выше некоторого заданного порога, к одному классу, а прочих – ко второму классу. Разновидностью таких методов является метод Отсу [4], позволяющий сегментировать исходное изображение на 2 класса. В данной работе соответствующий алгоритм был модифицирован для обеспечения классификации на любое наперед заданное число классов. При этом значение

совокупной межклассовой дисперсии ( $\sigma B$ ), используемое в качестве целевой функции генетического алгоритма, вычисляется как сумма межклассовых дисперсий между всеми классами. Для этого в работе применено соотношение (1):

$$\sigma B = \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \frac{w_i \cdot w_j \cdot (u_i - u_j)^2}{(j - i)} = \sigma B(Thr) \quad (1)$$

где  $k$  – количество кластеров, на которые производится разбиение;

$w_i$  – вероятность попадания точки в класс  $i$ ;

$Thr$  – набор порогов, по которым производится кластеризация изображения;

$u_i$  – взвешенное среднее значение элементов класса  $i$ .

Исходно [4] это соотношение использовалось для сегментации только на 2 класса. Также в ней отсутствовал коэффициент  $1/(j-i)$ , введение которого авторами позволяет уменьшить влияние расстояния между несмежными кластерами на  $\sigma B$  и, как следствие, улучшить качество кластеризации изображений.

Вероятность попадания точки в соответствующий класс в (1) находится как

$$w_i = p_r(C_i) = \sum_{i=M}^N p_i = w_i(M, N) \quad (2)$$

а взвешенное среднее значение элементов класса

$$u_i = \sum_{j=M}^N j \cdot P(j) = u_i(M, N) \quad (3)$$

В соотношениях (2) и (3)  $M$ ,  $N$  – нижний и верхний уровни серого класса  $i$  соответственно;  $P(j)$  – значение плотности распределения вероятности исходного изображения для яркости  $j$ .

Оптимальную последовательность границ кластеров получаем, когда  $\sigma B(Thr)$  достигает максимума:

$$optThr = Arg\{Max\{\sigma B(Thr)\}\}, \quad (4)$$

где  $optThr$  – это оптимальная последовательность границ для кластеризации.

Таким образом, при решении данной оптимизационной задачи необходимо получить глобальный максимум. Очевидно, что эта задача является NP-сложной, поэтому для ускорения работы был

использован генетический алгоритм [1], предполагающий выполнение следующих этапов: 1) кодирование последовательностью границ сегментов изображения; 2) создание начальной популяции; 3) определение целевой функции; 4) определение оператора выбора; 5) определение оператора кроссовера; 6) определение оператора мутации; 7) определение оператора миграции; 8) определение количества элиты.

Генетический алгоритм позволяет значительно сократить объём вычислений в данной ситуации, так как главным образом служит для поиска решений в очень больших пространствах, и чем больше число классов, тем существеннее выигрыш.

При этом, благодаря существованию критерия качества сегментации в данном методе, представляется возможным в автоматическом режиме определить оптимальное, с точки зрения целевой функции, число кластеров, что является существенным преимуществом представленного алгоритма с традиционными.

На рис. 1 представлены результаты обработки модельного (рис. 1 а) изображения предложенным методом (рис. 1 б) и методом k-средних [6] (рис. 1 в).

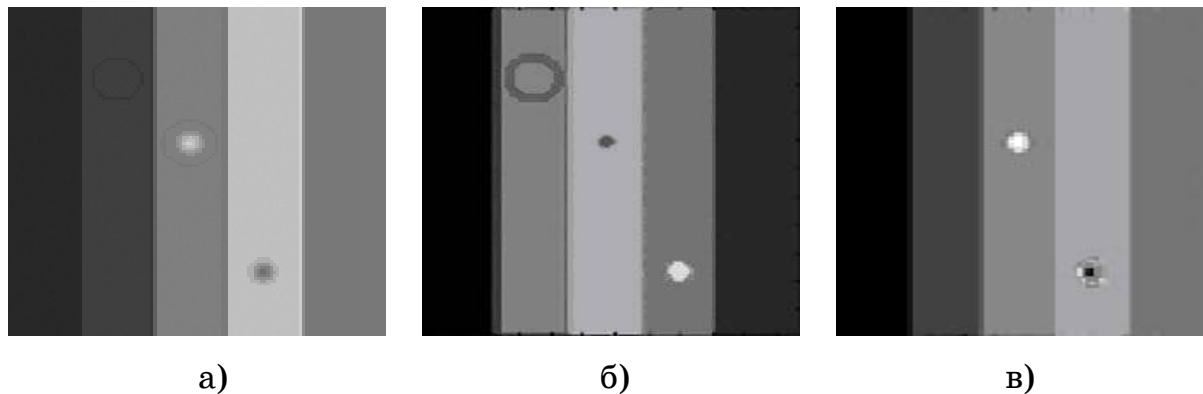


Рисунок 1 - Результаты обработки модельного изображения предложенным методом и методом k-средних

Приведенные результаты показывают, что после обработки модельного изображения предложенным методом появляется возможность обнаружить окружность, находящуюся в низкоконтрастной области, которая была совершенно неразличима на исходном изображении, и с помощью метода k-средних ее обнаружить не удалось, что демонстрирует высокую чувствительность сегментации низкоконтрастных областей предложенным методом.

Рис. 2 демонстрирует результаты сегментации эксперименталь-

ных (рис. 2 а, 2 г) изображений предложенным методом (рис. 2 б, 2 д) и с помощью алгоритма k-средних (рис. 2 в, 2 е).

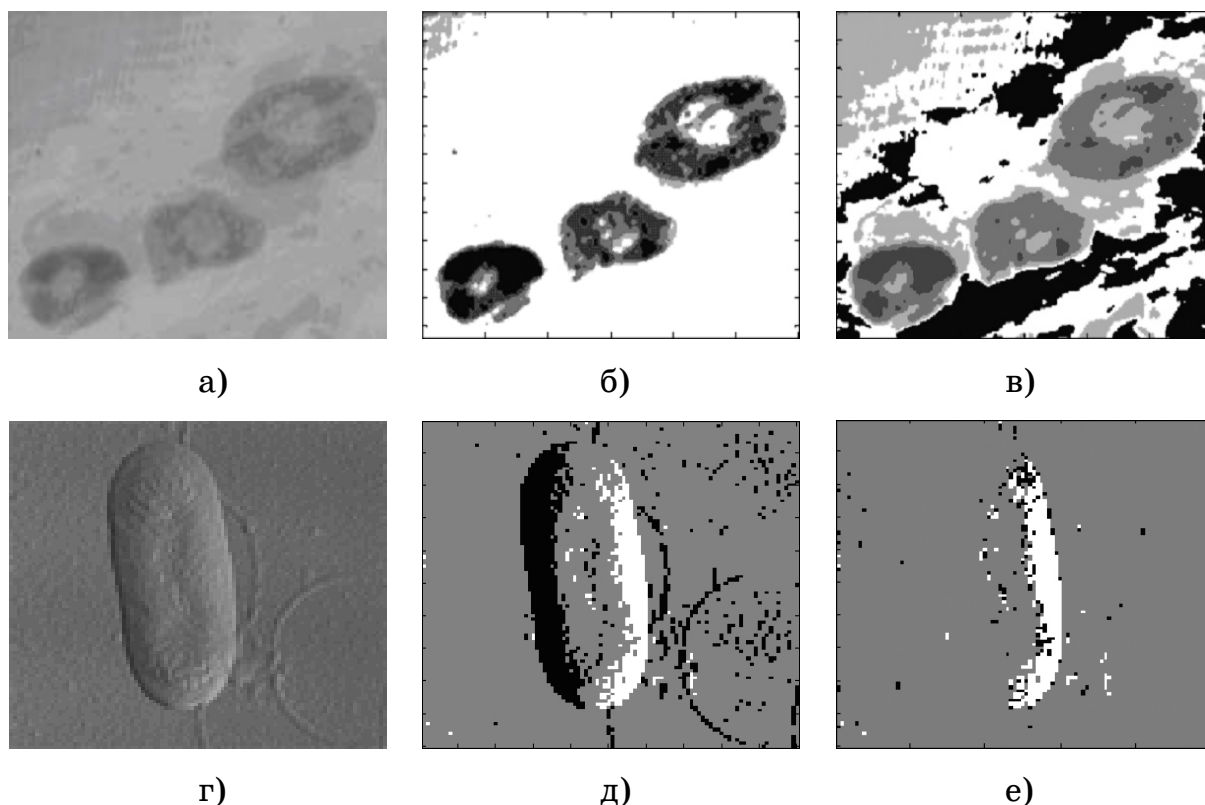


Рисунок 2 - Сравнение результатов обработки экспериментальных изображений предложенным методом и методом k-средних

Анализ результатов обработки экспериментального (рис. 2 а) изображения наглядно показывает, что с помощью предложенного метода (рис. 2 б) появляется возможность выделить объекты, слабо различимые на исходном изображении, а после обработки этого изображения методом k-средних на полученном изображении (рис. 2 в) выделяются ненужные области, что не удовлетворяет поставленной задаче. Эти результаты демонстрируют существенное повышение достоверности сегментации при обработке предложенным методом. Обработка экспериментального (рис. 2 г) изображения методом k-средних (рис. 2 е) позволяет выделить только часть объекта, находящегося на исходном изображении, и не дает возможности выделить весь объект, что позволяет получить обработка изображения предложенным методом (рис. 2 д). Таким образом, представленные на рис. 1 и рис. 2 результаты наглядно показывают преимущества обработки низкоконтрастных изображений предложенным методом по сравнению с методом k-средних.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Таким образом, использование предложенного в статье метода обеспечивает высокое качество сегментации низкоконтрастных полутоновых изображений. Получаемые в результате применения метода данные могут быть использованы для осуществления последующих шагов обработки изображений при решении реальных практических задач. Перспективы дальнейших исследований по проблематике роботы связаны с усовершенствованием предложенного метода сегментации для обработки цветных изображений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Chun-mei W. Maximum Variance Image Segmentation Based on Improved Genetic Algorithm / W. Chun-mei, W. Su-zhen, Z. Chong-ming, Z. Jun-zhong // Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing. – V. 2. – 2007. – P. 491 - 494.
2. Comaniciu D., Meer P. Distribution free decomposition of multivariate data // Pattern Analysis and Applications. – Vol. 2. – 1999. – P. 22 - 30.
3. Halkidi M. On Clustering Validation Techniques / M. Halkidi, V. Batistakis, M. Vazirgiannis // Journal of Intelligent Information Systems, Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands. – V. 17. – 2001. – P. 107 - 145.
4. Otsu N. A. A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms / N. A. Otsu // IEEE Transactions Systems, Man, Cybernetics – V. 9. – 1979. – P. 62 - 66.
5. Айвазян С. А. и др. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности // М. Финансы и статистика, 1989, 607 с.
6. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен // Издательство «Мир», Москва, 1976, 511 с.
7. Фукунага К. Введение в статическую теорию распознавания образов // М.: Наука, 1979. С. 176 - 205.

Получено 30.01.2010г.

УДК 621.74:669.14

М.И. Влас, В.Т. Калинин, В.Е. Хрычиков,

В.А. Кривошеев, Е.В. Меняйло, А.А. Кондрат

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ УЛЬТРА- И НАНОДИСПЕРСНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

*Аннотация. Показаны особенности производства ультра- и нанодисперсных материалов методом плазмохимического синтеза для модифицирования чугунных расплавов, также способ защиты их от окисления путем плакирования. Установлены состав и необходимые размерно- кристаллографические параметры модифицирующих порошков для обработки чугунных расплавов. Показана эффективность модифицирующей обработки такими материалами при производстве прокатных валков и изложниц.*

### **Постановка и анализ проблемы**

Широкому распространению традиционного модифицирования в практике литейного производства препятствует нестабильность достигаемого эффекта, обусловленная чувствительностью к условиям плавки и заливки, а также к процессам коагуляции, растворения и распределения модификатора в объеме расплава. Решение этих вопросов является перспективным направлением для исследований, которые обеспечивают получение биметаллических заготовок с высокими физико-механическими свойствами в заданных участках и узлах машин или агрегатов.

Создание и применение комплексных ультра- и нанодисперсных модификаторов позволит избежать приведенных недостатков, что обеспечит снижение расхода модификатора при повышении эффективности его воздействия на строение жидких расплавов, процессы кристаллизации и перекристаллизации чугуна, приводящие к повышению свойств отливок.

### **Цель работы**

Разработка теории и практики применения ультра- и нанодисперсных материалов в брикетированном или порошкообразном состоянии при производстве износостойких чугунов

---

© Влас М.И., Калинин В.Т., Хрычиков В.Е.,

Кривошеев В.А., Меняйло Е.В., Кондрат А.А., 2010

для металлургического и машиностроительного литья.

### **Изложение основного материала исследований**

Материалом исследования служили белые, половинчатые и серые доэвтектические и эвтектические чугуны ваграночной, доменной, мартеновской и электропечной плавки, применяемые для отливки двухслойных прокатных валков, изложниц, мелющих шаров, деталей багерных насосов, из которых вырезали темплеты для определения структуры и механических свойств чугуна.

В работе исследовано влияние модификаторов на процессы структурообразования высокоуглеродистых сплавов железа, дана теоретическая оценка модифицирующей способности элементов на базе их термодинамических критериев и представлены механизмы влияния модификаторов на кристаллизационные процессы в чугунах. Рассматривая процесс модифицирования с позиции взаимодействия модифицирующих добавок с расплавом, все применяющиеся добавки (элементы и их соединения) разделены на три группы: растворимые, тугоплавкие и разлагаемые. К растворимым добавкам относятся известные модификаторы графитизирующего и сфероидизирующего действия, а также порошки и гранулы металлов и сплавов, оказывающие инокулирующее действие на расплав. К тугоплавким малорастворимым модификаторам относятся порошки тугоплавких соединений с высокой температурой плавления ( $\text{TiC}$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiCN}$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{ZrC}$ ,  $\text{TaC}$  и др.), оказывающих инокулирующее действие на расплав. К модификаторам, разлагаемым в расплаве, относятся:  $\text{SiC}$ ,  $\text{Ca}_2\text{C}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{AlN}$  графитизирующего действия и  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ,  $\text{MgC}_2$  сфероидизирующего действия. Из этой группы модификаторов наиболее распространенным является карбид кремния  $\text{SiC}$ .

Графитизирующему и инокулирующему модифицированию в основном подвергают доэвтектические чугуны; в эвтектических и заэвтектических чугунах эффективность модифицирования снижается. Влияние модификаторов различно на разных стадиях кристаллизации чугуна: при зарождении и росте дендритов (зерен) первичного аустенита, при эвтектической кристаллизации и при формировании металлической матрицы в твердом состоянии. Прогнозирование модифицирующей эффективности выбранных элементов или соединений путем сравнения их критериальной оценки позволяет планировать получение необходимых свойств в

отливке.

Имеются различные подходы к оценке модифицирующей активности растворимых добавок: по величине коэффициента графитизации; с позиции донорно-акцепторного химического взаимодействия элементов; по обобщенному моменту и другие. Существующая оценка модифицирующей активности элемента в расплаве по одному какому-либо показателю не позволяет достаточно полно оценить эффективность модификатора на всех стадиях кристаллизации чугуна.

Разработана комплексная критериальная оценка эффективности известных модифицирующих элементов при обработке чугуна с учетом их активности на трех стадиях кристаллизации чугуна. Количественную оценку влияния модифицирующей активности элемента (коэффициент  $K_a$ ) на дисперсность первичного аустенита осуществляли по отношению разности ионизационных потенциалов расплава ( $U_{эфМс}$ ) и модификатора ( $U_{эфмод}$ ) к растворимости модификатора в расплаве ( $C_{мод}$ ):

$$K_a = (U_{эфМс} - U_{эфмод}) / C_{мод}.$$

Степень графитизации оценивали по величине коэффициента КГ. Оценку дисперсности и чистоту границ зёрен (колоний) металлической матрицы осуществляли по величине поверхностной активности элемента при внутрикристаллической конкурирующей адсорбции на границах зёрен (коэффициент  $K_3$ ).

Построены гистограммы модифицирующей активности элементов при кристаллизации чугуна (рис.1). Наиболее сильными модификаторами по всем трем показателям являются Sr, Ba, Ca. Широко применяемые Si, Al, C обладают высокими графитизирующими свойствами, однако способствуют укрупнению первичного аустенита и слабо влияют на дисперсность и чистоту границ зёрен вторичных структур.

Критериальная оценка эффективности тугоплавких соединений при инокулирующем модифицировании имеет свои особенности. Введенные в жидкий расплав тугоплавкие частицы будут центрами кристаллизации, если на их поверхности происходит зарождение кристаллов первичной фазы, зависящее от размеров и свойств частицы, а также от ее взаимодействия с расплавом. Основными критериями оценки модифицирующей эффективности тугоплавких

соединений являются: температура плавления, молярная энтальпия образования, тип проводимости и растворимость в расплаве. Чем выше термодинамическая устойчивость соединения, больше разница температур плавления соединения и расплава, меньше растворимость и наличие электронного сродства модификатора и расплава, тем выше его эффективность.

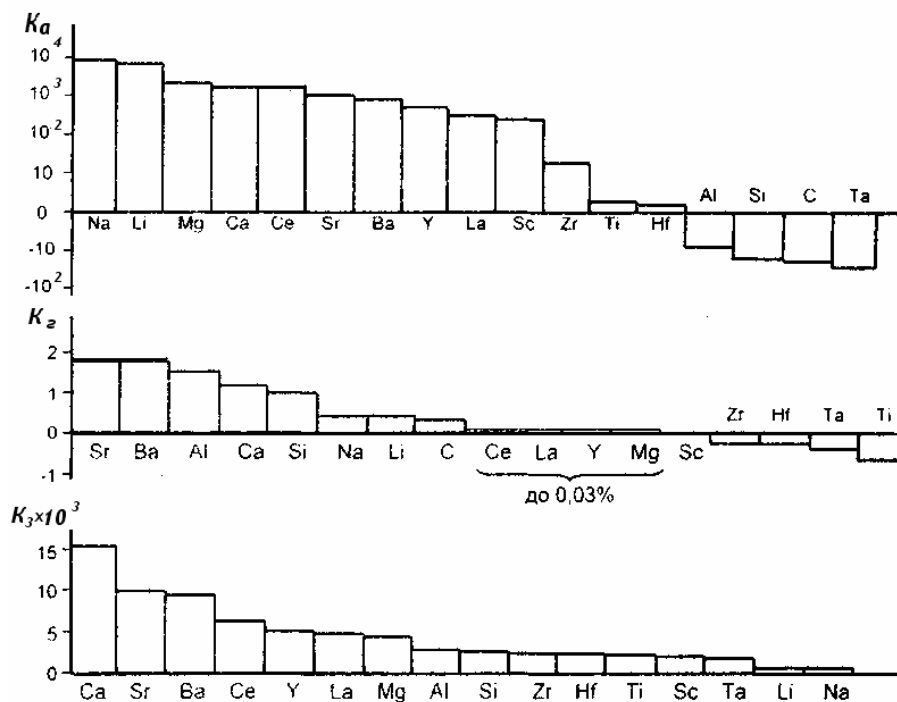
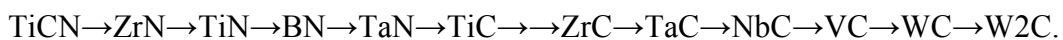


Рисунок 1 - Критерии оценки эффективности модификаторов при обработке чугунов

Сравнительный анализ термодинамических показателей тугоплавких малорастворимых соединений позволил расположить их в следующий убывающий по модифицирующей эффективности ряд:



Полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к тугоплавким инокулирующим модификаторам, соединение титана с углеродом и азотом - карбонитрид титана (TiCN).

Анализ термодинамических процессов в гетерогенных расплавах, модифицированных тугоплавкими соединениями, позволил сделать следующие заключения:

- с уменьшением размера частиц менее 1000 нм (ультрадисперсное состояние) гравитационные силы слабо контролируют кинетику системы «металл-частица», частицы совершают броуновское движение и коэффициент их диффузионной подвижности увеличивается;

- коагуляция частиц при перемешивании расплава зависит от удельной поверхностной энергии на границе «металл-частица»;

- частицы с размером менее 100 нм соизмеримы с размерами центров кристаллизации (нанодисперсное состояние);

- с уменьшением размера частиц менее 200...300 нм (ультра- и нанодисперсное состояние) термодинамическая устойчивость их против растворения возрастает вследствие химического и физического взаимодействия между частицей и образующейся на ее поверхности адсорбционной металлической микрооболочкой, защищающей частицу от контакта с расплавом;

- для предотвращения агрегатирования частиц в расплаве и улучшения их смачиваемости необходимо изолировать частицы путем их плакирования;

- с точки зрения кинетических особенностей поведения частиц в расплаве, применение в качестве тугоплавких модификаторов нанопорошков, является наиболее перспективным вариантом для обработки жидких чугунов.

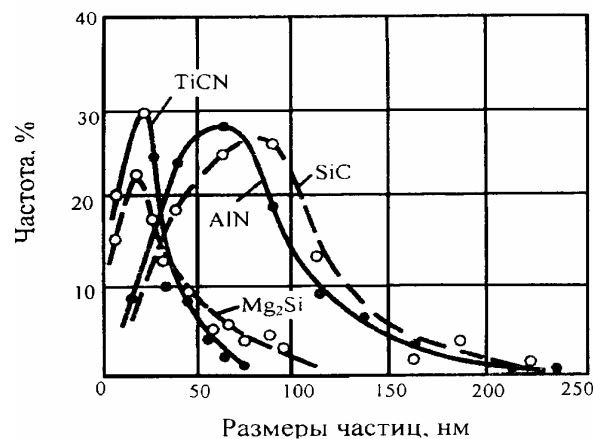


Рисунок 2 - Сводная гистограмма распределения фракционного состава ультра- и нанодисперсных материалов (TiCN, AlN, SiC, Mg<sub>2</sub>Si)

Для получения ультра- и нанопорошков создана совместно с ОАО «Неомат» (Латвия) автоматизированная высокочастотная плазмохимическая установка и освоен выпуск ультра- и нанодисперсных модификаторов разработанных составов в промышленных масштабах [1]. Отличительной особенностью процесса плазмохимического синтеза является применение в качестве исходного сырья порошкообразных отходов ферросплавных, титано-

магниевого и кремнийполимерного производств.

Целевой продукт образуется при введении исходных материалов в плазмохимический реактор с температурой 5500...70000С, их взаимодействии и объемной конденсации газоплазменного потока. Размер частиц получаемых высокодисперсных порошков, может изменяться от 10 до 250 нм в зависимости от требований технических условий. Характер распределения размеров частиц асимметричен (рис. 2); полученные соединения относятся к ультра- и нанодисперсным порошкам.

Рассмотрена роль окислительных процессов в адсорбционной активности частиц и для защиты от окисления разработан способ их плакирования путем нанесения на поверхность микрослоя твердых углеводородов метанового ряда [2]. Содержание кислорода в плакированном порошке в 8...8.5 раз ниже, чем в неплакированном; частицы плакированного модификатора сохраняют чистую активную поверхность в течение 7...9 месяцев.

Изучено влияние теплофизических и размерно-кристаллографических параметров частиц наносоединений на их поведение в Fe-C-расплавах. Дисперсность частиц модификатора определяет свойства ультрадисперсной системы: модификатор-расплав и количественно характеризуется линейными размерами и удельной поверхностью частиц. Гиперболическая зависимость удельной поверхности и удельной поверхностной энергии от размера частиц (рис. 3) свидетельствует о значительной роли для ультра- и нанодисперсных систем адсорбции и поверхностных явлений, в то время как поведение макродисперсных систем определяется объемными свойствами.

Резкое увеличение поверхностной энергии при переходе частиц в ультрадисперсное состояние приводит к появлению аномальных физических явлений, смещению температур фазовых превращений и усилению окислительных процессов на поверхности частиц.

Аналитическим способом показано, что интенсивное снижение удельной поверхностной энергии начинается при размере частиц менее 10...15 нм. Поэтому в области ультра- нанодисперсного диапазона удельная поверхностная энергия максимальна, частицы обладают высокой адсорбционной способностью, и зарождение кристаллов первичной фазы (микрооболочки) на их поверхности

имеет высокую вероятность. Если же частица не обладает свойствами тугоплавкого модификатора, то оболочка твердой фазы отсутствует. Образование «частица-твердая фаза-расплав» будет устойчивым только в том случае, если свободная энергия системы уменьшается (рис.4).

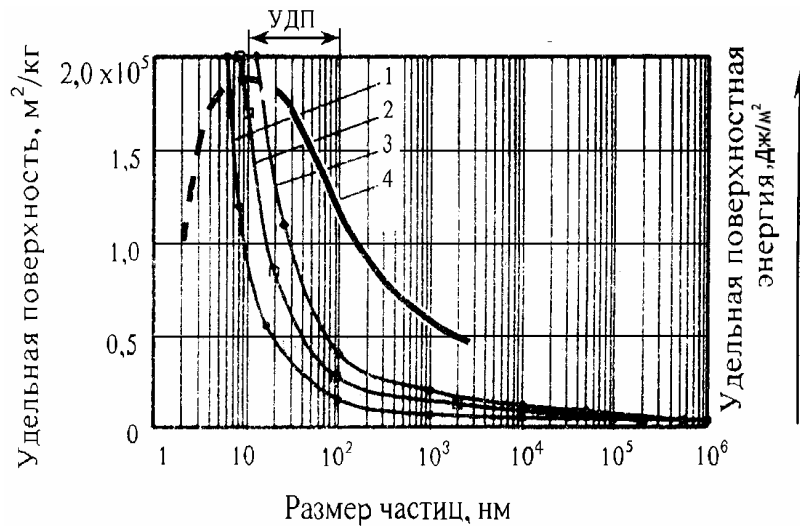


Рисунок 3 - Влияние размера частиц на удельную поверхность (1 - TiCN; 2 - SiC; 3 - Mg<sub>2</sub>Si) и усредненную поверхностную энергию (4)

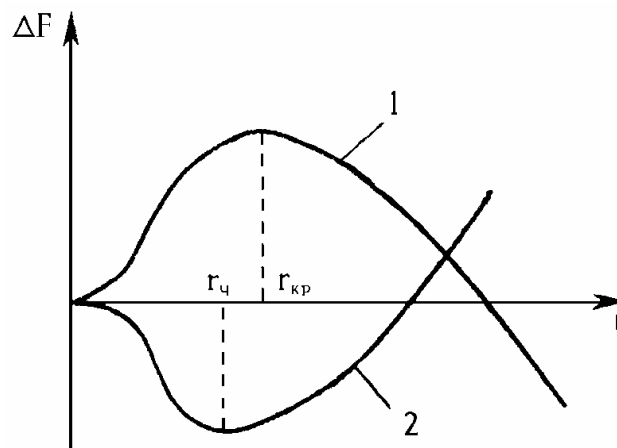


Рисунок 4 - Изменение  $\Delta F$  в зависимости от радиуса зародыша (1) и образования твердой фазы на поверхности ультрадисперсных и наночастиц (2)

Зарождение первичной фазы на наночастицах облегчено и идет с уменьшением суммарной свободной энергии за счет изменения соотношения объемной и поверхностной составляющих свободной энергии, в то время как образование зародыша в немодифицированном расплаве требует затрат энергии, и только

после достижения критического размера (рис.4 кривая 1) рост твердой фазы становится энергетически выгодным. Наличие большой удельной поверхности частиц делает процесс зарождения твердой фазы термодинамически выгодным: он идет с выделением энергии (скрытой теплоты кристаллизации). График функции  $\Delta F$  при этих условиях можно представить кривой 2 на рис. 4. Твердая фаза, образовавшаяся в расплаве на поверхности частицы, находится в энергетически выгодном состоянии, и условия к распаду у таких образований (микрооболочек) отсутствуют. Такие участки твердой фазы при дальнейшем охлаждении выигрывают в конкурентной борьбе у спонтанно возникших зародышей. Эти образования достаточно большие, чтобы поглощать друг друга, поэтому размер дендритов в отливке из модифицированного чугуна определяется количеством частиц: чем их больше, тем мельче дендриты первичного аустенита.

Для расчета количественных параметров кристаллизации использовали чугун следующего химического состава: 3,2 % C; 1,5 % Si; 0,8 % Mn; 0,05 % S; 0,15 % P; 0,10% Cr при эвтектичности  $S_e=0,85$ . Результаты расчетов (табл. 1) показали, что размер критических зародышей аустенита ( $r_{крA}$ ) при переохлаждении расплава чугуна на 10...400C составляет 12...45 нм, а графита ( $r_{крC}$ ) - 55...305 нм.

Таблица 1

Зависимость величины критических размеров зародышей аустенита и графита от степени переохлаждения расплава

| $\Delta T, ^\circ C$ | 5   | 10  | 15  | 20  | 30 | 40 | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $r_{крA},$<br>нм     | 83  | 45  | 28  | 22  | 15 | 12 | 7,3 | 5,8 | 4,5 | 4,1 | 3,5 | 3,2 |
| $r_{крC},$<br>нм     | 595 | 305 | 205 | 165 | 85 | 55 | 48  | 42  | 33  | 30  | 26  | 23  |

Роль ультра- и нанодисперсных добавок сводится к созданию в расплаве дополнительно искусственных центров кристаллизации при условии соразмерности их с критическими зародышами и обеспечения достаточного их количества при массовом вводе для получения в отливке тонкодисперсной структуры. Эксперименты подтвердили, что для измельчения первичного аустенита в промышленных отливках (инокулирующее модифицирование) размер

частиц должен быть 10...50 нм, а для устранения отбела и измельчения графитной фазы (графитизирующее модифицирование) - 50.. .200 нм.

Другим фактором при модифицировании УДМ является достижение кристаллографического соответствия частиц с кристаллизующейся модифицируемой фазой. Электронномикроскопические исследования и анализ микродифракционных картин показали, что ультра- и нанодисперсные частицы принадлежат к твердым кристаллическим веществам без присутствия аморфных фаз. Частицы SiC формируются в виде шестигранных или тригональных призм и относятся к гексагональной сингонии с параметрами:  $a=0,308$  нм,  $c=1,004$  нм. Частицы TiCN имеют кубическую решетку с параметрами  $a=0,425$  нм и формируются в виде куба, тетрагона или близким к ним формам. Частицы Mg<sub>2</sub>Si формируются в виде сфероидов и имеют решетку с параметром  $a=0,634$  нм.

В зависимости от типа кристаллической решетки и внешней формы частиц модификатора необходимо применять следующие виды ковшевого или внутриформенного модифицирования:

1) SiC, AlN (гексагональная сингония и форма)-графитизирующее модифицирование для уменьшения отбела и измельчения графитной фазы, имеющей гексагональную решетку;

2) TiC, TiN, TiCN (кубическая сингония и форма) - инокулирующее модифицирование для измельчения структуры и повышения твердости. Кристаллизующейся фазой является аустенит, имеющий кубическую решетку;

3) Mg<sub>2</sub>Si, Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub> (сфероидальная кубическая сингония и форма) - сфероидизирующее модифицирование для получения в структуре шаровидного или вермикулярного графита.

Опытно-промышленная проверка и внедрение технологии модифицирования чугунных расплавов комплексными наноматериалами в брикетированном или порошкообразном состоянии (SiC, TiCN) были осуществлены при отливке прокатных валков и изложниц, деталей багерных насосов. Расход наномодификаторов составляет 0,05...0,25 кг на тонну жидкого чугуна, затраты на обработку не превышают 10-12 % от стоимости расплава.

Расчетные и экспериментальные данные показали, что наномодификаторы обладают достаточно высокой кинематической устойчивостью, равномерно распределяясь по объему расплава. При расходе  $\text{TiCN}$  0,20...0,25% масс, отклонение в содержании тита на по высоте модифицированного расплава в 10-тонном разливочном ковше не превышает 0,02%. Распределение в объеме ковша при выдержке модифицированного расплава определяется результатом действия двух противоположно направленных процессов: седиментации и диффузии частиц под действием броуновского движения, проявляющийся тем сильнее, чем меньше их размер. Наличие микрооболочки вокруг частицы уменьшает коагуляцию и повышает агрегативную устойчивость системы.

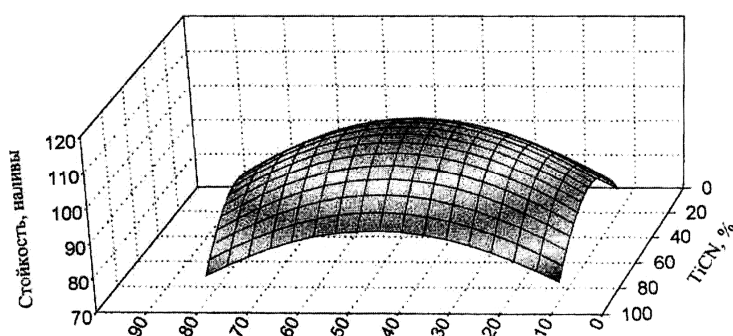


Рисунок 5 - Влияние соотношения  $\text{SiC}$  и  $\text{TiCN}$  на стойкость изложниц из модифицированного чугуна

Эксплуатационные испытания валков разработанных составов (ЛПХНДМФд-74, ЛПХНМВд-74, ЛПХНДМд-73, ЛПХНДГд-71) на Мариупольском им. Ильича (стан 1700), Магнитогорском (стан 1450), Карагандинском (стан 1700) и Череповецком (стан 2000) металлургических комбинатах показали, что их стойкость на 14,7...38,7% выше стойкости валков серийного исполнения (ЛПХНд-71).

Эксплуатационные испытания опытных и промышленных партий изложниц из модифицированного чугуна в мартеновском цехе Нижнеднепровского трубопрокатного завода и конвертерном цехе Днепровского металлургического комбината им. Дзержинского показали, что их стойкость превышала стойкость обычных изложниц в 1,22... 1,45 раза.

Зависимость эксплуатационной стойкости изложниц из модифицированного чугуна от соотношения компонентов

ультрадисперсных и наноматериалов, полученная с применением компьютерной программы показала (рис. 5), что максимальная стойкость изложниц достигается при обработке чугуна (50...60% SiC и 40...50% TiCN).

Модифицирование УДМ уменьшает влияние степени эвтектичности чугуна на стойкость изложниц (рис.6).

Технологические процессы модифицирования чугуна расплава ультра- и нанодисперсными материалами внедрены на предприятиях Украины и России, что позволило повысить технико-экономические показатели производства отливок для металлургического оборудования.

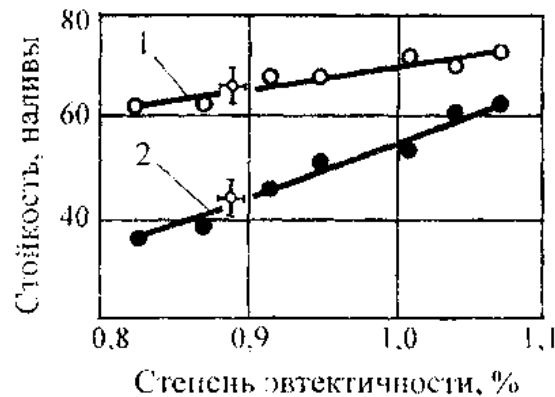


Рисунок 6 - Влияние степени эвтектичности чугуна на стойкость изложниц из модифицированного (1) и обычного (2) чугунов

### Выводы

1. Разработаны высокоэффективные ультра- и нанодисперсные модификаторы и технологические процессы литья деталей металлургического и машиностроительного оборудования с повышенными эксплуатационными характеристиками при работе в условиях высокого износа, термоциклических и механических нагрузок.

2. Разработана комплексная критериальная оценка эффективности известных растворимых в расплаве модификаторов (Sr, Al, Si и др.) с учетом их активности на всех стадиях кристаллизации чугуна: при зарождении и росте первичного аустенита, при эвтектической кристаллизации, при формировании матрицы в твердом состоянии. Показано, что модифицирующая активность тугоплавких соединений (TiCN, ZrN, BN и др.) зависит от температуры плавления, энтальпии образования, растворимости и электронного сродства модификатора и расплава.

3. Разработан способ защиты частиц от окисления путем их плакирования, что обеспечило частицам размером 10...250 нм высокую адсорбционную активность к созданию искусственных центров кристаллизации в расплаве. Содержание кислорода в плакированном порошке в 8,0...8,5 раз ниже, чем в неплакированном.

4. Показано, что размеры частиц модификатора должны быть соизмеримы с размерами центров кристаллизации: для измельчения дендритов первичного аустенита в промышленных отливках (инокулирующее модифицирование) размер частиц TiCN должен быть 10...50 нм, а для устранения отбела и измельчения графитной фазы (графитизирующее модифицирование SiC) - 50...200 нм.

5. Эксплуатационные испытания валков разработанных исполнений ЛПХНДМФд-74, ЛПХНМВд-74, ЛПХНДМд-73, ЛПХНДГд-71 на листопрокатных станах 1450, 1700 и 2000 металлургических комбинатов Украины и России показали, что их стойкость на 14,7...38,7% выше стойкости валков серийного исполнения. Эксплуатационные испытания сталеразливочных изложниц из чугуна, модифицированного ультрадисперсными и наноматериалами, показали, что их стойкость на 22...45% выше стойкости серийных изложниц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оборудование и технология получения ультрадисперсных модификаторов для обработки литейных расплавов /Калинин В.Т., Хрычиков В.Е, Кривошеев В.А. / Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2004. №3.-С.48-51.
2. Патент РФ 2094472, МКИ С21С 1/00. Способ обработки ультрадисперсного модификатора для чугуна /Шатов В.В., Комляков В.И., Калинин В.Т.-«95102 830/02; Заявл. 27.02.95; Оpubл. 27.10.97. Бюл. №30.-4с.
3. Разработка и внедрение высокоэффективных модификаторов для повышения качества литых деталей металлургического оборудования / В.Т. Калинин, В.Е. Хрычиков, В.А. Кривошеев, В.Г. Баначенков // Теория и практика металлургии. - 2004. - №6. - С.74-77.

4. Технологические особенности модифицирования литейных расплавов ультрадисперсными реагентами и перспективы их применения при производстве отливок /Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. // Metallургическая и горнорудная промышленность. - 2004. - №6. - С.38-42.
5. Перспективы применения ультрадисперсных модификаторов для повышения качества чугуна / В.Т. Калинин, В.Е. Хрычиков, В.А. Кривошеев, Ю.В. Доценко // Процессы литья. - 2005. - №1. - С.29-33.
6. Модифицирование тонкодисперсными присадками чугуна рабочего слоя двухслойных валков в процессе их отливки / Хрычиков В.Е., Калинин В.Т., Гладких В.А., Кривошеев В.А., Селиверстов В.Ю., Доценко Ю.В.// Теория и практика металлургии. - 2008. - №1. - С.20-23.

Получено 30.01.2010г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| А.П. Оксанич, И.В. Шевченко, С.А. Волохов                                                                                                                |    |
| Оптимизация конфигурации теплового экрана ростовой установки по критерию минимума неравномерности осевых температурных градиентов.....                   | 3  |
| В.М. Козлов, В.П. Хлынцев                                                                                                                                |    |
| Влияние толщины электролитических осадков железа на их текстуру .....                                                                                    | 18 |
| О.О. Бейгул, М.М. Корнійчук, Г.Л. Лепетова                                                                                                               |    |
| Оптимізація закритої станини робочої кліті прокатного стана за критерієм мінімальної металомісткості .....                                               | 24 |
| А.И. Ковалев                                                                                                                                             |    |
| Оценка качества функционирования предприятия в условиях внедрения процессно-ориентированных стандартов .....                                             | 31 |
| А.Н. Пасхин                                                                                                                                              |    |
| Использование критерия спримена для выбора параметров управления телекоммуникационной сетью .....                                                        | 43 |
| А.П. Гожий                                                                                                                                               |    |
| Синергетические аспекты сценарного планирования .....                                                                                                    | 50 |
| В.О. Дегтярьов                                                                                                                                           |    |
| Алгоритм побудови найкоротшої мережі комунікацій у тривимірному просторі з обмеженнями .....                                                             | 56 |
| О.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова                                                                                                                               |    |
| Обґрунтування параметрів несучої системи технологічної платформи, призначеної для транспортування виливниць .....                                        | 63 |
| А.В. Жаданос, О.Н. Кукушкин, М.И. Гасик                                                                                                                  |    |
| Разработка автоматизированной информационной системы агрегата ковш-печь для прогнозирования содержания легирующих элементов в конструкционной стали..... | 68 |
| И.И. Коваленко, А.В. Швед                                                                                                                                |    |
| Классификация групповых экспертных оценок с применением адаптивных робастных статистических процедур .....                                               | 75 |
| В.В. Гнатушенко, Вікт.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва                                                                                                      |    |
| Математична модель корекції фотограмметричних даних сканерної зйомки .....                                                                               | 84 |

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| А.В. Кошулян, В.П. Малайчук, А.В. Мозговой                                                                    |     |
| Задача оптимального контроля качества изделий со случайными параметрами .....                                 | 91  |
| С.В. Клименко, В.В. Огоренко                                                                                  |     |
| Вероятностная оценка компьютерного психометрического тестирования темперамента личности.....                  | 100 |
| А.М. Павленко, Е.Н. Сайко                                                                                     |     |
| Теплопередача в пористых материалах .....                                                                     | 107 |
| Д.М. Чабаненко                                                                                                |     |
| Дискретне Фур'є-продовження часових рядів.....                                                                | 114 |
| Д.А. Джамалов                                                                                                 |     |
| О расчете конструкций на надежность.....                                                                      | 122 |
| Р.Т. Исмайылов                                                                                                |     |
| О подготовке воды для систем теплоснабжение по новой бессточной технологии.....                               | 127 |
| И.Г. Тригуб, С.С. Федоров, С.Н. Форись, В.И. Головки                                                          |     |
| Исследование влияния формы поверхности засыпи известняка на показатели работы шахтной печи.....               | 133 |
| В.М. Долгов, Т.В. Селиверстова                                                                                |     |
| Применение генетического алгоритма для повышения достоверности сегментации низкоконтрастных изображений ..... | 144 |
| М.И. Влас, В.Т. Калинин, В.Е. Хрычиков, В.А. Кривошеев, Е.В. Меняйло, А.А. Кондрат                            |     |
| Модифицирование износостойких чугунов ультра- и нанодисперсными материалами .....                             | 150 |

## РЕФЕРАТЫ

УДК 621.315.592

Оксанич А.П., Шевченко І.В., Волохов С.А. **Оптимізація конфігурації теплового екрана ростової установки за критерієм мінімуму нерівномірності осьових температурних градієнтів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.3– 17.

Розроблено математичну модель задачі оптимізації геометричних параметрів теплового екрана і метод її рішення, що включає числено-аналітичну еволюційну процедуру оптимізаційних розрахунків. Це дозволяє забезпечити необхідний температурний режим у зоні вирощування й остигання злитка. Показано, що отримана конфігурація теплового екрана дозволяє знизити нерівномірність осьових температурних градієнтів і забезпечити оптимальний розподіл температури по осі вирощуваного злитка.

Табл. 1. Рис.7. Библ.:4 найм.

УДК 669.017

В.М. Козлов, В.П. Хлынцев **Вплив товщини електролітичних осадків заліза на їх текстуру** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.18 – 23.

У роботі наведені експериментальні дані, що стосуються текстури електролітичних покриттів заліза різної товщини, починаючи від товщини порядку декількох десятків долі мікрона. Показано, що віссю первинної (початкової) текстури покриттів заліза, осаджених на інертну підкладку, є напруження <110> незалежно від величини перенапруження. Ці дані узгоджуються з раніше отриманими теоретичними результатами. Виявлено, що із зростанням товщини покриттів заліза початкова текстура поступово трансформується в текстуру зростання з відповідною зміною вісі текстури з <110> на <211>.

Бібл. 6, іл.2.

УДК 621.771:539.4

Бейгул О.А., Корнийчук Н.Н., Лепетова А.Л. **Оптимизация закрытой станины рабочей клетки прокатного стана по критерию минимальной металлоёмкости** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.24 – 30.

Разработана математическая модель оптимизации статически неопределимой закрытой станины рабочей клетки прокатного стана по критерию минимальной металлоёмкости.

Библ. 5, илл. 4.

УДК 658.5:006.065

Ковалев О.І. **Оцінка якості функціонування підприємства в умовах впровадження процесно-орієнтоване стандартів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.31 – 42.

Процесно-орієнтовані стандарти, що визначають вимоги до управління підприємствами (ISO серій 9000, 14000, 2200, 28000 та ін) декларують розгляд процесів підприємства в їх сукупності. Бо виявлення, розуміння і аналіз взаємопов'язаних і взаємодіючих процесів як системи дозволяє оцінювати результативність та ефективність функціонування підприємства в цілому. Проблему інтеграції процесного і системного

підходів у практику управління підприємством можна вирішити за допомогою розробки моделі системи оцінювання якості функціонування підприємства і методики формалізованого оцінювання та покращення процесів. Процедура оцінки результативності процесів включає формулювання критеріїв та показників. Показники – це індикатори поточної діяльності, і провісники майбутніх результатів. Зазначені дві групи показників називають показниками динаміки діяльності та показниками результатів діяльності. Системний підхід в управлінні підприємством передбачає одночасне оцінювання та поліпшення процесів з метою оптимізації деякої цільової функції,  $Y\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ , где  $\pi_i, i=\overline{1, n}$ , де  $p_j, j=1, 2, \dots, m$  – приватні показники динаміки, – приватні показники результатів діяльності, – узагальнений показник, – може мати вигляд полінома, коефіцієнти якого оцінюються на підставі експериментальних даних. Методика оцінювання включає інтерпретацію цього полінома.

Бібл. 9, іл. 1.

УДК 519.6

Пасхін А.М. **Використання критерію Спірмена для вибору параметрів керування телекомунікаційною мережею** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.43 – 49.

В даній роботі виділено основні характеристики телекомунікаційних мереж та запропоновано можливість використання методів непараметричної статистики з метою виділення серед можливих шляхів підлаштування, лише тих, що впливають на мережу і можуть підвищити ефективність її роботи.

Основним методом для фільтрації зайвих параметрів було обрано метод Спірмена, що дозволяє оцінити кореляцію між двома наборами даних – значеннями параметру налаштування та параметру мережі.

УДК 519.6

Гожий О.П. **Синергетичні аспекти сценарного планування** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.50 – 55.

У статті розглянуто головні особливості застосування синергетичного підходу для вирішення задач сценарного планування. Запропоновані еволюційні моделі сценаріїв. Наведено алгоритм застосування еволюційних моделей при побудові сценарію

Ключові слова: Сценарій, сценарне планування, синергетика, еволюційне рівняння.

Бібл.7, Рис.2

УДК 624.04

Дегтярев В.А. **Алгоритм построения кратчайшей сети коммуникаций в трехмерном пространстве с ограничениями** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.56 – 62.

Рассматриваются алгоритмы решения задачи построения кратчайшей сети коммуникаций в трехмерном пространстве. Предлагается комбинированный SFDP/A\* алгоритм для решения задачи с учетом физических ограничений рабочего пространства. Определено перечень этапов для создания псевдо оптимальной сети с точки зрения ее длины. Практическая реализация предложенного метода позволяет построить кратчайшие сети коммуникаций для электро- и водоснабжения острова Змеиный.

Библ. 8, ил. 6.

УДК 669.013.002.5

Бейгул О.А., Лепетова А.Л. **Обоснование параметров несущей системы технологической платформы, предназначенной для транспортирования изложниц** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.63 – 67.

Выполнен проектировочный расчет несущей системы металлургической платформы перспективной конструкции.

Библ. 4, илл. 2.

УДК 669.14.294.014:004.9

Жаданос О.В., Кукушкін О.М., Гасик М.І. **Розробка автоматизованої інформаційної системи агрегату ківш-піч для прогнозування вмісту легуючих елементів у конструкційній сталі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.68 – 74.

За результатами промислових експериментів для колісної сталі отримані регресійні моделі динаміки вмісту кремнію, марганцю і вуглецю в металі в залежності від кількості введених вуглецьовміщуючих матеріалів, феросилікомарганцю МнС17, феросиліцію ФС65, що дозволяє прогнозувати хімічний склад сталі за цими елементами. За результатами досліджень розроблена структурна схема автоматизованої інформаційної системи агрегату ківш-піч.

Бібл. 9, іл. 4.

УДК 65.01:65.012

Коваленко І.І., Швед А.В. **Класифікація групових експертних оцінок з застосуванням адаптивних робастних статистичних процедур** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.75 – 83.

Розглянуто задачу виділення з неоднорідної сукупності оцінок експертів її однорідної складової на основі адаптивних робастних процедур статистичного оцінювання. Запропонований підхід дозволяє проводити більш детальний аналіз групових експертних оцінок, які формуються в рамках абсолютної шкали вимірів. Що у свою чергу значно підвищує ефективність ухвалення рішень по їх узгодженості або неузгодженості.

Бібл. 14

УДК 528.71

Гнатушенко В.В. **Математична модель корекції фотограмметричних даних сканерної зйомки** / В.В. Гнатушенко, В.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.84 – 90.

В роботі запропонована модель, яка адекватно описує процеси формоутворення фотограмметричних даних сканерної зйомки з урахуванням кривизни Землі та дозволяє компенсувати вплив кутових коливань шляхом аналізу самих зображень, одержуваних ПЗЗ-камерою.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 519.24:681

Кошулян О.В., Малайчук В.П., Мозговой О.В. **Задача оптимального контролю якості виробів з випадковими параметрами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.91 – 99.

Розглядається задача оптимального вибору порогів порівняння при оцінюванні стану технічних об'єктів з випадковими за своєю фізичною природою параметрами, що контролюються та вимірюються з похибкою і не повинні виходити за границі інтервалів допуску якості. Запропоновано метод вибору порогів порівняння на основі критеріїв мінімуму ймовірності прийняття помилкових рішень а також мінімуму умовною вартості помилкових рішень. Досліджені ймовірності помилок 1-го та 2-го роду (перебраковка та пропуск бракованих виробів) при використанні оптимальних порогів.

Бібл. 3, іл. 5, табл.1.

УДК 629.735.015.017.2

Клименко С.В., Огоренко В.В. **Ймовірнісна оцінка комп'ютерного психометричного тестування темпераменту особистості** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.100 – 106.

Запропоновано новий метод визначення кількісних показників темпераменту особистості за результатами комп'ютерного психометричного тестування шляхом оцінки їхніх умовних ймовірностей за результатами вимірів числа рішень, що збігаються з ключем тесту психологів, і швидкостей обробки інформації, що утримується в питаннях-стимулах інформаційної взаємодії між людиною та комп'ютером.

Бібл.4, іл.1.

А.М.Павленко, Е.Н.Сайко **Теплопередача в пористых матеріалах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.107 – 113.

У даній роботі розглянуто вплив структурних параметрів на теплопровідність пористого матеріалу. Запропоновані рекомендації для оцінки впливу різних чинників на теплопровідність пористого матеріалу.

Бібл. 4.

УДК 519.688

Чабаненко Д.Н. **Дискретное Фурье-продолжение временных рядов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.114 – 121.

В данной статье рассматривается алгоритм прогнозирования низкочастотной составляющей временного ряда, предполагающий аппроксимацию данных сумой гармонических функций. Предлагается итерационный алгоритм оценивания параметров модели низкочастотной составляющей с помощью минимизации функционала невязки. Экспериментальная апробация эффективности предложенного алгоритма на примерах финансово-экономических временных рядов показал достаточно высокую точность полученных прогнозов.

УДК 519.210 (075-8)

Джамалов Д.А. **О расчете конструкции на надежность** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.122 – 126.

Рассматривается вычисление вероятности в зависимости от обобщенной прочности  $\tilde{R}$  и от обобщенной нагрузки  $\tilde{Q}$ . Уточняются выражения для характеристики безопасности  $\gamma$  и коэффициента изменчивости  $\xi$ .

УДК 621.311.2.22

Исмайлов Р.Т. **О подготовке воды для систем теплоснабжение по новой бессточной технологии** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.127 – 132.

В статье рассматривается разработанная новая бессточная технология подготовки воды для систем теплоснабжения. В результате анализа и исследовании выведены математические выражения для определения основных режимных параметров бессточных установок работающие по предложенной технологической схеме.

УДК 51-74:669.162-669.181.4

Тригуб І.Г., Федоров С.С., Форись С.М., Головка В.І. **Дослідження впливу форми поверхні засипу вапняку на показники роботи шахтної печі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.133 – 143.

Розглянуто взаємозв'язок тепло-технологічних параметрів роботи шахтної вапняно-випалювальної печі на основі математичної моделі, що враховує тепло-масообмінні процеси в об'ємі печі, і каркасної моделі засипу матеріалів у шахті. Запропоновано визначення показників випалу вапняку в залежності від зміни конфігурації поверхні засипу (висоти і кутів укусу). Показано можливість використання моделей для визначення оптимального рівня завантаження шахти і конфігурації верха печі з метою удосконалення режимів завантаження.

Бібл. 8, іл. 3.

УДК 004.93

Долгов В.М., Селіверстова Т.В. **Застосування генетичного алгоритму для підвищення достовірності сегментації низькоконтрастних зображень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66).– Днепропетровск, 2010. – С.144 – 149.

У роботі запропоновано метод підвищення достовірності сегментації низькоконтрастних зображень на базі методу Отсу із використанням генетичного алгоритму для автоматизованої обробки напівтонових низькоконтрастних зображень.

Бібл. 7, іл. 2, табл. 0.

УДК 621.74:669.14

Власа М.И., Калинина В.Т., Хрычикова В.Е., Кривошеева В.А., Меняйло Е.В., Кондрат А.А. **Модифицирование износостойких чугунов ультра- и нанодисперсными материалами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(66). – Днепропетровск, 2010. – С.150 – 162.

Показаны особенности производства ультра- и нанодисперсных материалов методом плазмохимического синтеза для модифицирования чугуновых расплавов, также способ защиты их от окисления путем плакирования. Установлены состав и необходимые размерно- кристаллографические параметры модифицирующих порошков для обработки чугуновых расплавов. Показана эффективность модифицирующей обработки такими материалами при производстве прокатных валков и изложниц.

Бібл. 6.

UDC 621.315.592

A.P. Oksanich, I.V. Shevchenko, A.S. Volochov **Optimization of the configuration of the thermal screen of growth equipment by criterion of the minimum non-uniformity of axial temperature gradients** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.3 – 17.

The mathematical model of a problem of optimisation of geometrical parametres of the thermal screen and the method of its decision including numerically-analytical evolutionary procedure of optimising calculations is developed. It allows to provide a necessary temperature condition in the area of growing and cooling-down of bar. It is rotined that the got configuration of afterheater allows to reduce the unevenness of axial temperature gradients and provide the optimum distributing of temperature on the axis of the grown bar.

Tab. 1. Fig.7. Ref.:4 items.

UDC 669.017

V.M. Kozlov, V.P. Khlyntsev. **Influence of a thickness of the electrolytic iron deposits on their texture** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.18 – 23.

The experimental data on the texture of the electrolytic iron deposits of increasing thickness starting from a thickness of the order of some tenth of micron are adduced in the present paper. It is shown that the initial (first) texture axis of iron electrodeposited on an indifferent substrate is the  $\langle 110 \rangle$  direction independently of the value of the overvoltage. This data are in agreement with the earlier revealed theoretical results. It resulted that by increasing the thickness of the iron deposits the initial texture is gradually transformed to the growth texture with the corresponding change of the texture axis with  $\langle 110 \rangle$  on  $\langle 211 \rangle$ .

Bibl. 6, ill.2.

UDC 621.771:539.4

Beygul O.A., Korniyuchuk M.M., Lepetova A.L. **The Optimization for Statically Indeterminate Closed Frame of Rolling Mill stand by Criterion of Minimal Mass** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.24 – 30.

The mathematical model of optimization for statically indeterminate closed frame of rolling mill stand by criterion of minimal mass has been worked out.

Bibl. 5, il. 4.

UDC 658.5:006.065

Kovalev A.I. **Evaluation of quality of enterprise functioning in the implementation process-oriented standards** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.31 – 42.

Process-oriented standards, which define demands to management by enterprises (ISO series 9000, 14000, 2200, 28000 and others) to declare consideration of enterprise's processes in their complex. Because the identification, understanding and analysis of processes, which interconnect and interact, as a systems, that allowed to evaluate the effectiveness and efficiency of enterprise's function in whole. The problem of integration of process and systemic approaches in practice of management by enterprise can be decided by the use of development the model of system the evaluation of quality and function the enterprise and it also can be decided by the use of development the method of formalized evaluation and improvement of the processes. The procedure of evaluation the effectiveness processes includes the formulation criteria and indexes. Indexes are indicators of current activity.

Indexes are predictors of future results. Two groups of indexes, which are showed, are indexes of dynamics activity and indexes of results activity. The systemic approach in management by enterprise means at the same time to evaluate and improve the process for the purpose of optimize some objective function  $Y\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ , where  $\pi_i, i=\overline{1, n}$  – particular index of dynamics,  $p_j, j=\overline{1, 2, \dots, m}$  – particular indexes of results activity,  $Y$  – generalized index,  $f$  – can be as a polynomial with coefficients that are evaluated for the reason of experimental data. The method of evaluation includes the interpretation of this polynomial.

Bibl. 9, ill. 1.

UDC 519.6

Pashin A.N. **The usage of Spirman criteria for selection of the telecommunication network control parameters** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.43 – 49.

The main characteristics of the telecommunication network are described in this article. Additionally, a way of the nonparametric statistics usage is advised for distinguishing of only those parameters of configuration which have real impact on the system's parameters and can be efficiently used to improve system's performance.

Spirman criterion was selected as a main filtering method to be used. It helps to calculate correlation between two different data extracts having one of them as a configuration parameters list and the other as a list of values of the network parameters of efficiency.

UDC 519.6

A.P. Gozyi **Synergetics aspects of the scenario planning** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.50 – 55.

In the article the basic features of application of synergetics approach are considered for the decision of tasks of the scenario planning. The evolutionary models of scenarios are offered. The algorithm of application of evolutionary models is resulted at development of scenario.

Bibl. 7, ill. 2.

УДК 624.04

Degtiarov V. **The algorithm of building the shortest network of communications in three dimensional space with obstacles** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.56 – 62.

The algorithms of building the shortest communications network in three dimensional space are investigated in the article. Combined SFDP/A\* algorithm is proposed to solve the problem constrained by physical obstacles of working space. Defined sequence of actions to create pseudo optimal network in terms of its length. Practical implementation of the method allows to build the shortest networks of communications for the supply of water and electricity for Zmiinyi island.

Ref. 8, pict. 6.

UDC 669.013.002.5

Beygul O.A., Lepetova A.L. **The Basis of Parameters for Load-Carrying System of Metallurgical Truck** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.63 – 67.

The calculation for load-carrying system of modern design metallurgical truck has been received.

Bibl. 4, ill. 2.

UDC 669.14.294.014:004.9

Zhadanos A.V, Kukushkin O.N., Gasik M.I. **Development of automated information system of ladle-furnace aggregate to predict the content of alloying elements in structural steel** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.68 – 74.

As a result of industrial experiments for structural steel grades obtained by regression models of the chemical composition of the metal on silicon, manganese, carbon, depending on the number of sitting down with, SiMn17, FeSi65, which allows predicting the chemical composition of steel on these elements. According to the results of the researches has been completed a structure of automation information system of ladle-furnace aggregate.

Bibl.9, il. 4.

UDC 65.01:65.012

Kovalenko I.I., Shved A.V. **Using adaptive robust statistical procedures for group experts estimates classification** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.75 – 83.

The problem of allocation from initial non-uniform set of experts estimations the uniform component by using adaptive robust procedures of statistical research is considered. The offered approach allows to provide more detailed analysis of the group experts estimations formed with the limits of an absolute scale of measurements. It raises efficiency of making decisions of their coordination or inconsistency.

Ref. 14 titles

UDK 528.71

Gnatushenko V.V. **Mathematical correction model of photogrammetric scanner data** / V.V. Gnatushenko, V.V. Gnatushenko, I.S. Dmitrieva // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.84 – 90.

The model which adequately presents processes of fixing of photogrammetric data of shooting taking into account Earth curvature is in-process offered and allows to compensate angular oscillations by the analysis of the images gained by the CDD-scanner.

Bibl. 4, ill. 2.

UDC 519.24:681

Koshulyan A., Malajchuk V., Mozgovoi A. **An optimal quality conformance inspection of objects that have random values parameters** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.91 – 99.

A problem of the optimal tolerance intervals choice is considered for objects whose tested parameters are random values inherently and are measured with errors and also should not leave tolerance intervals. Proposed a method for the optimal tolerance intervals choice that bases on two criterions - the probability minimum of wrong decisions, and the probability minimum of the wrong decisions conditional cost. Type I and type II errors probability (a mistake "to accept a non-defective item for a reject" and backwards "to accept a reject for a non-defective item") are examined for the optimal tolerance intervals usage.

Bibl. 3, ill. 5, table 1.

UDC 629.735.015.017.2

Klimenko S.V., Ogorenko V.V. **Likelihood an estimation of computer psychometric testing of temperament of the person** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.100 – 106.

The new method of definition of quantity indicators of temperament of the person by results of computer psychometric testing by an estimation of their conditional probabilities by results of measurements of number of the solutions coinciding with a key of the test of psychologists, and speeds of the information processing containing in questions-stimulus of informational interaction between the person and the computer is offered.

Bibl. 4, ill. 1.

A. Pavlenko, E. Saiko **Heat transfer in porous materials** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.107 – 113.

In this work influence of structural parameters is considered on heat conductivity of porous material. Offered to recommendation for the estimation of influencing of different factors on heat conductivity of porous material.

Bibl. 4.

UDC 519.688

Chabanenko D.M. **Discrete Fourier-continuation of time series** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.114 – 121.

In this article, the algorithm of low-frequency constituent's prediction is proposed. The method assumes the approximation of the given time series by finite harmonic functions sum. We propose the iterative algorithm of model parameters estimation based on minimizing of deviations functional. The results of experimental testing algorithm's effectiveness on financial time series show sufficient prediction's accuracy.

UDC 519,210 (075-8)

Jamalov D.A. **On the analysis of design for reliability** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.122 – 126.

UDC 621.311.2.22

Ismailov R. **On the preparation of water for heating systems on new-drainage technology** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.127 – 132.

The article discusses the newly developed technology for preparing Endorheic basin water heating systems. The analysis and study are derived mathematical expressions to define the main operational parameters of drainage systems working on the proposed flowsheet.

UDK 51-74:669.162-669.181.4

Trigub I.G., Fedorov S.S., Foris S.N., Golovko V.I. **Research of influence of a surface shape of limestone on indexes of work of the shaft furnace** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.133 – 143.

The intercommunication of warm-technological parameters of work shaft limekilning furnaces is considered on the basis of mathematical model, taking into account heat-mass exchanging processes in the volume of stove, and frame model of charge of materials in a mine. Determination of indexes of burning of limestone is offered depending on change of configuration of surface of charge (height and corners of slope). The possibility of the use of

models is shown for determination of optimal level of loading of mine and configuration of top of stove with the purpose of perfection of the modes of loading.

Bibl. 8, il. 3.

UDC 004.93

Dolgov V.M., Seliverstova T.V. **Application of the genetic algorithm for reliability improving of low-contrast images segmentation** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.144 – 149.

This paper offers the method to reliability improving of low-contrast images segmentation based on Otsu method using the genetic algorithm for the automated processing of low-contrast gray-scale images.

Bibl. 7, piet. 2, tabl. 0.

UDC 621.74:669.14

Vlas, M.I, Kalinin, V.T, Hrychikova V.E, Krivosheeva V.A, Menyailov E.V, Kondrat A.A. **Modification of wear-resistant cast iron and ultra-nanodisperse materials** // System technologies. N 1(66) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.150 – 162.

The features of the production of ultra-and nanopowder materials by plasma synthesis for modification of cast iron melts, as a way to protect them from oxidation by cladding. The composition and size-appropriate crystallographic parameters modifying powders for the treatment of iron melts The effectiveness of modifying processing of such materials in the manufacture of rolls and molds.

Bibl. 6.

## АВТОРЫ ВЫПУСКА

**Оксанич Анатолий Петрович** - доктор технических наук, профессор, профессор Кременчугского университета экономики, информационных технологий и управления.

**Шевченко Игорь Васильевич** - кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий проектирования Кременчугского университета экономики, информационных технологий и управления.

**Волохов Сергей Александрович** - генеральный директор ООО «СИЛИКОН». г. Светловодск.

**Козлов Валентин Михайлович** – доктор химических наук, профессор, Национальная металлургическая академия Украины, заведующий кафедрой физики, г. Днепропетровск.

**Хлынец Виктор Прохорович** – кандидат физико-математических наук, доцент, Национальная металлургическая академия Украины.

**Бейгул Олег Олексійович** – завідувач кафедри металургійного обладнання, докт. техн. наук, старший науковий співробітник; Дніпродзержинський державний технічний університет.

**Корнійчук Микола Миколайович** – аспірант кафедри металургійного обладнання; Дніпродзержинський державний технічний університет.

**Лепетова Ганна Леонідівна** – доцент кафедри інженерної графіки, канд. техн. наук, доцент; Дніпродзержинський державний технічний університет.

**Ковалев Алексей Иванович** - к.т.н., начальник отдела управления проектами, ОАО ЭК «Хмельницкоблэнерго», г. Хмельницкий.

**Пасхин Артем Николаевич** – аспирант кафедры Информационных технологий и программных систем Черноморского государственного университета имени Петра Могилы.

**Гожий Александр Петрович** - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Информационных технологий и программных систем, декан факультета компьютерных наук Черноморского государственного университета им. П.Могилы.

**Дегтярьов Віктор Олександрович** - Чорноморський Державний Університет, ст. викладач кафедри інформаційних технологій та програмних систем.

**Жаданос Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электрометаллургии, НМетАУ.

**Кукушкин Олег Николаевич** – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой автоматизации производственных процессов, НМетАУ.

**Гасик Михаил Иванович** – академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрометаллургии, НМетАУ.

**Коваленко Игорь Иванович** – д.т.н., профессор кафедры программного обеспечения автоматизированных систем Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

**Швед Алена Владимировна** – магистр кафедры информационных управляющих систем и технологий Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

**Гнатушенко Владимир Владимирович** — д.т.н., профессор кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

**Гнатушенко Виктория Владимировна** — к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

**Дмитриева Ирина Сергеевна** — к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

**Кошулян О.В.** - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Малайчук В.П.** - Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Мозговий О.В.** – Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Клименко Светлана Владимировна** – старший преподаватель кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

**Огоренко Виктория Викторовна** – кандидат медицинских наук, психиатр высшей категории.

**Павленко Анатолий Михайлович** - доктор технических наук, профессор, Днепропетровский государственный технический университет, декан энергетического факультета, профессор кафедры «Теплоэнергетика».

**Сайко Елена Николаевна** - Днепропетровский государственный технический университет, аспирантка кафедры «Теплоэнергетика».

**Чабаненко Дмитро Миколайович** - аспірант кафедри економічної кібернетики, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького.

**Джамалов Д.А.** - канд. техн. наук., Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет.

**Исмайлов Р.Т.** - Азербайджанский Архитектурно-Строительный университет.

**Тригуб Ирина Григорьевна** - ассистент кафедры автоматизации производственных процессов, НМетАУ.

**Федоров Сергей Сергеевич** - к.т.н., доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, НМетАУ.

**Форись Светлана Николаевна** - к.т.н., доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, НМетАУ.

**Головко Вячеслав Ильич** - д.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов, НМетАУ.

**Долгов Валерій Михайлович** - професор, к.ф.-м.н., декан факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем, професор кафедри АСОІ Дніпропетровського національного університету.

**Селіверстова Тетяна Вікторівна** - викладач кафедри АСОІ Дніпропетровського національного університету, аспірант.

**Влас Михаил Иванович** – директор, г. Кишинев ОАО «Молдова-Хідромаш».

**Калинин Василий Тимофеевич** - профессор кафедры литейного производства, д.т.н., г. Днепропетровск НМетАУ.

**Хрычиков Валерий Евгеньевич** - зав. кафедрой литейного производства, проф., д.т.н., г. Днепропетровск НМетАУ.

**Кривошеев Владимир Андреевич** - Вед научн. сотрудник каф. литейного производства, к.т.н., г. Днепропетровск НМетАУ.

**Меняйло Елена Валерьевна** - доц. каф. литейного производства, к.т.н., г. Днепропетровск НМетАУ.

**Кондрат Александра Александровна** - аспирант каф. литейного производства, г. Днепропетровск НМетАУ.