

Е.М. Киселева, Л.С. Коряшкина, А.А. Михалева

**КОНСТРУКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ
НЕПРЕРЫВНЫХ ЗАДАЧ МНОГОКРАТНОГО ПОКРЫТИЯ**

Аннотация. Представлен подход к решению задач о многократном покрытии ограниченного множества из пространства E_n кругами наименьшего радиуса на основе математического и алгоритмического аппарата теории непрерывных задач оптимального разбиения множеств. Описан конструктивный алгоритм решения задачи многократного шарового покрытия, приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: многократное покрытие области, непрерывные задачи оптимального разбиения множеств, недифференцируемая оптимизация.

Введение

Непрерывные задачи многократного покрытия кругами ограниченного множества плоскости или n -мерного пространства исследуются давно. Интерес к задачам многократного покрытия обусловлен, прежде всего, важными практическими приложениями (см., например, [1 – 5]). Такие задачи возникают при необходимости разместить в некотором регионе логистические, распределительные, сервисные центры, службы быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации, станции сотовой связи, банкоматы, пункты хранения химических реагентов для нефте- или газодобычи и т. п. Многократное покрытие зон обслуживания используют также навигационные системы GPS, Глонасс, разрабатываемая европейская система Галилео [5].

Анализ публикаций по теме исследования

В научной литературе широко представлены различные алгоритмы для решения задач однократного шарового покрытия. Одни из них базируются на определенных эвристиках, другие используют в качестве математического аппарата области Вороного. В [6] предложен подход, основанный на теории стержневых структур и температурных расширений и сжатий. Применение теории непрерывных за-

дач оптимального разбиения множеств [7] к задачам однократного покрытия ограниченной части плоскости представлено в [8]. Численные алгоритмы решения непрерывных задач многократного покрытия в научной литературе представлены не так широко, как для задач однократного покрытия. Распространение алгоритмов, использующих области Вороного, на k -кратные покрытия приведено в [9]. Подробный обзор по дискретным аналогам задач многократного покрытия и методам их решений содержится в [10]. В работах [1] решение задачи многократного покрытия сводится к комбинированию методов решения непрерывной и построенной дискретной задачи 0-1 минимального покрытия. Для решения задачи 0-1 минимального покрытия предложена эвристика, использующая кластеризацию.

Формулировка целей статьи

В данной работе будут приведены математические формулировки задач многократного покрытия ограниченной в E_n области кругами минимального радиуса, с использованием математического аппарата теории непрерывных задач оптимального покрытия множеств, а также представлен конструктивный алгоритм решения таких задач. При этом, следуя [1], при определении расстояний между конкретными объектами будем использовать функции, являющиеся некоторыми метриками в пространстве E_n , которому принадлежит покрываемое множество, такие как евклидова, манхэттенская, метрика Чебышева, взвешенная l_p -метрика, взвешенная l_p -метрика с возможным поворотом осей координат и другие. Выбор метрики зависит от свойств множества и от существующих связей центра с «клиентами».

Основная часть

Математическая постановка задачи многократного оптимального покрытия.

Пусть Ω – ограниченное, замкнутое множество в пространстве E_n .

s -шаром радиуса R с центром в точке τ_i из E_n будем называть множество вида $B(\tau_i, R) = \{x \in E_n : c(x, \tau_i) \leq R\}$, где $c(x, \tau_i)$ – некоторая квазиметрика.

Будем говорить, что совокупность центров $\tau_1, \dots, \tau_N$ задает k -кратное шаровое покрытие множества Ω с радиусом R , если имеет

место включение $\Omega \subseteq \bigcup_{i=1}^N B(\tau_i, R)$, и для каждой точки $x \in \Omega$ выполняется условие $x \in \bigcap_{j=1}^l B(\tau_{i_j}, R)$, $i_j \in \{1, 2, \dots, N\}$, $k \leq l \leq N$. Радиус R k -кратного покрытия множества Ω , которое задается центрами $\tau_1, \dots, \tau_N$ (вектором τ^N), определяется так:

$$R(\tau^N) = \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i), \quad (1)$$

при этом для каждой точки $x \in \Omega$ выполняется условие $x \in \bigcap_{j=1}^l B(\tau_{i_j}, R)$,

$k \leq l \leq N$, $i_j \in \{1, 2, \dots, N\}$, где $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \underbrace{E_n \times \dots \times E_n}_N = E_n^N$ (или, в

частном случае, $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \underbrace{\Omega \times \dots \times \Omega}_N = \Omega^N$).

k -кратное покрытие множества Ω , задаваемое вектором $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$, с радиусом $R(\tau^N)$, который определяется по формуле (1), является минимальным k -кратным с-шаровым покрытием, генерируемым вектором τ^N .

k -кратное покрытие минимального радиуса называется оптимальным k -кратным покрытием.

Таким образом, для отыскания оптимального k -кратного покрытия необходимо определить величину радиуса оптимального покрытия

$$R(\tau_*^N) = \inf_{\tau^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i)$$

и вектор $\tau_*^N = (\tau_1^*, \dots, \tau_N^*)$, на котором достигается значение $R(\tau_*^N)$ при условии, что для каждой точки $x \in \Omega$ выполняется включение

$$x \in \bigcap_{j=1}^l B(\tau_{i_j}^*, R), \quad k \leq l \leq N, \quad i_j \in \{1, 2, \dots, N\}.$$

Задача о поиске радиуса N кругов, образующих k -кратное с-шаровое покрытие множества.

Может быть формализована математически следующим образом.

Пусть Ω – ограниченное, замкнутое множество в пространстве E_n , $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N)$ – заданный на множестве Ω (или в пространстве E_n) набор точек, в дальнейшем называемых центрами. Будем говорить, что точки $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$ являются k -ближайшими соседями точки $x \in \Omega$ из заданных N точек, если

$$\forall j = \overline{1, k} \quad c(x, \tau_{i_j}) < c(x, \tau_m), \quad m \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{i_1, i_2, \dots, i_k\}. \quad (2)$$

В частных случаях, например, когда множество Ω имеет симметричную структуру, или центры $\tau_1, \dots, \tau_N$ размещены в области Ω с определенной закономерностью, для некоторых точек $x \in \Omega$ знак неравенства в (2) может быть нестрогим, то есть некоторые из заданных центров $\tau_1, \dots, \tau_N$ могут находиться на одинаковом расстоянии от фиксированной точки $x \in \Omega$. Тогда будем считать, что точка $x \in \Omega$ имеет несколько различных наборов из k -ближайших соседей. При численной реализации поиска k -ближайших соседей фиксированной точки $x \in \Omega$ для однозначности будем полагать, что набор k -ближайших соседей образуют точки $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$, удовлетворяющие следующей системе неравенств

$$\forall j = \overline{1, k} \quad c(x, \tau_{i_j}) < c(x, \tau_m), \quad m \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$$

и имеющие наименьшие возможные индексы.

Введем в рассмотрение множество Λ_N^k N -мерных векторов, координаты которых могут принимать значения 0 или 1, причем в каждом таком векторе единиц может быть ровно k :

$$\Lambda_N^k = \left\{ \lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_N) : \lambda_i = 0 \vee 1, i = \overline{1, N}; \sum_{i=1}^N \lambda_i = k \right\}.$$

Очевидно, $|\Lambda_N^k| = C_N^k$.

Тогда для каждой точки $x \in \Omega$ k ближайших соседей из фиксированного набора точек $(\tau_1, \dots, \tau_N)$ можно найти, решая задачу поиска такого вектора $\lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) \in \Lambda$, при котором достигается минимальное значение следующей величины:

$$C(x) = \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x). \quad (3)$$

Таким образом, можно считать, что на множестве Ω определена вектор-функция $\lambda(\cdot)$ со значениями в $\mathbb{K} = \{\lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) : \lambda(x) \in \Lambda_N^k \quad \forall x \in \Omega\}$, так что для каждой точки $x \in \Omega$ компонента $\lambda_i(x)$ этой вектор-функции равна 1 тогда и только тогда, когда центр τ_i считается одним из k возможных «соседей» этой точки. Если же вектор $\lambda(x)$ таков, что на нем достигается величина $C(x)$, то он будет соответствовать ближайшим к точке x k -соседям. Эту величину $C(x)$ и будем считать радиусом кругов с центрами $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$, покрывающим k -кратно точку x . Индексы этих центров совпадают с индексами единичных компонент вектора $\lambda(x)$. Если среди всех величин $C(x)$, $x \in \Omega$, выбрать наибольшую, то эта величина и будет определять радиус кругов с центрами в точках $(\tau_1, \dots, \tau_N)$, покрывающих k -кратно множество Ω .

Итак, задача о поиске радиуса N кругов, образующих k -кратное с-шаровое покрытие множества состоит в отыскании величины

$$R = \sup_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, \overline{N}} c(x, \tau_i) \lambda_i(x).$$

Задача о минимальном k -кратном с-шаровом покрытии с размещением центров шаров

Математически может быть сформулирована так:

Требуется найти величину

$$R(\lambda^*(\cdot), \tau_*^N) = \inf_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, \overline{N}} c(x, \tau_i) \lambda_i(x), \quad (4)$$

где

$$\Lambda_N^k = \left\{ \lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_N) : \lambda_i = 0 \vee 1, i = \overline{1, N}; \sum_{i=1}^N \lambda_i = k \right\},$$

а также вектор-функцию $\lambda^*(x) \in \Lambda_N^k \quad \forall x \in \Omega$, и вектор $\tau_*^N = (\tau_1^*, \dots, \tau_N^*) \in \Omega^N \subset E_n^N$, при котором в (4) достигается нижняя грань.

Если в задаче (4) не интересоваться, какими именно с-шарами покрывается каждая точка $x \in \Omega$, то вектор-функцию $\lambda^*(\cdot)$ слева в равенстве (4) можно опустить. В таком случае вектор-функция $\lambda(x)$ ис-

пользуется лишь для конструктивной записи математической модели задачи и является промежуточным результатом.

Частными случаями приведенных двух задач о k -кратном с-шаровом покрытии множества или их обобщениями являются следующие постановки.

Задача 1 (задача k -кратного покрытия заданного множества из E_n с фиксированными центрами).

Для заданной системы центров $(\tau_1, \dots, \tau_N)$ из E_n^N (или из Ω^N) найти минимальное k -кратное с-шаровое покрытие множества Ω .

Математически задача сводится к отысканию величины (1).

Задача 2 (задача об оптимальном ограниченном k -кратном с-шаровом покрытии).

При заданном количестве N центров $\tau_1, \dots, \tau_N$ найти такое их размещение в области Ω , которое генерирует k -кратное покрытие множества Ω с минимальным радиусом.

Если предположить, что центры $\tau_1, \dots, \tau_N$ могут располагаться не только во множестве Ω , но и во всем пространстве E_n , то можно сформулировать следующую задачу.

Задача 3 (задача об оптимальном k -кратном с-шаровом покрытии).

При заданном количестве N центров $\tau_1, \dots, \tau_N$ найти такое их размещение в E_n , которое генерирует k -кратное покрытие множества Ω с минимальным радиусом.

В предположении о том, что количество N центров $\tau_1, \dots, \tau_N$ может не быть заданным наперед, формулируется следующая задача.

Задача 4 (задача о нахождении минимальной по количеству совокупности центров k -кратного покрытия).

При заданном радиусе покрытия R найти минимальную по количеству N совокупность центров $\tau_1, \dots, \tau_N$, генерирующую k -кратное покрытие множества Ω .

Конструктивные алгоритмы решения задач 1 и 2 многократного покрытия заданного множества.

Представим приближенный алгоритм решения задачи о поиске радиуса N кругов, образующих k -кратное с-шаровое покрытие мно-

жества, а также алгоритм решения задачи о минимальном k -кратном s -шаровом покрытии с размещением центров шаров.

Для решения задачи об отыскании радиуса N кругов, образующих k -кратное s -шаровое покрытие заданного множества Ω предложен подход, основанный на дискретизации области и использовании алгоритмов сортировки массива расстояний от фиксированной точки $x \in \Omega$ до заданных центров $(\tau_1, \dots, \tau_N)$.

Опишем вначале алгоритм решения задачи (1) или (3) о поиске радиуса N кругов, образующих k -кратное s -шаровое покрытие заданного множества Ω из E_n . Область Ω заключим в n -мерный параллелепипед Π , стороны которого параллельны осям декартовой системы координат, вводя вспомогательную функцию $\rho(x)$, определенную на Π , такую, что

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & \text{для } x \in \Pi \setminus \Omega, \\ 1 & \text{для } x \in \Omega. \end{cases}$$

Тогда в задаче (1) под функцией $c(x, \tau_i)$ будет пониматься функция $c(x, \tau_i) \cdot \rho(x)$, определенная на Π и совпадающая с $c(x, \tau_i)$ на Ω .

Алгоритм 1

Предварительный этап. Параллелепипед Π покрываем прямоугольной сеткой с шагом Δh_j , $j=1, \dots, n$; обозначим $\tilde{\Pi}$ – множество узлов сетки. Задаем положение центров покрытия $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N)$.

Шаг 1. Для каждой точки x сетки $\tilde{\Pi}$ строим массив расстояний от этой точки до всех центров: $D(x) = (c(x, \tau_1), c(x, \tau_2), \dots, c(x, \tau_N))$.

Шаг 2. Полученный массив расстояний $D(x)$ сортируем по возрастанию элементов.

Шаг 3. В каждом отсортированном массиве отбираем элемент с порядковым номером k , обозначим этот элемент $c^k(x, \tau_{i_k})$.

Шаг 4. Среди всех отобранных элементов находим наибольший:

$$\tilde{R} = \max_{x \in \tilde{\Pi}} c^k(x, \tau_{i_k}).$$

Полученное максимальное значение и является приближенным значением радиуса окружностей с центрами в точках $(\tau_1, \dots, \tau_N)$, которые k -кратно покрывают множество Ω .

Алгоритм оптимального многократного покрытия множества, основанный на использовании методов недифференцируемой оптимизации.

Представим здесь один из возможных численных алгоритмов решения задачи (4) об оптимальном k -кратном покрытии – отыскания координат центров $\tau_1^*, \dots, \tau_N^*$, минимизирующих целевую функцию $R(\tau^N)$ в предположении, что покрываемое множество имеет простую структуру. Поскольку функция $R(\tau)$ недифференцируема, для решения задачи (4) будем использовать метод проекции обобщенного градиентного спуска с растяжением пространства в направлении разности двух последовательно обобщенных градиентов (r -алгоритм Шора [11]).

i -ю компоненту N -мерного вектора обобщенного градиента

$$g_R(\tau^N) = (g^{\tau_1}(\tau^N), \dots, g^{\tau_N}(\tau^N)) \quad (6)$$

функции $R(\tau^N)$ в точке $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$ будем вычислять с применением формул численного дифференцирования:

$$g^{\tau_j}(\tau^N) = (g_1^{\tau_j}(\tau^N), g_2^{\tau_j}(\tau^N), \dots, g_n^{\tau_j}(\tau^N)), \quad (7)$$

где s -ая компонента вычисляется приближенно по следующей формуле:

$$g_s^{\tau_j}(\tau^N) = \frac{R(\tau_1, \dots, (\tau_j^{(1)}, \dots, \tau_j^{(s)} + \Delta, \dots, \tau_j^{(n)}), \dots, \tau_N) - R(\tau_1, \dots, (\tau_j^{(1)}, \dots, \tau_j^{(s)}, \dots, \tau_j^{(n)}), \dots, \tau_N)}{\Delta},$$

$$s = \overline{1, n}, j = \overline{1, N}.$$

Сформулируем алгоритм решения задачи оптимального многократного покрытия единичного n -мерного куба $\Omega = \underbrace{[0,1] \times [0,1] \times \dots \times [0,1]}_n$.

Для упрощения обозначений в алгоритме вектор $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$ обозначим через $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N)$.

Алгоритм 2

Предварительный этап. Куб Ω покрываем прямоугольной сеткой с шагом Δh_j , $j=1, \dots, n$. Множество узлов прямоугольной сетки на множестве Ω обозначим $\tilde{\Omega}$. Задаем шаг численного дифференцирования Δ . Задаем начальное положение центров покрытия $\tau^{(0)} = (\tau_1^{(0)}, \dots, \tau_N^{(0)})$.

Вычисляем по этим центрам величину

$$R(\tau^{(0)}) = \sup_{x \in \tilde{\Omega}} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i^{(0)}) \lambda_i(x),$$

используя алгоритм 1 решения задачи поиска радиуса N кругов, образующих k -кратное с-шаровое покрытие заданного множества Ω .

По формулам (6), (7) вычисляем вектор-градиент $g_R(\tau_1, \dots, \tau_N)$ в точке $\tau^{(0)}$, выбираем начальный пробный шаг r -алгоритма $h_0 > 0$.

Первый шаг алгоритма проводим по формуле

$$\tau^{(1)} = P_{\Omega} \left(\tau^{(0)} - h_0 \cdot g_R(\tau^{(0)}) \right),$$

P_{Ω} – оператор проектирования на множество Ω .

Переходим ко второму шагу.

Пусть в результате вычислений после m ($m=1, 2, \dots$) шагов алгоритма получен определенный вектор $\tau^{(m)} = (\tau_1^{(m)}, \dots, \tau_N^{(m)})$.

Опишем $(m+1)$ -й шаг алгоритма.

1. По центрам $\tau_1^{(m)}, \dots, \tau_N^{(m)}$ с помощью алгоритма 1 величину

$$R(\tau^{(m)}) = \sup_{x \in \tilde{\Omega}} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i^{(m)}) \lambda_i(x),$$

2. Вычисляем значения $g_R(\tau)$ по формулам (6), (7) при $\tau = \tau^{(m)}$.

3. Проводим $(m+1)$ -й шаг r -алгоритма в H -форме, итерационная формула которого имеет вид

$$\tau^{(m+1)} = P_{\Pi} \left(\tau^{(m)} - h_m \frac{H_{m+1} g_R(\tau^{(m)})}{\sqrt{(H_{m+1} g_R(\tau^{(m)}), g_R(\tau^{(m)})}} \right),$$

где H_{m+1} – матрица растяжения пространства с коэффициентом α (его целесообразно брать равным 3) в направлении разности двух последовательных обобщенных градиентов, имеющая вид

$$H_{m+1} = H_m + \left(1/\alpha^2 - 1\right) \frac{H_m \xi_m \xi_m^T H_m}{(H_m \xi_m, \xi_m)}, \quad \xi_m = g_R(\tau^{(m)}) - g_R(\tau^{(m-1)}).$$

Если из-за округлений счета H_{m+1} перестает быть положительно определенной, заменяем ее единичной матрицей.

Шаг h_m выбираем из условия:

$$\min_{h>0} R \left(\tau^{(m)} - h \frac{H_{m+1} g_R(\tau^{(m)})}{\sqrt{(H_{m+1} g_R(\tau^{(m)}), g_R(\tau^{(m)})}} \right).$$

4. Если условие

$$\|\tau^{m+1} + \tau^m\| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0, \quad (8)$$

не выполняется, переходим к $(m+2)$ -му шагу, в противном случае – к п. 5.

5. Полагаем $\tau_* = \tau^{(l)}$, где l – номер итерации, на которой выполнилось условие (8) завершения работы алгоритма.

6. Вычисляем значение минимального радиуса покрытия по формуле $R(\tau^*)$ с помощью алгоритма 1.

Алгоритм 2 описан.

Анализ результатов вычислительных экспериментов

Приведем результаты вычислительных экспериментов по многократному покрытию единичного квадрата из E_2 с помощью алгоритма 2.

Вначале работу алгоритма продемонстрируем на примере решения задачи однократного покрытия указанного множества. На рис. 1 изображены оптимальные покрытия единичного квадрата, полученные с заданной точностью $\varepsilon=0.0001$ алгоритмом 2, для $N=3, 8, 11, 15$. В табл. 1 приведены минимальные радиусы однократного покрытия в задаче (4) для соответствующих значений N , полученные с заданной точностью алгоритмом 2, в сравнении с оптимальными решениями, полученными в [7, 12]. Незначительное расхождение в оптимальных значениях радиусов покрытия объясняется, прежде всего, погрешностью алгоритма (приближенное вычисление компонент обобщенного градиента целевой функции, дискретизация облас-

ти, параметрами r -алгоритма), а также вычислительной погрешностью.

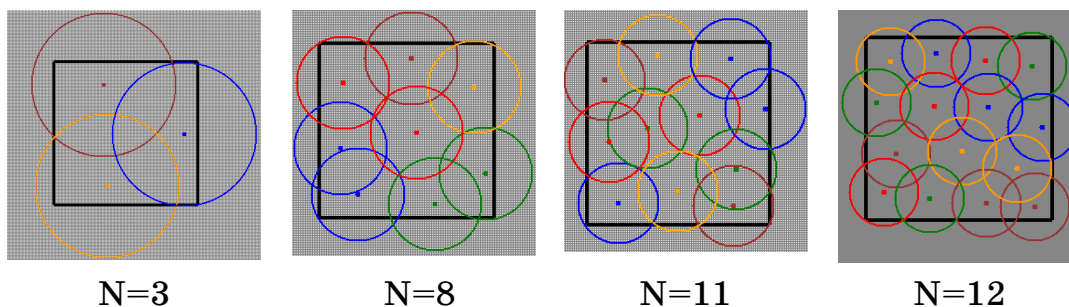


Рисунок 1 - Оптимальное однократное покрытие единичного квадрата, полученное алгоритмом 2: метрика евклидова

Заметим также, что результаты многочисленных вычислительных экспериментов по приближенному решению задачи (4) об оптимальном многократном с-шаровом покрытии свидетельствуют о наличии свойства многоэкстремальности целевой функции задачи. Из различных начальных приближений набора центров можно прийти к различным локальным решениям задачи (4).

Таблица 1

Минимальный радиус однократного покрытия единичного квадрата, полученный с помощью алгоритма 2 и алгоритма, приведенного в [3]

N	$R(\tau_*)$ (алгоритм 2)	$R(\tau_*)$ (алгоритм из [3])	N	$R(\tau_*)$ (алгоритм 2)	$R(\tau_*)$ (алгоритм из [3])
2	0,5545	0,5599	9	0,2500	0,2339
3	0,5022	0,5033	10	0,2328	0,2186
4	0,3541	0,3536	11	0,2236	0,2125
5	0,3233	0,3266	12	0,2191	0,2068
6	0,3162	0,3001	13	0,2166	0,1956
7	0,2926	0,2596	14	0,2070	0,1859
8	0,265	0,2596	15	0,1892	0,1807

На рис. 2 представлены результаты решения непрерывных задач k -кратного покрытия единичного квадрата с помощью алгоритма 2 при заданном количестве центров.

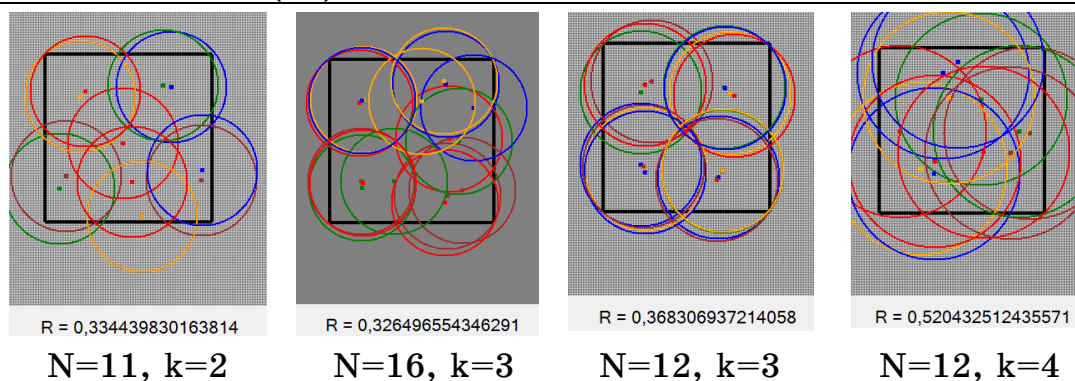


Рисунок 2 - Оптимальное k -кратное покрытие единичного квадрата при заданном количестве N центров: метрика – евклидова

Сравнительный анализ результатов вычислительных экспериментов по 2-, 3-, 4-х-кратному покрытию единичного квадрата позволил выявить достоинства и недостатки разработанного алгоритма. Это, прежде всего, – зависимость результатов вычислений (величины минимального радиуса шарового покрытия) от исходных данных и параметров алгоритма – начального приближения координат центров, величины шага пространственной сетки, величины шага численного дифференцирования при вычислении компонент обобщенного градиента. Серия вычислительных экспериментов показывает, что для получения радиуса покрытия, близкого к оптимальному радиусу, величину шага численного дифференцирования Δ в первом варианте алгоритма нужно согласовывать с шагом дискретизации области, с количеством центров и кратностью покрытия. Для устранения этого недостатка предлагается вариант алгоритма с элементами теории непрерывных задач оптимального разбиения множеств, а именно, при вычислении компонент обобщенного градиента целевой функции задачи (4) использовать k -кратную диаграмму Вороного, построенную с помощью методов ОРМ, по аналогии с алгоритмом решения задач оптимального однократного покрытия, приведенного в [7]. Результаты решения некоторых задач оптимального многократного покрытия свидетельствуют также о том, что при определенных значениях N и k оптимальное расположение центров таково, что несколько центров могут быть расположены очень близко друг к другу, что на практике не всегда реализуемо. Поэтому в дальнейшем математическая модель задачи об оптимальном многократном шаровом покрытии должна быть уточнена путем расширения целевой функции задачи некоторым

регуляризирующим слагаемым, отвечающим за невозможность «слипания» центров.

Заключение

Таким образом, в работе представлены математические модели и методы решения непрерывных задач многократного покрытия, разработанные с использованием элементов теории непрерывных задач ОРМ. Разработанный приближенный алгоритм решения задачи о минимальном k -кратном s -шаровом покрытии основан на дискретизации покрываемой области и применении для решения задачи не дифференцируемой оптимизации (3) r -алгоритма Шора. При этом для приближенного вычисления компонент обобщенного градиента целевой функции задачи (3) можно применять или конечно-разностные производные (схемы), или k -кратные диаграммы Вороного, построенные с помощью методов оптимального разбиения множеств.

Конструктивный алгоритм решения непрерывной задачи об оптимальном покрытии множеств из E_n , разработанный на основе теории оптимального разбиения множеств, обладает следующими свойствами: его реализация не зависит от геометрических особенностей покрываемого множества и размерности пространства E_n и выбора квазиметрики; на каждом шаге его итерационного процесса улучшается положение одновременно всех центров $\tau_1, \dots, \tau_N$; имеет простую программную реализацию; легко обобщается на случай наличия ограничений на расположение центров (например, в случае недопустимости слияния размещения двух и более центров в одной точке).

ЛИТЕРАТУРА

1. Галиев Ш. И. Оптимизация многократного покрытия ограниченного множества кругами / Ш. И. Галиев, М. А. Карпова. // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 2010. – Т. 50, 4. – С. 757–769.
2. Кісельова О.М. Про моделювання неперервних задач багатократного кулькового покриття множини / О. М. Кісельова, Л. І. Лозовська // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – Д.: ДНУ, 2013 – С.174 – 180.
3. Антошкин А.А. Математическая модель задачи покрытия выпуклой многоугольной области кругами с учетом погрешностей исходных данных / А. А. Антошкин, Т. Е. Романова // Пробл. Машиностроения. – 2002. – 5, №1. – С.55 – 60

4. Астраков С.Н. Построение эффективных моделей покрытия при мониторинге протяженных объектов / С. Н. Астраков, А. И. Ерзин // Вычислительные технологии, 2012. – Т. 17, № 1. – С. 26 – 34.
5. Астраков С.Н. Сенсорные сети и покрытие плоскости кругами / С. Н. Астраков, А. И. Ерзин, В. В. Залюбовский // Дискретный анализ и исследование операций, 2009. – Т. 16, № 3. – С. 3 – 19.
6. Tarnai T. Covering a square by equal circles / Т. Tarnai, Zs. Gaspar // Elem. Math. 1995. – V. 50. – P. 167–170.
7. Киселева Е.М. Исследование алгоритма решения одного класса непрерывных задач разбиения / Е. М. Киселева, Н. З. Шор // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – №1. – С. 84 – 96.
8. Киселева Е.М. Решение непрерывных задач оптимального покрытия шарами с использованием теории оптимального разбиения множеств / Е. М. Киселева, Л. И. Лозовская, Е. В. Тимошенко // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 3. – С. 98–117
9. Галиев Ш.И. Направления убывания для минимаксиминных задач / Ш. И. Галиев // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 1994. – Т. 34. – № 3. – С. 323–343.
10. Farahani R. Z. Facility location. Concepts, models, algorithms and case studies. Springer – Verlag. / R.Z. Farahani , М. Hekmatfar (eds.). – Berlin, Heidelberg. – 2009. – 530 p.
11. Шор Н. З. Использование модификации r – алгоритма для нахождения минимума полиномиальных функций / Н. З. Шор, П. И. Стецюк // Кибернетика и системный анализ. – 1997. – № 4. – С. 28–49.
12. Брусов В. С. Вычислительный алгоритм оптимального покрытия областей плоскости / В. С. Брусов, С. А. Пиявский // Журн. Вычисл. математики и мат. физики. – 1971. – 11, № 2. – С. 304–312.

УДК 004.3

Р.Ю. Лопаткин, С.Н. Игнатенко, В.А. Иващенко, В.Н. Канивец

АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕСТАНДАРТНОГО НАУЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Рассматривается проблема компьютеризации и автоматизации нестандартного научного оборудования с точки зрения затрат времени и средств на разработку технических и программных решений. Предложена архитектура универсальной гибкой измерительной системы, которая позволяет быстро разрабатывать системы управления, контроля, сбора и анализа данных, программировать логику отдельных модулей, а так же разрабатывать интерфейсы конечного пользователя.

Ключевые слова. Автоматизация, датчики, учебное оборудование, уникальное научное оборудование, физический эксперимент, сенсоры, интерфейс пользователя.

Введение

В связи с мировым трендом внедрения интерактивных и телекоммуникационных технологий в научных исследованиях и учитывая острую потребность отечественной науки в новейших приборах, проблема модернизации нестандартных приборов является чрезвычайно актуальной. Однако каждый разработчик сталкивается с проблемой разработки новых и модификации существующих научных приборов и устройств обусловленной, как минимум тремя факторами.

1. Каждая установка компьютеризируется штучно. Это приводит к тому, что на выходе получается достаточно жесткая система, которая практически не расширяется и не модифицируется. Процесс разработки проходит длительное время и требует больших капитальных вложений. А благодаря тому, что среди исполнителей работ не задекларировано единого подхода, то каждый специалист по электронике решает задачу по своему усмотрению.

2. Программное обеспечение, которое разрабатывается штучно под каждую задачу, жестко привязано как к аппаратной части установки, так и к самому программисту. Привязанность к программисту

порождает ряд трудностей при эксплуатации установки: во-первых, компьютеризированная установка требует постоянного выделенного программиста, которым разрабатывает программный код и дальнейшая модификация его другими специалистами достаточно проблематична, во-вторых, среди программистов не задекларированы единого подхода к решению таких задач.

3. Обычно работы по модификации устаревшего оборудования выполняются специалистами с большим стажем, но уже устоявшимся багажом знаний и наработок. Это приводит к тому, что используются устаревшие интерфейсные решения, требующие разработку искусственных драйверов и не направлены на коллективное использование.

Системы, решающие подобные задачи, но с минимизацией перечисленных выше проблем, разрабатываются достаточно давно и очень известными фирмами [1]. Но если рассматривать, например, различные системы автоматизации фирмы Siemens, то станет понятно, что они направлены более на энергетику и автоматизацию производственных линий.

Система сбора RealLab [2] данных построена по модульному принципу. Модули соединяются между собой с помощью промышленного интерфейса RS-485. Представляют собой микроконтроллер с аналоговым коммутатором на 16 входов, усилителем, АЦП, ЦАП, 3-цифровых выхода. В зависимости от серии могут иметь те или иные системы защиты. Программное обеспечение как и протоколы и описания регистров являются открытыми. К недостаткам RealLab можно отнести использование низкоскоростного интерфейса связи, что в свою очередь приводит к малой скорости обработки сигнала, а так же имеется малый функциональный «ассортимент» модулей.

Система L-Card [3] состоит из разнообразных по функционалу модулей и крейтов. С помощью конфигуратора позволяет из модулей в крейте создавать блоки обработки сигналов. Взаимодействие с ПК осуществляется посредством USB и FastEthernet. Недостатки системы; параллельная шина между модулями – малое расстояние между ними, необходимость применения специальных кабелей для соединения, платное ПО, невозможность модификации ПО. ПО – коммерческое, что существенно сужает применимость системы.

Система сбора данных AFStm [4] предназначена для автоматизации учебных демонстрационных экспериментов. Система позволяет

подключать все датчики к ПК и производить сбор и передачу экспериментальных данных. Дальнейшая обработка данных выполняется с помощью программного обеспечения, разработанного на базе передовой среды графического программирования LabVIEW™. Ориентирована на проведение школьного эксперимента. Недостатки: подключение по USB — малое расстояние от ПК до экспериментальной установки, ПО разработанное на платной основе, малая точность измерения сигналов и функциональность.

Формулировка задачи

В рамках нашего научного исследования разрабатываются специализированные современные компьютерные универсальные средства автоматизации и компьютеризации нестандартного оборудования для проведения научных экспериментов. Речь идет о гибкой компьютерной измерительной системе (далее КИС) для автоматизации и компьютеризации уникальных научных установок, в основу которой положен программно-аппаратный комплекс для регистрации и обработки физических величин (далее ПАК). Наличие КИС позволит с минимальными затратами времени и денег модернизировать существующее оборудование до современного уровня.

Основная часть

В основу ПАК положен, прежде всего, принцип модульности. Модульный подход позволит быстро адаптировать ПАК под существующее оборудование и разработать новые компьютеризированные научные установки, а применение принятых стандартов передачи данных позволит построить интерактивные приборы и установки с удаленным доступом к ним пользователей.

Нами предлагается трехуровневая система, архитектуру которой представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка, нижний периферийный уровень отвечает за взаимодействие системы непосредственно с физическим оборудованием. На этом уровне располагаются датчики физических величин, как штучные, так и промышленных стандартов, через которые система получает поток данных. А также, на равнее с датчиками на этом уровне имеем устройства обратной связи, посредством которых осуществляется обратная связь для управления и контроля. Будем называть их всех периферийными модулями (ПМ).

Второй уровень – логический. Здесь расположены модули низкоуровневой (НУЛМ) и высокоуровневой (ВУЛМ) логики. НУЛМ и ВУЛМ устройства обладают заранее запрограммированной логикой и занимаются сбором и обработкой данных с ПМ, а также дальнейшей пересылкой данных на более высокий иерархический управленческий уровень. Для этого НУЛМ и ВУЛМ имеют Ethernet контроллер для организации распределенной сети обмена данными между собой и управляющими модулями (УМ).

Третий и самый верхний – логический уровень, на котором расположены персональные компьютеры пользователей и УМ. В роли УМ может выступать любой компьютер хорошо защищенный от сбоев, но с появлением компактных компьютерных устройств имеет смысл обратить на них большее внимание. Например, всем известный Raspberry Pi [5] имеет достаточную производительность и необходимые интерфейсы связи для управления сетью ВУЛМ и НУЛМ.



Рисунок 1 – Трехуровневая архитектура КИС

Как показано на рисунке 2, ПФ имеет блок питания, АЦП, аналоговые и/или цифровые входы-выходы и контроллер скоростной шины.

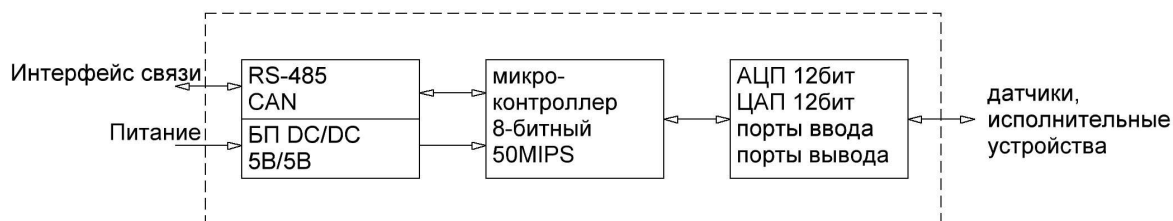


Рисунок 2 – Схема периферийного модуля

НУЛМ (см. рисунок 3) представляют собой контроллерные устройства с внешними аналоговыми или цифровыми каналами для АЦП и ЦАП. С другой стороны, они имеют Ethernet контроллер для коммутации с модулями управления. НУЛМ обладают элементарной логикой для обработки данных, поступающих с периферии. Например, если НУЛМ имеет на периферии аналоговые входы для измерения силы тока и напряжения, то он может согласно своей логике обрабатывать поток данных и пересчитывать в значение потребляемой мощности. Мгновенное значение этой потребляемой мощности он может отправить по запросу от другого модуля, а может усреднять её значение за длительный промежуток времени и накапливать небольшой стек значений, после чего отсылать данные на накопитель. Таким образом, НУЛМ может взять на себя достаточную большую нагрузку по получению и первичной обработке экспериментальных данных.

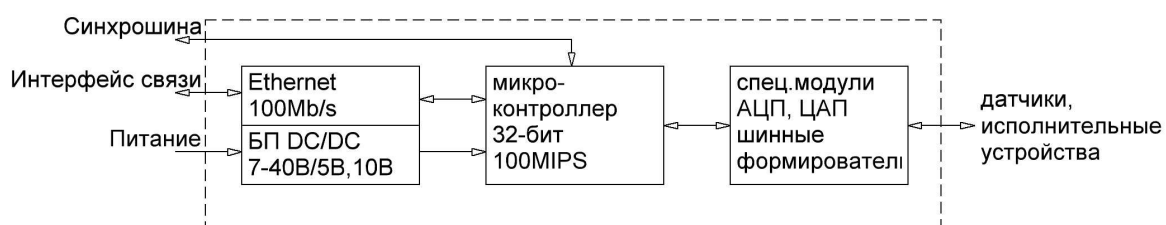


Рисунок 3 – Блок-схема низкоуровневого логического модуля

ВУЛМ хоть и находится с НУЛМ на одном уровне иерархии, тем не менее является более сложной системой (см. рисунок 4). ВУЛМ объединяет несколько ПМ (количество зависит от шины данных) в единую сеть на скоростной шине типа CAN или RS-485. ВУЛМ обладает запрограммированной логикой по работе со всеми ПМ, собирает и обрабатывает данные и затем через Ethernet контроллер обменивается сообщениями с УМ. Фактически он инкапсулирует логику работы всех подключенных к нему ПМ, а устройства управления «видят» их как одно целое устройство.

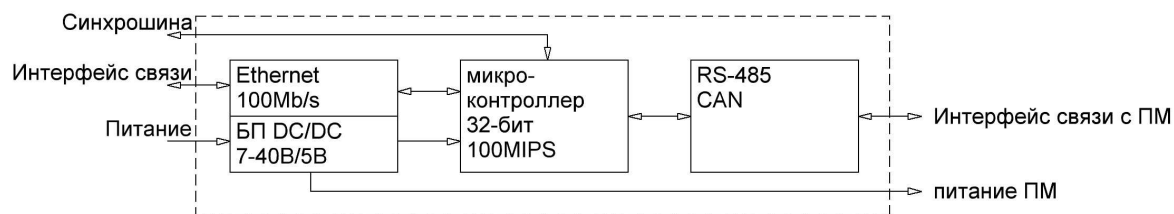


Рисунок 4 – Блок-схема высокоуровневого логического модуля

Использование программируемой логики позволяет ускорить процесс обработки данных, создавать устройства с обратной связью и малым временем реагирования, уменьшить нагрузку на интерфейс связи и распараллелить обработку данных. Программируемая внутренняя логика представляет собой интерпретатор байт-кода расширенного библиотекой скомпилированных функций, для ускорения обработки данных. Каждый ВУЛМ и НУЛМ имеет индивидуальную библиотеку скомпилированных функций, которая может быть получена по запросу с УМ или ПК для возможности написания управляющей программы. Данный подход не требует дополнительной документации для описания возможностей устройств, устраняет ошибку вызова отсутствующей функции.

Применение открытого протокола передачи данных позволит сторонним специалистам без проблем разрабатывать свои программные и аппаратные модули (с программируемой логикой) и создавать клиентский софт под разные платформы. Опираясь на проверенные технологии обмена данными (Ethernet, WiFi и т.д.), возможность доступа многих пользователей к ресурсам установки и обработка данных real-time .

Также ПАК может быть полезным для применения более дорогостоящего оборудования с возможностью коллективного использования, где получение информации, а также управления экспериментом, может быть осуществлено через Интернет, что позволяет создавать центры коллективного пользования.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

На основе проделанной работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Предложенная трехуровневая архитектура универсальной измерительной системы позволяет быстро решать проблемы компьютеризации нестандартного научного оборудования.

2. Основываясь на проверенные технологии обмена данными (протоколы Ethernet и WiFi, шины CAN и 485) между модулями КИС разработан протокол передачи сообщений, логики работы модулей, получения и хранения данных.

3. Разработанный механизм конструирования логики высокоуровневых модулей позволяет распределить нагрузку по обработке данных и принятию решений по системе.

Дальнейшие исследования будут посвящены разработке составных компонентов КИС, таких как: широкого спектра НУ и ВУ модулей, разработке интерфейсов конструктора логики, обработки и визуализации данных, подсистем управления и обратной связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система автоматизации компрессоров Siemens [Электронный ресурс] / Siemens – Режим доступа:
URL: <http://www.energy.siemens.com/ru/ru/compression-expansion/compressor-automation.htm> - 01.03.2014 - Заголовок с экрана.
2. Распределенная система сбора данных и управления серии NL и NL-Ex [Электронный ресурс] / RealLab –
Режим доступа: URL: <http://www.reallab.ru/> - 01.03.2014 - Заголовок с экрана.
3. Индустриальные системы сбора и обработки данных [Электронный ресурс] / L-Card –
Режим доступа: URL: <http://www.lcard.ru/products/ltr> - 01.03.2014 - Заголовок с экрана.
4. Система сбора данных AFS™ [Электронный ресурс] / Ros-group –
Режим доступа: URL: <http://www.ros-group.ru/products/product/2918/3566> - 01.03.2014 - Заголовок с экрана.
5. RaspberryPI [Электронный ресурс] / RaspberryPI –
Режим доступа: URL: <http://www.raspberrypi.org/> - 01.03.2014 - Заголовок с экрана.

А.И. Михалев, В.Н. Журавлев, Р.А. Сухомлин

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО РЕДУКТОРА

Аннотация. В работе рассматривается задача идентификации и прогнозирования технического состояния авиационного редуктора (АР) по измеренным на объекте вибросигналам, математически представляемых в виде сложного временного ряда. Полностью описан процесс создания модели состояния АР, начиная от выбора её структуры и заканчивая проверкой на адекватность. Кратко приведены основные определения моделей, используемых в работе. Параметры модели вычисляются тремя методами: Ньютона-Гаусса, наискорейшего спуска, Левенберга-Марквардта. Рассмотрены задачи определения степени нестационарности сигнала (применён расширенный тест Дики — Фуллера) и преобразования его к стационарному виду.

Ключевые слова: идентификация модели, авиационный редуктор, вибросигнал, пересопряжение зубьев.

Введение

Объектом является авиационный редуктор, по вибросигналу которого проводится идентификация его технического состояния. Идентификация ТС АР проводится с целью последующего прогнозирования технического состояния (ТС) редуктора, для своевременного предупреждения возможных при его работе неисправностей. Как будет показано ниже, исследуемый выходной сигнал моделируемой системы (вибросигнал) имеет сложную структуру и является нестационарным, к тому же нет никаких данных о входах моделируемой системы. Учитывая все вышеперечисленное, была выбрана модель Бокса-Дженкинса. Исследования показали, что данная модель удовлетворяет всем требованиям решаемой задачи.

Модель Бокса-Дженкинса

Модель Бокса-Дженкинса используется для моделирования нестационарных временных рядов [1]. Такую модель еще называют ин-

тегрированной моделью авторегрессии – скользящего среднего. Моделирование нестационарных временных рядов возможно благодаря интегрированию (определение разности отсчетов сигнала), которое позволяет из нестационарного ряда сделать стационарный, путём вычисления конечной разности соответствующего порядка. Порядок разности можно определить, вычислив количество единичных корней временного ряда, или экспериментальным путем: путем вычисления разности между отсчетами до тех пор пока ряд не станет стационарным. Порядок модели и стационарность временного ряда можно определить по виду автокорреляционной и частной автокорреляционной функции.

Модель Бокса-Дженкинса как известно [1] имеет вид:

$$\Delta^d y_t = c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d y_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где p - порядок модели, a - параметры модели (коэффициенты авторегрессии), c - постоянная константа, ε_t - случайная переменная (шум), d - порядок разностей временного ряда, $\Delta^1 y_t = y_{t+1} - y_t$ - разность временного ряда первого порядка, b - коэффициенты скользящего среднего.

Переменная ε_t в модели играет роль возмущения. Т.е. это какое-то входное воздействие на процесс, которое чаще всего имеет отрицательное влияние. В некоторых случаях, эта переменная служит в качестве компенсации при введении в модель излишних объясняющих переменных или при их недостатке [1]. В любом случае, при введении такой случайной составляющей необходимо априори знать ее статистические характеристики, такие как математическое ожидание, дисперсия и корреляция с другими переменными модели.

Описание структуры модели Бокса-Дженкинса представляется в следующем виде:

$$ARIMA(p, d, q),$$

где p – порядок авторегрессии (AR), d – порядок разностей (I), q – порядок скользящего среднего (MA).

Методы оценивания параметров модели Бокса-Дженкинса

Для итеративного вычисления параметров модели в работе используются три метода: метод Ньютона-Гаусса [2], градиентный спуск [3] и метод Левенберга-Марквардта [3]. Конечно же, параметры можно вычислить и одним методом, но каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, что влияет на качество решения. Поэтому корректным решением будет использовать все три метода, а затем по показателям ошибок моделирования (ошибка окончательного предсказания Акайка (FPE), средний квадрат ошибки (MSE)) выбрать лучший результат.

Тест на проверку стационарности временного ряда

Расширенный тест Дики — Фуллера (ADF-тест) используется для проверки стационарности временного ряда [4]. Ряд является нестационарным, если имеет единичный корень. Доказательство наличия единичного корня производится с помощью вычисления коэффициентов авторегрессионного уравнения.

Допустим, у нас есть авторегрессионное уравнение второго порядка:

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \varepsilon_t. \quad (2)$$

Данное уравнение можно представить через разности:

$$\Delta y_t = (a_1 + a_2 - 1)y_{t-1} - a_2 \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (3)$$

где Δ - указывает на разность первого порядка ($\Delta y_t = \Delta^1 y_t = y_t - y_{t-1}$).

Из гипотезы о единичном корне следует, что коэффициент при y_{t-1} должен равняться нулю в случае наличия нестационарности, и быть меньше нуля, если временной ряд стационарен, т.е. $(a_1 + a_2 - 1) < 0$ - временной ряд стационарен, $(a_1 + a_2 - 1) = 0$ - нестационарен. Значение коэффициентов AR уравнения можно найти с помощью t-статистики. Однако распределение при ADF-тесте отличается от стандартного распределения t-статистики (распределение Стьюдента). Распределение Дики-Фуллера выражается через винеровский процесс [4].

Если процесс является авторегрессионным порядка p , то уравнение (9) переписывается в виде:

$$\Delta y_t = a_1 y_{t-1} - a_2 \Delta y_{t-1} - \dots - a_p \Delta y_{t-p+1} + \varepsilon_t. \quad (4)$$

Обзор исходных данных моделирования

В качестве носителя информации о техническом состоянии редуктора рассмотрим вибросигнал измеренный с частотой дискретизации 192 кГц. Частота дискретизации сигнала довольно большая, поэтому для корректного диагностирования ТС редуктора с помощью модели необходимо выполнять прогнозирование вперед как минимум на 30 отсчетов, используя для этого хотя бы 50 предыдущих отсчетов. Ниже приведен рисунок спектрального состава вибросигнала.

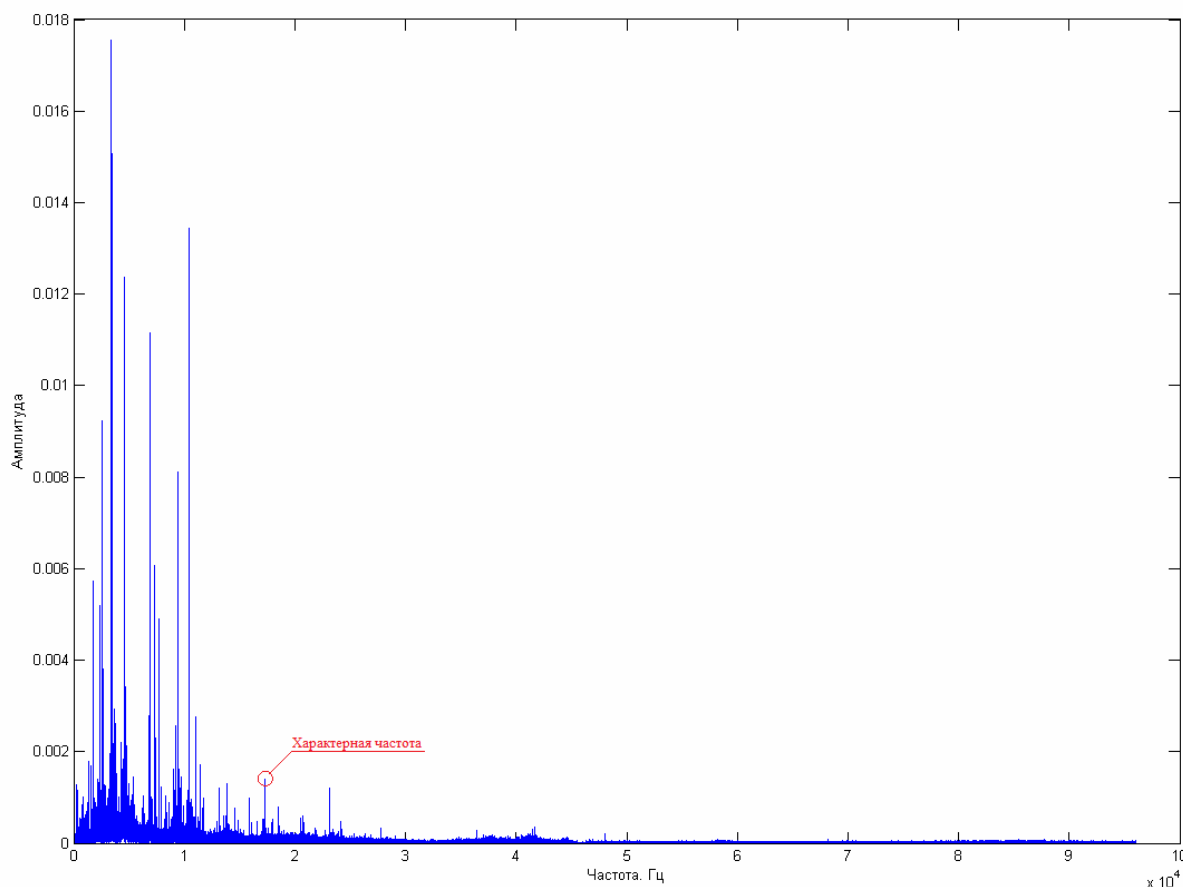


Рисунок 1 – Спектр вибросигнала

На рисунке, на промежутке 17-18 кГц отмечена характерная частота, здесь находится пятая гармоника частоты пересопряжения исследуемого сателлита АР. Изменение данной гармоники отражает изменение ТС редуктора, поэтому в дальнейшем она будет отфильтрована полосовым фильтром и использована при построении модели.

Важным моментом процесса идентификации модели является стационарность временного ряда, по которому строится модель. Стационарность определялась в соответствии с тестом Дики-Фуллера, который подтвердил гипотезу наличия единичных корней, а значит

данный временной ряд - нестационарен. Нестационарность также можно определить по графику автокорреляции [5], который приведен ниже:

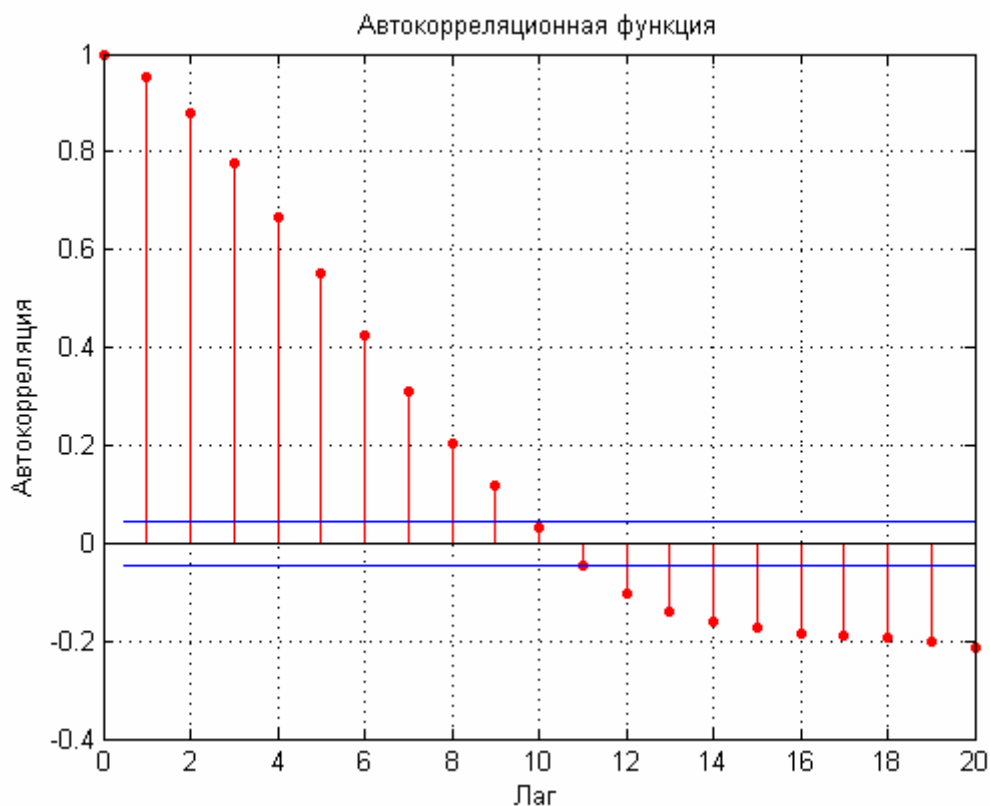


Рисунок 2 – Автокорреляционная функция вибросигнала

Из рисунка (2) следует, что вибросигнал нестационарен, поскольку несколько первых коэффициентов автокорреляции постоянно имеют большое значение и медленно стремятся к нулю.

Построение и тестирование модели редуктора

Процесс построения модели всегда начинается с определения структуры модели. Как уже было сказано выше, в данной работе будет построена модель вибросигнала авиационного редуктора, который является довольно сложным техническим объектом. Целью моделирования является выявление возникающих разладок в работе АР, которые свидетельствуют о его неполадках. Предлагаются авторегрессионные модели, которые не требуют подробной информации об объекте моделирования. При этом по результатам предварительного анализа вибросигнала редуктора, проведенного в предыдущем разделе, также известно о его нестационарности.

Итак, критерии, которым должна удовлетворять структура выбранной модели следующие:

- авторегрессионный тип модели;
- применимость для нестационарных временных рядов.

Данным критериям, как уже указывалось, лучше всего удовлетворяет модель Бокса-Дженкинса.

Перед тем как строить модель необходимо провести предварительную обработку вибросигнала авиационного редуктора. По априорным данным об объекте известно, что изменение сигнала на частоте 17-18 кГц свидетельствует об изменении технического состояния объекта. Таким образом, необходимо выделить эту характеристическую частоту, используя полосовой фильтр на промежутке частот 17-18 кГц. В качестве фильтра предлагается выбирать такой, который не сильно сдвигает фазу сигнала. В этой связи был выбран фильтр Баттерворта второго порядка. В результате фильтрации получается сигнал с одной характерной частотой в спектре. Затем полученный сигнал проверяется на стационарность с использованием для этого теста Дики-Фуллера, который проверяет гипотезу наличия единичных корней. Исходя из предварительного анализа вибросигнала (проведенного в предыдущем разделе) следует, что в случае выбора авторегрессионной модели, при предсказании будущих значений вибросигнала необходимо использовать минимум 50 отсчетов реального сигнала снятого с редуктора.

Пользуясь результатами предварительного анализа вибросигнала, определимся с конечной структурой модели. ADF-тест показал необходимость использования разности первого порядка, а априорная информация указывает на необходимость авторегрессии минимум 50-го порядка. Учитывая все данные о сигнале, выберем модель Бокса-Дженкинса ARIMA(50,1,0), т.е. модель должна состоять из 50 авторегрессионных слагаемых в виде разностей 1-го порядка с коэффициентами регрессии a_i :

$$\Delta^1 y_t = c + \sum_{i=1}^{50} a_i \Delta^1 y_{t-i} + \varepsilon_t. \quad (5)$$

Далее последовательно тремя методами: Ньютона-Гаусса, наискорейшего спуска и Левенберга-Марквардта вычисляются коэффициенты авторегрессии a_i . После чего выбирается наилучший из них.

Для моделируемого сигнала лучшим оказался метод Ньютона-Гаусса, со следующими показателями надежности:

- Ошибка окончательного предсказания Акайка (FPE) $9,785e-06$;

- Средний квадрат ошибки (MSE) $9,701e-06$.

Вычисленный порядок ошибки моделирования 10^{-6} .

Докажем корректность полученного результата (адекватность модели AP).

Порядок модели 50, т.е. при прогнозировании используется 50 предыдущих отсчетов вибросигнала с частотой дискретизации 192 кГц. Переведем 50 отсчетов сигнала в секунды, разделив на 192 КГц, и получим тем самым время между отсчетами в $2,6 \cdot 10^{-4}$ сек. Т.о. порядок ошибки 10^{-6} возможен, если за время $2,6 \cdot 10^{-4}$ сек. система не изменит своего состояния. Поскольку в работе исследуется работа сателлита AP, то состояние редуктора изменится при наступлении момента пересопряжения зубьев. Из физики работы AP известно, что 5-я гармоника пересопряжения находится на частоте 17 КГц. Разделив её на 5, получим частоту первой гармоники: 3400 Гц или её период - $2,9 \cdot 10^{-4}$ сек. Как результат: система не меняет своего состояния.

Далее выделим несколько выборок (в исследовании использовано 190 выборок длиной 90 отсчетов) вибросигнала, и с помощью полученной модели выполним предсказание на 30 отсчетов вперед. Процент совпадения реального и предсказанного моделью сигнала равняется 85%, что подтверждается рис. 3.

Выводы

В работе была рассмотрена задача построения модели вибросигнала авиационного редуктора. В результате проведенного анализа моделируемого процесса была построена интегрированная модель авторегрессии-скользящего среднего ARIMA(50,1,0), которая состоит из пятидесяти авторегрессионных слагаемых и из разности первого порядка. Ошибки при вычислении параметров модели: FPE $9.785e-06$, MSE $9.701e-06$. Точность прогнозирования модели 85%. Еще одним подтверждением адекватности модели являются исследования, проведенные в работе [6], которые говорят о том, что вибросигнал действительно отражает ТС редуктора.

Построенная модель может быть использована для выявления изменения ТС авиационного редуктора, это позволит использовать ее

при выявлении неисправностей. Применение модели при технической диагностике редуктора позволит заранее выявить возможные неполадки и избежать возникновения серьезных повреждений.

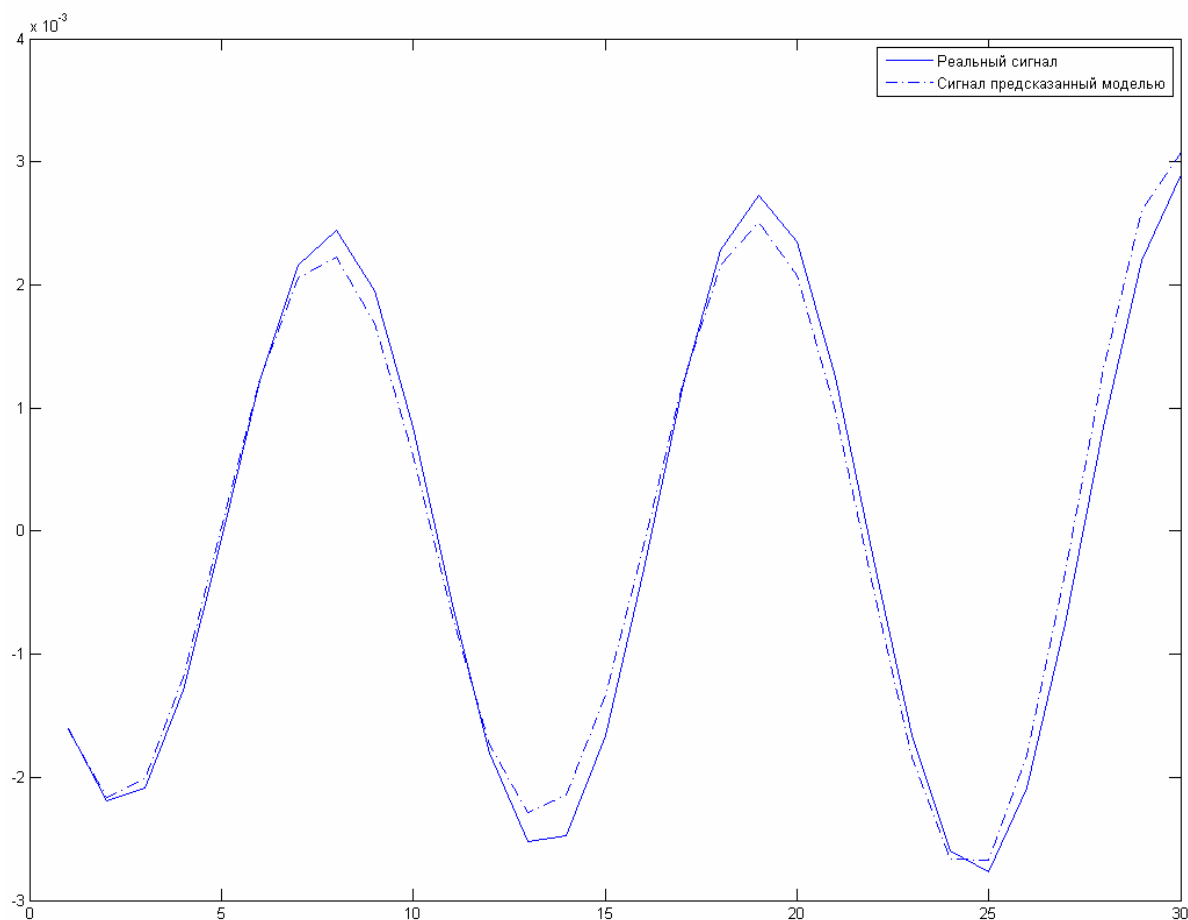


Рисунок 3 – Реальный и предсказанный моделью временной ряд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Т. 1, 2. — М.: 1974.
2. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. П. Вычислительные методы для инженеров. — М.: Мир, 1998.
3. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.
4. Dickey D. A. and Fuller W. A. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root /Journal of the American Statistical Association. — 1979.
5. Ханк Д.Э., Уичерн Д.У., Райте А.Дж. Бизнес-прогнозирование — М.: Издательский дом "Вильямс", 2003.
6. Методы Гильберта-Хуанга и КМА в задачах идентификации технического состояния авиационных редукторов. / Михалев А.И., Журавлев В.Н., Сухомлин Р.А. //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - №3(86). - Днепропетровск, 2013. – С. 124-134.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ МОДЕЛИ
ПОЛУЧЕНИЯ АГЛОМЕРАТА ПОВЫШЕННОГО
КАЧЕСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Анотація. Запропоновано нову концептуальну модель отримання продукту прогнозованого якості для доменного переділу. Концептуальна модель передбачає вирішення завдань на всіх стадіях виробництва з обов'язковим формуванням блоків, у вигляді композитів перед спіканням і виділенням із спеченого агломерат блоків, що не руйнуються, за рахунок додатку механічних навантажень на стадії стабілізації. Компенсувати можливе зниження продуктивності при збільшенні виходу повернення можна шляхом заміни частини вапняку на ферито-кальцієвий флюс.

Проблема получения высококачественного агломерата для доменной плавки остается актуальной задачей. Это связано с резким уменьшением расхода кокса на выплавку тонны чугуна за счет замены его на пылеугольное топливо. В этих условиях работа шахты доменной печи является существенным фактором, влияющим на показатели доменной плавки. Очевидно, что на работу шахты доменной печи существенное влияние оказывает газопроницаемость железорудной части шихты, восстановимость и прочность при восстановительно-тепловой обработки основного его компонента - агломерата.

Существующая модель производства агломерата предусматривает выполнение ряда технологических операций, которые предназначены в большинстве случаев для получения высокой скорости спекания и производительности рис.1.



Рисунок 1 - Существующая модель производства агломерата

При таком подходе к подготовке сырьевых материалов к доменной плавке технологические операции, выполняемые как до схода спека агломерата с конвейерной машины, а также при его охлаждении, дроблении и грохочении не исключают полиморфизма фаз образующихся в процессе спекания. Это в свою очередь, не позволяет получать качественный агломерат, удовлетворяющий требованиям доменной плавки по гранулометрическому составу и особенно по содержанию фракции -5мм, без выполнения дополнительных операций по подготовке спека.

Основное внимание при совершенствовании технологии спекания агломерата направлено на получение высококачественного спека за счет создания определенных условий при подготовке шихтовых материалов [1]. Кроме этого, по-прежнему остро стоит вопрос о качестве топлива для спекания, а именно содержание фракции -0,5мм в составе топлива, наличие которой по разному влияет на протекание процессов спекания тонкодисперсных и грубодисперсных шихт [2]. Минимизация содержания этой фракции в составе топлива может быть достигнута за счет предварительного грохочения топлива и применения современных дробилок.

Операции по смешиванию компонентов шихты, которая отвечает за постоянство химического состава агломерата, предлагается модернизировать за счет использования барабанных смесителей диа-

метром 3,8 м и длиной 15,9м с внутренней футеровкой из резины, с одновременным изменением условий по предварительному увлажнению шихты, что позволяет добиться степени однородности шихты на уровне 80-95%.

Модернизация технологии окомкования осуществляется за счет внесения изменений в конструкцию барабанного окомкователя, что позволяет увеличить время пребывания шихты в них до 3-4 минут. Установка в разгрузочной части конуса барабана обеспечивает уплотнение гранул до выхода их из барабанного окомкователя. Для вновь проектируемых фабрик рекомендуется устанавливать барабанные окомкователи диаметром 4,2м и длиной 16,9м [3].

Модернизации коснулись и системы загрузки шихты. Загрузка осуществляется поперечным ленточным конвейером, барабанным питателем или с помощью двухступенчатого загрузочного устройства. Задачей такого загрузочного устройства является обеспечение заданной высоты слоя шихты при оптимальной сегрегации и максимальной загрузки в верхние слои шихты мелких классов топлива.

Следует отметить, что для улучшения показателей процесса спекания при использовании предлагаемых технических решений подготовительных операций необходимо учитывать возможные изменения при формировании упрочненных связок, что отразится на качестве агломерата. Для формирования фазового состава упрочняющих связок предполагалось осуществлять совместное измельчение железо- и кальций содержащих компонентов шихты, что в свою очередь влияет на прочность агломерата [4].

Современная технология подготовки спека присходе его с тележек в обязательном порядке предусматривает его дробление с охлаждением на линейных охладителях, длина которых равняется длине агломерационных машин. Дробление охлажденного агломерата и 4-5 кратное грохочение позволяет обеспечить содержание мелочи - 5мм в агломерате не более 5%. Однако, многократное грохочение, с целью удаления фракции -5мм, не гарантирует сохранения прочности при восстановительно-тепловой обработки агломерата в доменной печи.

Таким образом, существующая модель процесса получения агломерата, включающая совершенствование отдельных технологических операций по подготовке шихты без формирования предска-

мого гранулометрического состава и прочности, не позволяет удовлетворить доменные печи в качественном железосодержащем сырье. Для получения агломерата высокого качества, удовлетворяющего требованиям доменной плавки, в современных условиях назрела потребность в системном подходе к совершенствованию существующей модели получения агломерата. Сущность такого подхода заключается в том, что получение высококачественного агломерата возможно за счет одновременного изменения нескольких технологических операций, позволяющих получать стабилизированный агломерат по качеству и с минимально возможным содержанием в нем мелочи фракции -5мм.

Предлагаемая усовершенствованная модель производства агломерата прогнозируемого качества и гранулометрического состава основана на формировании блоков из гранул, в виде композитов формируемых из компонентов шихты на подготовительной стадии. Смешивание гранул с топливом при спекании создает условия для формирования блоков известного состава и свойств. За счет приложения механических нагрузок происходит разрушение спеченных блоков по местамприпекания гранул, в которых имеется полиморфизм связки. На стадии стабилизации за счет механических нагрузок происходит дальнейшее разрушение блоков с выделением неразрушающихся блоков, как в холодном состоянии, так и при восстановительно-тепловой обработке в доменной печи.

Предлагаемая концептуальная модель получения высококачественного агломерат за счет системного совершенствования подготовительных операций перед спеканием и выделения неразрушающихся блоков на стадии обработки спёка приведена на рис. 2.

Отличительной особенностью предлагаемой концептуальной модели получения стабилизированного агломерата является то, что в ней реализуется возможность влияния на фазовый состав упрочняющих связок путем создания композитов из компонентов шихты путем предварительной их грануляции,окомкования оставшихся компонентов с последующим их смешиванием и одновременной дозировкой твердого топлива, необходимого на процесс спекания. При этом, все подготовительные операции по созданию композитов необходимого состава, включая окомкование и смешение окомкованной шихты с

твердым топливом, выполняются на нулевой отметке в шихтовом отделении.



Рисунок 2 - Схема получения стабилизированного агломерата

Для получения высокопрочного спека необходимо изменить режим зажигания топлива шихты за счет создания условий, обеспечивающих равноценное формирование структуры агломерата по высоте спекаемого слоя агломерата.

По концептуальной модели печенный продукт сходит с конвейерной машины и после предварительного разрушения на зубчатой дробилке поступает в барабан стабилизатор. Привращении барабана стабилизатора агломерат поднимается его полками на s его диаметра и сыпается на агломерат находящийся на нижней полке. При этом происходит его разрушение по напряженным межблочным участкам. Навстречу пересыпающегося слоя агломерата, поверхность частиц которого постоянно увеличивается, подается вентилятором воздух охлаждения, который после очистки от пыли может быть использован для сжигания топлива шихты на агломерационной машине.

Часть тепла от агломерата отбирается водой охлаждения, которая подводится к наружной поверхности барабана с помощью форсунок.

Агломерат находится в барабане стабилизаторе в течение 5-8 минут. За это время под действием механических нагрузок на агломерат из него выделяются неразрушающиеся блоки. Одновременно с этим происходит сфероидизация блоков и возврата путем сглаживания или удаления на их поверхности выступов. Полученный продукт оказывает положительное влияние на процессы его грохочения, так как меняется режим слоевого перемещения блоков по просеивающей поверхности на режим переката блоков. При грохочении стабилизированного агломерата появляется возможность практически полного выделения из продукта фракции -3мм и получение агломерата крупностью 3-30мм при содержании возврата 35-45%.

Компенсировать возможное снижение производительности при увеличении выхода возврата возможно путем замены части известняка на феррито-кальциевый флюс, который в свою очередь может быть продуктом совмещенного процесса получения извести при введении в состав шихты до 30% гематитовой руды или концентрата. Кроме того, получение гранулированных композиций из известняка и руды с обязательной их грануляцией с компонентами шихты обеспечит возможность получения феррит содержащей жидкой фазы. Эксперименты подтверждают, что использование феррито-кальциевого флюса позволяет уменьшить выход возврата с 52% для обычной шихты до 42%, что соответствует оптимальному его содержанию при стабилизации спека [4].

Таким образом, приведенная концептуальная модель спекания агломерата обеспечит возможность производить агломерат из не разрушающихся блоков крупностью 3-30мм. Такой агломерат обладает повышенными прочностными свойствами, по сравнению с обычным, не разрушается при транспортировке и восстановительно-тепловой обработке в доменной печи. Достоинством модели является возможность осуществления подготовительных операций на нулевой отметке в шихтовом отделении агломерационных фабрик с использованием оборудования выпускаемого промышленностью. Использование шихтовых материалов для такой модели не предусматривает полной гомогенизации шихты, а за счет контактов между гранулами компози-

ций и шихты обеспечит образование расплава необходимого для формирования связки заданного состава и свойств с повышением прочности спёка и снижение степени полиморфизма связки, являющейся одной из причин разрушения агломерата.

Анализ предлагаемой концептуальной модели производства агломерата прогнозируемого качества позволяет сделать следующие выводы:

1. Использование шихтовых материалов при реализации модели не предусматривает полной гомогенизации шихты, а за счет предварительного окомкования композитов из компонентов шихты предусматривает формирование блоков прогнозируемого фазового состава и качества.

2. Достоинством предлагаемой модели является возможность осуществления всех предварительных операций по подготовке шихты на нулевой отметке агломерационных фабрик.

3. Подготовку спёка предлагается осуществлять в барабане – стабилизаторе, совмещая процессы выделения, сфероидизации и охлаждения блоков и возврата.

4. Сфероидизация блоков и гранул возврата обеспечит практически полное выделение мелочи из агломерата при грохочении и допускает переход на гранулометрический состав агломерата 3-30мм для доменной печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование изменения химико-минералогического состава агломерата по высоте агломерационного спека / А.Н. Похвиснев, Ю.С. Павлюков, А.Н. Спектор и др. // Подготовка доменного сырья к плавке. Сб. науч. тр. . М.: Metallurgia, 1971.-С. 17-22.

2. А.Н. Исследование металлургических свойств офлюсованного агломерата / А.Н.Спектор, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Павлюков и др. // Подготовка доменного сырья к плавке. Сб. науч. тр. . М.: Metallurgia 1971 – с. 22-31.

3. В.П. Коссова. Зависимость прочности агломерата Юга СССР от минералогического состава ЦНИИЧМ, серия 4 Агломерация руд и доменное производства 1968. Инф.6.

4. Ферритообразование в железорудном сырье / М.С. модель, В.Я. Лядова, Н.В. Чугунова // М.: "Наука", 1990.- 152 с.

ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В PVD ТЕХНОЛОГИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Dynamical behavior of damped Morse oscillator driven an external sinusoidal field of gas-discharge electronic gun has been studied as model of molecular system dissociation in PVD.

Ключевые слова: модель молекулярной динамики, нелинейный резонанс, хаотические колебания осциллятора Морзе, модель процесса диссоциации, PVD технология.

Постановка проблемы. Механизмам кристаллизации железоуглеродистых сплавов давно уделяется пристальное внимание со стороны исследователей металлургических процессов. Так в [1] рассмотрены возможные механизмы образования шаровидного графита в высокопрочном чугуне и особенности его строения с учётом фуллереновой природы железоуглеродистых сплавов. В работе [2] идентифицирована молекулярная форма углерода – фуллерены C₆₀ - в железоуглеродистых сплавах, полученных методами классической металлургии, и показаны механизмы формирования фуллеренов в структуре сталей и чугунов. Речь идет, во-первых, об образовании фуллеренов при первичной кристаллизации и, во-вторых, о результатах структурных и фазовых превращений, протекающих при термических воздействиях. В результате проведенных исследований сделано заключение о роли фуллеренов как зародышей зернистой структуры железоуглеродистых сплавов.

Целью работы является разработка математической модели процесса диссоциации углеводородного прекурсора как первой фазы PVD технологии под воздействием высоко энергетичных потоков электронов для изучения процесса формирования фуллеритов (молекулярных кристаллов, образованных фуллеренами).

Основная часть. Электронные пучки являются концентрированными источниками энергии с высокой удельной мощностью ($10^8 \dots 10^{12} \text{ Вт/м}^2$), которые успешно используются в электронно-

лучевых PVD технологиях (физическое парофазное осаждение) по получению пленочных покрытий в вакууме [4]. В проведенных исследованиях для получения пара нафталина ($C_{10}H_8$) и диссоциации его молекул использовались, созданные в НМетАУ низковакуумные газоразрядные электронные пушки (НГЭП), работающие в диапазоне давлений 1... 100 Па.

Характерной особенностью $C_{10}H_8$ является наличие двух бензольных колец, что может служить основой построения фуллерена – усеченного икосаэдра, образованного 20 шестиугольниками 12 пятиугольниками. Кроме того, условием для эффективного использования прекурсоров в PVD-технологии является малое значение отношения $\kappa = H/C$ [3]. Так для $\kappa(C_2H_2)=1$, $\kappa(CH_4)=4$, в тоже время для нафталина $\kappa(C_{10}H_8)=0,8$.

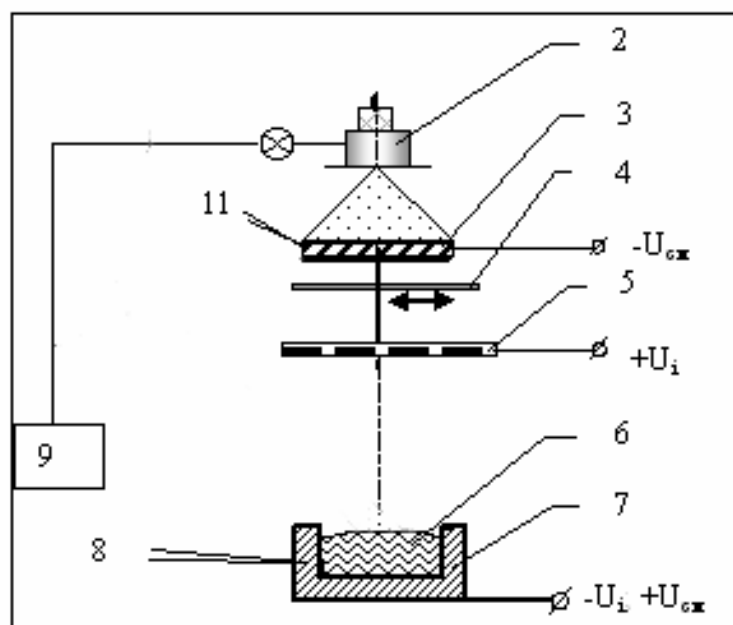


Рисунок 1 – Схема формирования покрытий с применением НГЭП:

2 – НГЭП; 3 – подложка; 4 – заслонка;

5 – анод ионизатора; 6 – испаряемый материал $C_{10}H_8$;

7 – тигель; 8, 11 – термопары; 9 – система поддува газа

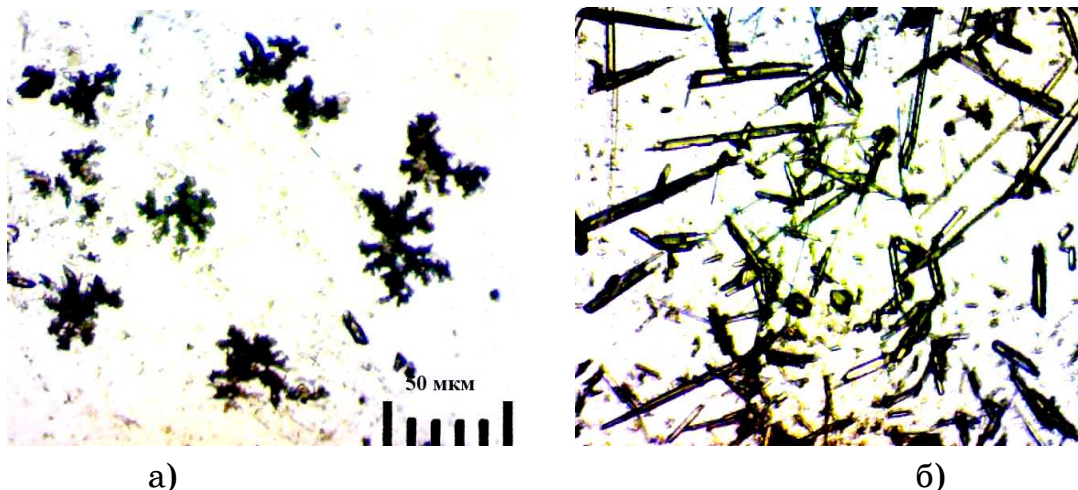


Рисунок 2 – Углеродное пленочное покрытие на стекле при малом времени экспозиции:

а) фуллериты C₆₀, б) игольчатые кристаллические структуры

Рассмотрим случай использования НГЭП для прекурсора C₁₀H₈ [4] при давлении паров $P=133$ Па, $I=0,5$, $U=5$ kV, тогда концентрация электронов плазмы составила $n_e \approx 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$; а соответствующая электронная ленгмюровская частота плазмы

$$\omega_e = \sqrt{\frac{4\pi e^2}{m_e}} n_e = 5.64 \cdot 10^4 \sqrt{n_e} \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1} \quad (1)$$

Фуллериты представляют собой молекулярные кристаллы с ван-дер-ваальсовскими взаимодействиями между молекулами C₆₀, образующими трехслойные плотнейшие шаровые упаковки.

Для PVD-технологии модель взаимодействия атомов, образующих молекулу, на основе концепции молекулярной динамики имеет вид осциллятора Морзе с диссипацией

$$x'' + \gamma x' + (e^{-x} - e^{-2x}) = A \cos \omega \tau, \quad (2)$$

где x – смещение атома относительно положения равновесия, ω – относительная частота внешнего силового поля. Выражение (2) описывает нелинейную систему, с возможным существованием нелинейных резонансов и хаотических режимов колебаний [5]. Переход к которым вызывает аккумуляцию энергии внешнего поля в системе и как следствие диссоциацию молекул.

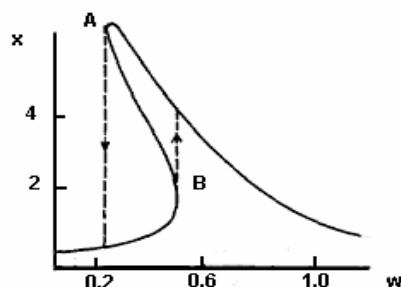


Рисунок 3 – Зависимость максимального значения x амплитуды (1) от относительной частоты внешнего силового поля (нелинейный резонанс первого порядка), А и В – точки возврата гистерезиса, «жирная» кривая – хаотические режимы

Одним из необходимых условий существования хаотических колебаний является положительное значение показателя Ляпунова (рис. 4).

Сценарием перехода к хаотическому поведению системы (2) является процесс удвоения периода колебаний x при изменении управляющего параметра, каким в рассматриваемом случае служит частота внешнего силового поля. В результате необходимым признаком хаотического режима является непрерывный Фурье-спектр x , ограниченный частотой внешнего силового поля.

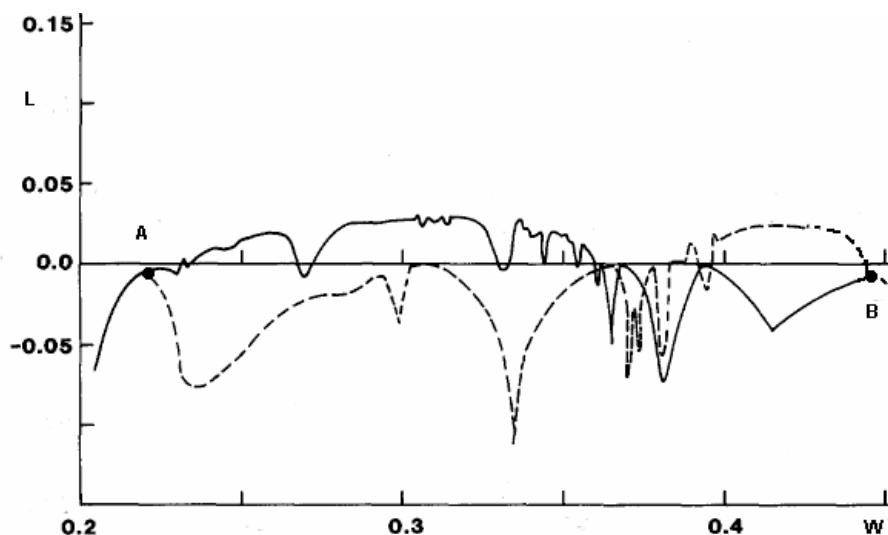


Рисунок 4 – Зависимость показателя Ляпунова от частоты внешнего силового поля: («сплошная» линия – нижняя ветка, «пунктирная» линия – верхняя ветка гистерезиса нелинейного резонанса), координаты точек А и В = 0,2238 и 0,4412, соответственно

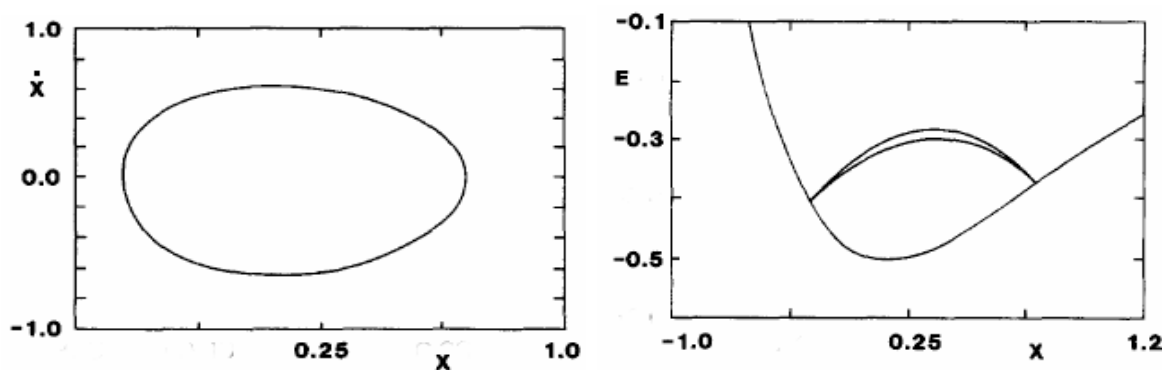


Рисунок 5 – Гармонический режим динамической системы (2),
а) фазовая траектория, б) изменение энергии системы (2)

Таким образом, области нелинейного резонанса (точка А) и хаотического режимов, выделенных «жирной» линией (рис. 3), отличаются существенно различными значениями x .

Существование двух областей хаотических режимов, принадлежащих одному нелинейному резонансу (рис. 3), формирует два сценария диссоциации и образования нанотрубок (рис. 2), зависящих от роста или убывания частоты внешнего силового поля.

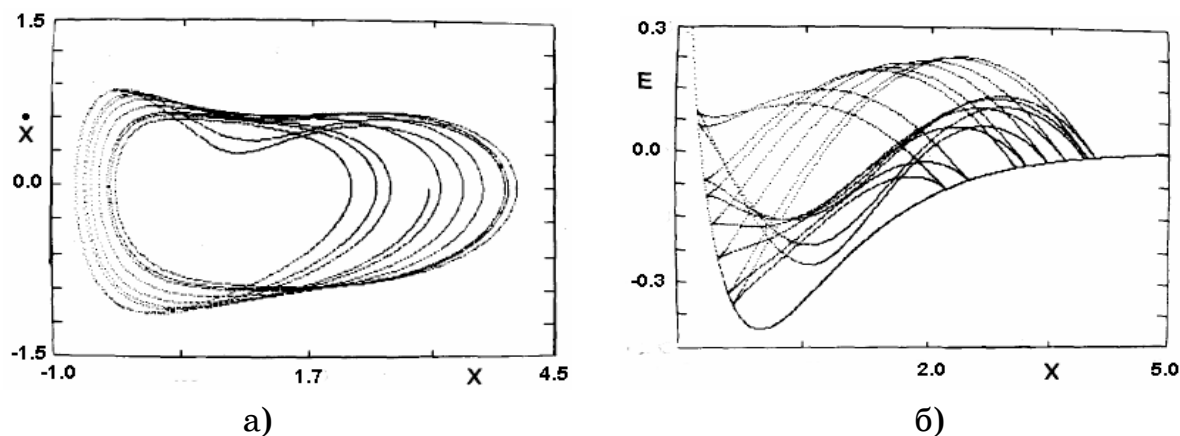


Рисунок 6 – Хаотический режим динамической системы (2),
а) фазовая траектория, б) изменение энергии системы (2)

Выводы. Проведенные исследования показали, во-первых, возможность PVD-технологии на основе низковакуумных газоразрядных электронных пушек, во-вторых, существование двух режимов и, соответственно, двух вариантов процесса диссоциации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов С.В. Кристаллизация шаровидного графита в расплаве высокопрочного чугуна. // М.: Заготовительные производства в машиностроении, 2008, №3. – с. 3-8.
2. Закирничная М.М. Образование фуллеренов в углеродистых сталях и чугунах при кристаллизации и термических воздействиях: Дис... докт. тех. наук; 05.02.01. - Уфа: УГНТУ. - 2001.
3. Robertson J. Diamond-like amorphous carbon. //Materials Science and Engineering, 37, 2002, 129-281 p.
4. Тутык В.А. Исследование режима плазменно-пучкового разряда при работе газоразрядной электронной пушки. //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 5 (16). – Дніпропетровськ, 2010. – с. 73-76.
5. Mattox D.M. Physical vapor deposition. – New Mexico, 1998. P. 907.

В.В. Гнатушенко, Н.О. Швець

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА ПРИ БАГАТОАДРЕСНІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. Створено імітаційну модель multicast мережі з маршрутизацією на основі протоколів PIM (Demo Mode та Sparse Mode). Проаналізовано ефективність використання протоколів для передачі мультимедійного трафіку при різноманітних значеннях навантаження, топології, кількості користувачів мережі.

Ключові слова: протокол, маршрутизація, multicast, PIM DM, PIM SM.

Постановка проблеми

В даний час широко поширені системи потокової передачі інформації через глобальну мережу, основним завданням яких є передача різних типів даних одночасно деякій розподіленій групі користувачів. Спочатку архітектура Інтернету побудована за схемою «один до одного» і для організації потокової передачі великій кількості користувачів необхідні значні обчислювальні ресурси. Це завдання може бути вирішене при використанні IP multicasting: раціональне використання існуючих ресурсів каналів передачі. Перевагою IP multicasting технології - скорочення транспортних витрат при трансляції даних великому числу хостів і уникнення перевантаження каналів передачі за рахунок більш складних механізмів маршрутизації на мережевому рівні [1]. У зв'язку з цим важливим завданням є визначення протоколу, що використовується в таких системах і дослідження властивостей трафіку.

Аналіз останніх досліджень

У технологіях мультикастинга в телекомунікаційних мережах проведено багато досліджень по створенню нових додатків [2] та Інтернет послуг [3], розгляду алгоритмів ефективного використання обчислювальних ресурсів [4, 5]. У практичній реалізації технології ба-

гатоадресної розсилки беруться до уваги не тільки ефективність створення багатоадресних дерев, але й інші характеристики QoS [6-8].

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Мета роботи полягає в розробці імітаційної моделі multicast мережі при використанні протоколів багатоадресної маршрутизації PIM та дослідженні її властивостей при передачі мультимедійного трафіку (відправлений трафік, отриманий трафік, затримка від вузла до вузла і по всій мережі, загублені пакети, кількість ретрансляцій пакетів) в порівнянні зі стандартами.

Основна частина

Для передачі необхідних даних всій групі розподілених користувачів одночасно використовуються спеціальні дейтаграми. У такій системі IP адреса вказує не на один пристрій, а на цілу групу пристроїв і, отже, для передачі даних всім абонентам використовується єдиний потік з сервера. Це призвело до розробки нового класу маршрутних транспортних протоколів (групової адресації поверх IP): IGMP (Internet Group Management Protocol, MBGP (Multicast Border Gateway Protocol), PIM (Protocol Independent Multicast), MOSPF (Multicast Open Shortest Path First).

Надійність і відмовостійкість системи за такої організації передачі інформації забезпечується якісними параметрами ліній зв'язку, маршрутизаторів та іншого мережевого обладнання.

Протокол PIM покликаний вирішити проблеми маршрутизації для довільного числа і розташування членів групи і для довільного числа відправників інформації. Головною перевагою даного протоколу є ефективна підтримка роботи "розсіяних" мультикастинг-груп. Такі групи можуть включати не лише членів з різних автономних систем, а й тих, які знаходяться на різних континентах. PIM базується на традиційних маршрутних протоколах, конкретно не пов'язаний ні з яким з них, він використовує сформовані цими протоколами маршрутні таблиці. Існує два режими роботи протоколу - DM (для компактних груп) і SM (Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM)) (для розсіяних груп). У режимі DM протокол PIM будує дерево маршрутів, у режимі SM маршрутизатори, які мають членів мультикастинг-групи, посилають повідомлення про приєднання до дерева розсилки у вузли, які називаються точками зустрічі (RP). Відправники використовують RP для оголошення про своє існування, а одержувачі, щоб дізнатися

про нові відправниках. В якості RP може використовуватися маршрутизатор, який підтримує протокол PIM. Коли якийсь клієнт хоче підключитися до певної групи, найближчий до нього маршрутизатор посилає спеціальне повідомлення про включення до групи (PIM-joint) вузлу, оголошеному для даної групи точкою зустрічі (RP). Число RP в мережі може бути довільним. Вузол RP пересилає повідомлення про включення вузлу-відправнику (або відправникам). Якщо маршрутизатор не має інформації про RP, включається схема, що працює для компактних груп. При обробці повідомлення про включення до групи проміжні маршрутизатори формують частину дерева мультикастинг-маршрутів між RP і одержувачем. При відправці мультикастинг-пакета відповідний маршрутизатор посилає вузлу RP реєстраційне повідомлення (PIM-register), куди вкладається інформаційний пакет. Якщо використовується декілька RP, відправник повинен посилати пакети всім RP. Одержувач же повинен бути підключений лише до одного з RP. У разі, коли повідомлення про включення досягне відправника раніше, ніж RP, підключення здійснюється, минаючи RP. Якщо необхідно оптимізувати дерево доставки пакетів, маршрутизатори-одержувачі повинні послати повідомлення про включення самому відправнику. Після цього дерево з'єднань видозмінюється, деяким вузлом, якщо потрібно, надсилається повідомлення про відключення.

Протокол PIM-DM:

1) Протокол PIM-DM використовує механізм лавинної розсилки та відсікання (flood and prune) для побудови дерев багатоадресної розсилки.

2) Цей механізм працює в середовищі, в якому члени групи щільно розподілені по всіх мережах.

3) Якщо члени групи розкидані по різних мережах, метод лавинної маршрутизації (flooding) використовуватиме більшу частину смуги пропускання, що може призвести до зниження продуктивності. В такому разі використовують протокол PIM-SM.

Протокол PIM-SM:

1) PIM - Sparse Mode (PIM-SM) був розроблений як протокол маршрутизації під LGPL, який забезпечує ефективну взаємодію між членами розподілених груп.

2) Щоб виключити можливі проблеми з масштабуванням, PIM-SM дозволяє обмежувати багатоадресний трафік таким чином, що

тільки ті маршрутизатори, які зацікавлені в отриманні трафіку для певної групи будуть «бачити» його.

3) «Точки зустрічі» (Rendezvous Points, RP) - це коріння загальних дерев багатоадресної розсилки, які використовуються для передачі даних від джерел до одержувачів.

4) При підключенні до групи кожен приймач використовує IGMP для повідомлення про це безпосередньо підключеного маршрутизатора, який посилає PIM-повідомлення про приєднання до дерева багатоадресної розсилки в напрямку точки зустрічі.

5) Джерела реєструються в точці зустрічі з метою сповіщення про свою присутність в мережі і передачі інформації членам групи.

Створено імітаційну модель телекомунікаційної мережі передачі мультимедійного трафіку з використанням технологій багатоадресної передачі даних на базі протоколів PIM DM та PIM SM у середовищі OPNET [2, 5].

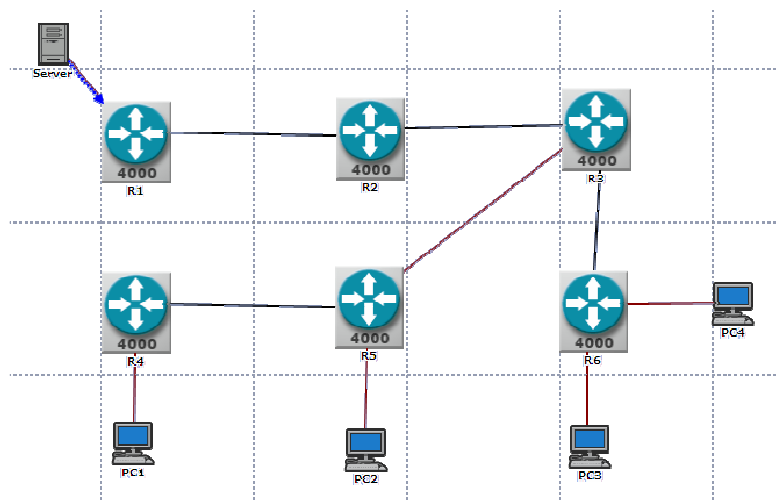


Рисунок 1 - Модель мережі багатоадресної передачі даних

Спостерігається істотна відмінність між протоколами при дослідженні кількості повідомлень, якими обмінюються в ході початкового етапу, тобто протягом перших 50 секунд багатоадресної передачі: різкий сплеск та спад у PIM DM та повільне збільшення у PIM SM. Це викликано різними підходами, які використовуються для реалізації моделі передачі ASM. У разі PIM DM маршрутизатор, дізнавшись про нове джерело, просто отримує дані з цього джерела на етапі флудинга. Це означає, що на цьому етапі вся мережа насичується багатоадресною передачею даних. PIM SM використовує зовсім іншу техніку: нове

джерело просто передає дані в точку RP, яка, в свою чергу, ретранслює прийняті пакети через дерева мультитивіщання до приймачів.

Представлені результати загальної кількості пакетів, якими обмінюються в мережі, для обох протоколів в стабільній фазі, тобто після того, як були сформовані остаточні дерева розподілу. При низькому завантаженні мережі (тобто, розрідженій мережі) SM є більш чутливим та найбільш ефективним протоколом.

Моделювання та дослідження керуючих повідомлень, які пов'язані з трансмісією груп (виключаючи повідомлення Hello), показали лінійно зростаючу залежність при використанні PIM DM і майже постійне значення при PIM SM. Маршрутизація PIM DM не зберігає інформацію про конкретну багатоадресну передачу, інакше це могло б привести до витрат пам'яті маршрутизатора. Джерело передає дані маршрутизатору, з яким безпосередньо пов'язано, він у свою чергу поширює повідомлення по всій мережі. У разі PIM SM маршрутизатори, які належать до дерева передачі, зберігають у протоколі тільки номер керуючого повідомлення.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Проведені дослідження ефективності обслуговування трафіку при багатоадресній передачі даних в телекомунікаційних мережах з використанням протоколів PIM SM та PIM DM показали результати, які є залежними від структури, навантаження, алгоритмів передачі, кількості користувачів та інших параметрів.

Протокол PIM DM використовує флудингове поширення значень про нове джерело передачі даних мультитивіщання. Це призводить до збільшення використання мережевих ресурсів. PIM SM використовує Rendezvous Point, дані про багатоадресну передачу передаються тільки зацікавленим одержувачам. З іншого боку, всі маршрутизатори в мережі повинні мати узгоджену інформацію про RP пункти і про приєднання груп до багатоадресної розсилки.

Обидва протоколи також відрізняються з точки зору їх масштабованості і алгоритмів для підтримки моделі передачі ASM.

ЛИТЕРАТУРА

1. Plaksina O., Samouylov K. Approximating blocking probabilities for multiservice network link with unicast and multicast connections // Proc. Of the International IEEE Conference EUROCON 2009. – St.-Petersburg, Russia: 2009. – Pp. 1814–1817.
2. J. Gao, H. Tsao, Y. Wu, "Testing and Quality Assurance for Component-Based Software", Artech House, 2003.
3. T. Bartczak and P. Zwierzykowski, "IP Multicast technologia przyszłości", Network, June 2007, pp. 65-68.
4. M. Piechowiak and P. Zwierzykowski, "The influence of network topology on the efficiency of multicast heuristic algorithms", Proceedings of The 5-th International Symposium – Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, July 2006, pp. 115-119.
5. T. Bartczak and P. Zwierzykowski, "Validation of PIM DM implementation in the NS2 simulator", ISAT, pp. 117-127, 2007.
6. T. Bartczak, T. Szewczyk and P. Zwierzykowski, "Assuring quality of service for IP Multicast transmissions in ISP networks", PWT, December 2007.
7. A. Matrawy, W. Yi, I. Lambadaris, C. Lung "MPLS-based Multicast Shared Trees", Proceedings of the 4th Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'06) , 2006, pp. 227-234.
8. T. Szewczyk and P. Zwierzykowski, "Efficiency of IP multicast technology in ISP networks", ISAT, pp 81-89, 2007.

ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ АУДИТОРНИМ ФОНДОМ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Анотація. Формалізовані завдання складання розкладу занять університету та розподілу аудиторного фонду. Складання розкладу розглядається як задача про призначення з обмеженнями. Подано процедури щодо удосконалення організаційного забезпечення технології складання розкладу. Для візуалізації розкладу і стану аудиторного фонду запропоновано двоекранний інтерфейс користувача. Розроблені методи розподілу аудиторного фонду та виконано аналіз ефективності його використання.

Ключові слова: аудиторний фонд, розклад занять, організація, документи.

Вступ

Розподіл аудиторій – головна складова процедур розробки та оперативного управління розкладом занять закладів освіти. Результативність розподілу впливає на процес управління аудиторним фондом університету. Відсутність засобів автоматизації ускладнює аналіз стану аудиторного фонду та ефективність його використання [1]. Існують деякі програмні рішення задачі управління аудиторним фондом [2-5]. Більшість з них не дозволяє розподіляти аудиторний фонд у автоматичному режимі, в іншому випадку [5] розподіл відбувається без урахування процесів складання розкладу. Деякі вдалі рішення вирізняють окремі системи від інших: веб-інтерфейс [2-3], надає можливість доступу до системи з будь якого комп'ютера, без попередньої інсталяції програми; різні рівні доступу до системи [3] дозволяють розмежувати права роботи з системою для різних користувачів; можливість зміни пріоритетів факторів, що впливають на розподіл аудиторного фонду [5] дозволяє зробити результат розподілу оптимальним з урахуванням поточного стану навчального процесу.

Постановка завдання із складання розкладу занять

Постановки наведених у подальшому завдань відповідають вимогам Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Після затвердження навчальних навантажень кафедр працівники навчального відділу можуть оперувати наступними множинами вихідних даних:

$D^P = \{d^P_i\}$, $d^P_i = \langle p_i, d_i \rangle$ – пари викладач-дисципліна;

$D^G = \{d^G_i\}$, $d^G_i = \langle g_i, d_i \rangle$ – пари група-дисципліна;

$Z^D = \{z^D_i\}$, $z^D_i = \langle d_i, z_i \rangle$ – пари дисципліна-вид,

де: $p_i \in P$ – викладач з множини викладачів P ;

$d_i \in D$ – дисципліна з множини дисциплін D ;

$g_i \in G$ – група з множини груп G ;

$z_i \in Z$ – вид занять з множини видів Z .

На основі цих відношень навчальний відділ формує множину навчальних потоків $\tilde{g}_i$, які можуть складатися з однієї навчальної групи $\tilde{g}_i = \langle g_i \rangle$, підгрупи $\tilde{g}_i = \langle \bar{g}_{ij} \rangle$, або декількох груп $\tilde{g}_i = \langle g_{i_1}, g_{i_2}, \dots, g_{i_n} \rangle$.

З отриманих даних формується множина занять U , елементами якої є $u_i = \langle p_i, d_i, \bar{g}_i, z_i \rangle$,

де: $\bar{g}_i = \langle \tilde{g}_i, k_i \rangle$, k_i – кількість студентів на потоці i . Складання розкладу полягає у формуванні множини занять у розкладі $R = \{r_i\}$,

де $r_i = \langle u_i, t_i \rangle$, $t_i = \langle c_i, n_i, l_i \rangle$, $t_i \in T$, $c_i \in C$ – тип тижня (чисельник/знаменник), $n_i \in N$ – день тижня, $l_i \in L$ – номер пари. Завдання із складання розкладу полягає у визначенні відображення:

$$U \rightarrow T.$$

Слід враховувати наступні обмеження: рівномірний розподіл занять по дням тижня, з мінімальною кількістю «вікон»; побажання та вимоги викладачів; лекції бажано ставити на початок дня та початок тижня.

Завдання із розподілу аудиторій

Розподіл аудиторного фонду полягає в формуванні множини занять у розкладі з визначеною аудиторією $\bar{R} = \{\bar{r}_i\}$, де $\bar{r}_i = \langle r_i, a_i \rangle$, $a_i \in A$ – аудиторія.

Формально таке завдання зводиться до пошуку функції $A = f(R)$. При чому розклад може бути складений таким чином, що не для кожного заняття можливо виділити аудиторію. Для зменшення проблем, що пов'язані з недоліками розкладу, пропонується об'єднати процеси складання розкладу та розподілу аудиторного фонду. Тобто поєднати формування множини елементів $\bar{r}_i = \langle u_i, t_i, a_i \rangle$.

При розподілі аудиторного фонду необхідно враховувати деякі фактори:

аудиторії повинні бути максимально завантаженими:

$$F_1 = \sum_{i=1}^I (\bar{r}_i m - \bar{r}_i k) \rightarrow \min ; \quad (1)$$

переміщення потоків між заняттями повинно бути мінімальним:

$$F_2 = \sum_{i,j \in I} \bar{r}_i k \cdot \rho(\bar{r}_i a, \bar{r}_j a) \rightarrow \min ; \quad (2)$$

щотижневі заняття бажано проводити в одній аудиторії по чисельнику та знаменнику:

$$F_3 = \sum_{i,j \in I} |\bar{r}_i c - \bar{r}_j c| \rightarrow \min , \quad (3)$$

де I – загальна кількість занять;

$\bar{r}_i k$ – кількість студентів у відповідному $\bar{r}_i$;

$\bar{r}_i m$ – місткість відповідної $\bar{r}_i$ аудиторії;

$\bar{r}_i a$ – аудиторія відповідна $\bar{r}_i$;

$\rho(\bar{r}_i a, \bar{r}_j a)$ – відстань між аудиторіями $\bar{r}_i a$ і $\bar{r}_j a$;

$i, j \in \tilde{I}$ якщо $\bar{r}_i c = \bar{r}_j c$ & $\bar{r}_i n = \bar{r}_j n$ & $\bar{r}_i l = \bar{r}_j l + 1$;

$i, j \in \tilde{\tilde{I}}$ якщо $\bar{r}_i u = \bar{r}_j u$ & $\bar{r}_i n = \bar{r}_j n$ & $\bar{r}_i l = \bar{r}_j l$.

Таким чином, задача розподілу аудиторій: знайти $A = f(R)$ таку, що

$$F = w_1 F_1 + w_2 F_2 + w_3 F_3 \rightarrow \min , \quad (4)$$

де w_i – вагові коефіцієнти, які визначаються навчальним відділом.

Складання розкладу занять як задача

про призначення з обмеженнями

Розглянемо підхід до формалізації завдання із формування розкладу занять на основі представлення (1) – (3) як задачі про призначення [7, 8]. Завдання планування у формі призначення представляється в наступній формулюванні: маємо n робіт та n кандидатів-виконавців для виконання цих робіт. Призначення кандидата i на роботу j пов'язано із витратами c_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$). Потрібно знайти призначення (відображення $U \rightarrow T$) кандидатів на всі роботи, що дають мінімальні сумарні витрати. Це типова комбінаторна задача [7]. У [8] приведені різні розширені форми задачі про призначення.

При плануванні розкладу занять ВНЗ у модель призначення введемо додаткову систему обмежень, що містить різні умови розрахунку розкладу.

Таким чином, для автоматизації пропонується модель на основі урахувань зв'язків елементів розкладу. Обмеження можна представити у наступному вигляді:

- умовні призначення: обмеження визначаються у вигляді набору правил;
- зв'язність виконавців (якщо виконавець призначається на яку-небудь роботу, то він призначається і на її похідні роботи);
- агентна модель збору даних про процес формування розкладу.

Основна інтерпретація моделі призначення наступна: у якості замовлення виступає $\langle p_i, d_i, z_i \rangle$, а виконавцем є $\langle t_i, a_i \rangle$. Замовлення формуються на основі навчальних планів та планів організації навчального процесу. Окремими прикладами обмежень задачі являються наступні вимоги: мінімальна кількість «вікон» для груп та викладачів, врахування побажань викладачів (дні, номери пар, яким віддається перевага), обмеження на кількість лекційних занять, що йдуть підряд та інше. Кожна невідповідність вимогам супроводжується нарахуванням «штрафних» балів. Мета – призначити заявки виконавцям так, щоб мінімізувати величину штрафів при задоволенні побажань виконавців. При цьому планування розкладу полягає у нахо-

дженні відповідної перестановки, яка буде розв'язком поставленої задачі. Для вирішення цього завдання застосовані методи [7], модифіковані з урахуванням системи обмежень для розкладу занять. Модифікація відзначається тим, що крім величин c_{ij} , як оцінок ефективності призначення замовлень виконавцям (локальні оцінки), урахуються загальні властивості для усіх призначень, що мають вигляд (2) – (3). Сукупність показників (2) – (3) і функція оцінювання моде-

лі призначення $\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} = P$ можуть використовуватися послідовно з поступками, або разом з (4).

Автоматизація розподілу аудиторного фонду

Розроблена програмна система дозволяє автоматизувати процес розподілу аудиторного фонду. Вона забезпечує можливість розподілення аудиторій для лекційних та практичних занять, лабораторні заняття потребують специфічних аудиторій та детального аналізу кожного типу занять. Розподіл відбувається з урахуванням набору пріоритетів (1-3). Якщо для заняття немає аудиторій потрібного типу та місткості, відбувається пошук аудиторій іншого типу, що не були досі розподілені. У системі створено інструменти і рекомендації для застосування інтерфейсу для управління розподілом аудиторій при роботі із двома моніторами. Після розподілу створюється файл розкладу аудиторій у форматі *.xls. Файл має формат, який використовується навчальним відділом при ручному розподілу, а тому може бути роздрукований та використаний у подальшій роботі. В окремому файлі виводиться перелік занять, для яких не вдалося знайти вільної аудиторії. Середній рівень автоматизованого розподілу аудиторій складає 98%.

Організаційне забезпечення вдосконаленої технології

Однією зі складових технології управління аудиторним фондом є організаційне забезпечення. Вдосконалена технологія передбачає наступні зміни. Диспетчери навчально-методичного управління формують шаблони документів, які передаються на кафедри для заповнення: «Розподіл навантаження по кафедрі»; «Вимоги та побажання викладача при складанні розкладу занять». Вище вказані документи можуть передаватись як в паперовому вигляді, так і в електронному. Останній варіант є більш зручним, оскільки шаблони документа заповнюється довідниковою інформацією щодо викладачів кафедри та

дисциплін, що викладаються. Заповнений електронний варіант може бути автоматично завантажений до розробленої системи, що дозволяє зменшити навантаження на диспетчерів. Ще однією можливістю для оптимізації використання аудиторного фонду є управління аудиторіями поза розкладом.

Аналіз стану використання аудиторного фонду

У системі передбачені функції аналізу ефективності використання аудиторного фонду університету, коли аудиторії являють множину об'єктів зі своїми властивостями (місткість, тип, оснащення). При цьому деякі з цих властивостей ніколи не змінюються (розташування) або змінюються дуже рідко (приналежність до деякої кафедри), а деякі змінюються постійно (наповненість під час заняття). Змінюючи ці властивості можливо зробити аудиторний фонд університету максимально прилаштованим до поточних потреб. Однією з задач аналізу є оцінки наповненості аудиторій. Мета такого аналізу – визначення аудиторій з недостатньою наповненістю, які є кандидатами до переобладнання, в тому числі до поділу на дві частини. Можуть бути прийняті рішення щодо перенесення у ці аудиторії частки занять з інших з метою переобладнання останніх. Для рішення цієї задачі виконується кластеризація аудиторій по досліджуваним властивостям. Наповненість аудиторій кожного заняття прийняті у якості вимірів в багатомірному Евклідовому просторі. Кластер, що буде найближчий до початку системи координат, буде кластером, аудиторії в якому мають тенденцію до недостатньої наповненості. Так на основі діючого розкладу занять було кластеризовано лекційні аудиторії транспортного університету, при цьому виділено 21 кластер, які мають від 1 до 8 аудиторій.

Висновки

Розроблені засоби автоматизації разом із економією аудиторного фонду та часу, що витрачається на процеси управління, дозволяють збирати статистичну інформацію для аналізу якості забезпечення навчального процесу, формування висновків та рекомендації на основі цих даних. Періодичний аналіз аудиторного фонду з використанням розроблених автоматизованих методів дозволить оперативно виявляти недоліки у використанні аудиторного фонду та приймати подальші рішення щодо їх виправлення. Реалізовані сценарії управлін-

ня розподілом аудиторного фонду при організації відображення та взаємодії двох моніторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шинкаренко В. І. Розробка підсистеми АСУ університету для управління аудиторним фондом / В. І. Шинкаренко, С. Ю. Разумов, О. В. Нетребя // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: міжнар. наук.-практ. конф. 5-6 квітня 2012 р.: тези доп. – Дніропетровськ, 2012. – С. 141.
2. Автоматизированная система управления учебным процессом [Електронний ресурс] : <http://www.asuportal.duikt.edu.ua/> .
3. Интерактивная информационная система управления загруженностью аудиторного фонда ВЦ СКГУ [Електронний ресурс] / А. В. Шпак, Е. А. Ибраев, Д. В. Яковец // 2004: <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/3626.doc> .
4. Информационная система учета аудиторного фонда учебного заведения [Електронний ресурс] /А.В. Брызгалов // 2009: <http://econf.rae.ru/pdf/2009/06/b4288d9c0e.pdf> .
5. Автоматизированная система управления вузом Галактика [Електронний ресурс]: <http://vuz.galaktika.ru/> .
6. Вишнякова І. М. АРМ «Розклад занять» / І. М. Вишнякова, С. Ю. Разумов // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: міжнар. наук.-практ. конф. 14-15 травня 2007 р.: тези доп. – Д., 2007. - С. 90.
7. Кудрявцев Е. М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах / Е. М. Кудрявцев. – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
8. Разумов С.Ю. Специалізована модель задачі про призначення для складання розкладу занять вищих навчальних закладів. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – № 29. – С. 176-179.

Л.А. Паник

О ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СЕТЯМИ

Аннотация. В статье выполнен анализ динамических потоков, когда единицы потока имеют индивидуальные свойства (неоднородности), а также учитывается взаимодействие железнодорожных и автомобильных транспортных сетей.

Ключевые слова: динамически поток, неоднородный поток, пересадки.

Введение

Задача нахождения максимальных потоков в сетях является одной из фундаментальных в теории графов и комбинаторной оптимизации. Она изучается на протяжении многих лет, что обусловлено широким спектром ее использования во многих практических приложениях, связанных с анализом транспортных систем, систем материальных потоков, вычислительных и коммуникационных сетей, энергетических и др. [1, 2]. Как правило, в этих приложениях рассматриваются однопродуктовые потоки, которые не учитывают индивидуальные свойства (неоднородности) единиц потока и динамический характер потоков. Учет индивидуальных свойств и времени является еще более актуальным при планировании потоков в неоднородных транспортных сетях. Исследование указанных особенностей моделей потоков является целью данной статьи.

Моделирование процессов управления транспортными потоками

Управление транспортными неоднородными потоками является важнейшей современной логистической задачей. При этом традиционно в литературе [1,2] рассматривается несколько основных постановок задач о потоках в сетях, в которых учитывается неоднородность элементов. Прежде всего, это однопродуктовые (когда поток в дугах соответствует потоку некоторого однородного продукта), к ним относится стандартная транспортная задача, математическая модель которой имеет вид:

$$\min Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

при условии, что

$$\begin{aligned} \sum_i x_{ij} &= a_i, \quad i = 1, \dots, m, \\ \sum_j x_{ij} &= b_j, \quad j = 1, \dots, n, \\ x_{ij} &\geq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

А также многопродуктовые модели потоковых задач, которые обобщаются в форме задач о перевозках [1,2].

Эти задачи не учитывают двух существенных аспектов: динамический характер потоков, а также вопросы взаимодействия потоков (несколько видов транспорта). Указанные выше постановки задач стационарны. В них не учитывается время на перемещение потока из пункта i в пункт j . От времени могут зависеть как спрос, так и предложения по перевозкам, а также пропускные способности участков пути и др. Вместе с тем учет временного фактора очень важен. Например, если перевозятся скоропортящиеся продукты, или в некоторые моменты времени нет путей сообщения между некоторыми пунктами перевозок. Из-за этих факторов нужно рассматривать управление транспортными потоками в динамике (формировать модели процессов в зависимости от времени).

Динамическая потоковая задача о взаимодействии видов транспорта

Процесс планирования пассажиропотоков с пересадками, с одного вида транспорта на другой, в транспортных сетях усложнен неравномерностью пассажиропотоков во времени и пространстве. Для реализации этого нужно проведение исследований загрузки инфраструктуры железнодорожных вокзалов, автобусных станций, аэропортов и т.д., при изменениях размеров движения пассажиров. При планировании необходимо предварительно определить станции пересадки пассажиропотоков с одного вида транспорта на другой, для которых следует предусмотреть увязку времени прибытия и отправления в графике движения. В математическом смысле здесь возникает задача оптимизации распределения потоков в многопродуктовых сетях [3]. Вместе с этим в работе предложена обобщенная модель пла-

нирования поездок с пересадками, которая учитывает неоднородность требований пассажиров к процессу перевозов.

Учет требований пассажиров, их неоднородность, существенно изменяет содержание и сложность заданий планирования. В этих случаях возникают модели планирования с индивидуальными свойствами элементов [4,5]. Сущность специализации требований пассажиров заключается в учете категорий пассажиров (разные виды транспорта). Решение оптимизационных задач, с учетом индивидуальных свойств, выполняется с помощью метода редукции – путем увеличения количество состояний модели планирования.

Рассмотрим математическую модель динамической потоковой задачи с пересадками. Имеем транспортную сеть в виде ориентированного графа $G(E, A)$. Величина интенсивности пассажиропотока, зависящего от времени, для каждого вида транспорта k , для каждого r -того направления, который направляется с источника s^r к стоку t^r , известна и равняется $f^{rk}(t)$. Обозначим, через $x_{ij}^{rk}(t)$ -поток по дуге A_{ij} , который отвечает числу пассажиров, которые направляются из пункта i в пункт j , r -м направлением движения в k -том виде транспорта и в t -й момент времени, также пусть $c_{ij}^{rk}(t)$ - это стоимость перевозки единицы потока (пассажира) из пункта i в пункт j , зависящая от времени, для r -того направления движения и k -того вида транспорта, в которую входит и стоимость за пересадку для некоторых пунктов. Тогда математическая модель планирования с учетом неоднородности элементов потока будет иметь вид:

$$\sum_t \sum_r \sum_k \sum_i \sum_j c_{ij}^{rk}(t) x_{ij}^{rk}(t) \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_k \sum_j x_{ij}^{rk}(t) - \sum_k \sum_j x_{ji}^{rk}(t) = -f^{rk}(t), i \in s^r, r=1,2,\dots,R, t=1,2,\dots \quad (2)$$

$$\sum_k \sum_j x_{ij}^{rk}(t) - \sum_j x_{ji}^{rk}(t) = 0, i \notin E_s, j \in E_l, r=1,2,\dots,R, t=1,2,\dots \quad (3)$$

$$\sum_k \sum_j x_{ji}^{rk}(t) - \sum_k \sum_j x_{ij}^{rk}(t) = f^{rk}(t), i \in l^r, r=1,2,\dots,R, t=1,2,\dots \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_r x_{ij}^{rk}(t) \leq U_{ij}^k(t), (i, j) \in A, k=1,2,\dots,K, t=1,2,\dots \quad (5)$$

В этой модели $U_{ij}^k(t)$ это пропускная способность ребра, то есть число мест в пассажирском транспорте, которые направляются с пункта i к пункту j в, k - том виде транспорта и в t -й момент времени.

В этой модели, в отличие от модели, рассмотренной в [5], появился параметр t , который в этом случае обозначает, моменты времени (часы, дни, недели и т.д.). Из-за этого эту постановку задачи можно рассматривать, как задачу планирования перевозок. Также в этой модели от времени может зависеть параметр r , то есть виды направлений движения могут изменяться в зависимости от времени (закрытие участков движения; возникновение новых направлений в летний период отпусков и т.д.). Если в эту модель еще ввести время передвижения от пункта i к пункт j , то ее можно рассматривать как многокритериальную со вторым критерием – минимальным временем передвижения.

Реализация динамической потоковой задачи с пересадками

Рассмотрена транспортная сеть с графом рис. 1, где по r -тым направлениям передвигаются пассажиры, которые нуждаются в услугах двух видов транспорта: поезда, автобусы.

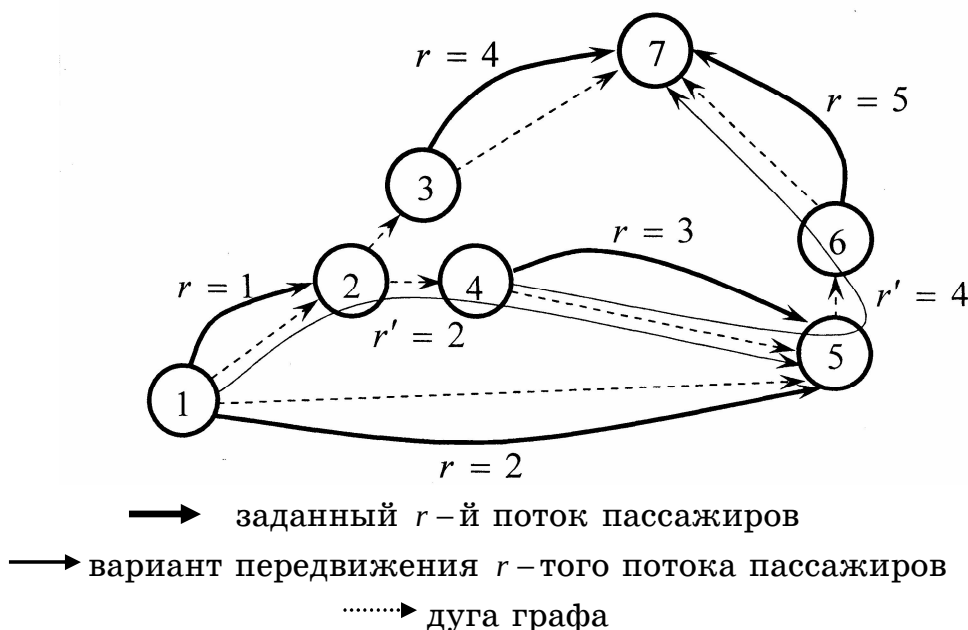


Рисунок 1 - Логический граф транспортных сетей

Для каждой дуги графа известны пропускные способности по каждому виду транспорта:

Пропускные способности U_{ij} дуг X_{ij} по видам транспорта							
	X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
Поезд	1	4	7	3	7	7	8
Автобус	3	3	7	3	6	6	8

Известны стоимости перевозки единичного элемента потока (пассажира) по видам транспорта, а также интенсивности пассажиро-потоков.

Стоимости перевозки C_{ij} единицы потока по дугах X_{ij}							
	X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
Поезд	100	130	50	120	110	60	70
Автобус	50	34	36	78	80	30	55

Для решения поставленной задачи использовались методы линейного программирования, после использования процедуры редукции. В результате получены следующие характеристики пассажиро-потоков по направлениям:

Пассажиропоток по направлениям (поезд)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
0	0	0	0	0	0	0

Пассажиропоток по направлениям (автобус)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
3	0	4	1	2	2	3

Решение задачи выполнено методом редукции [4, 5]. Общая минимальная стоимость перевозки пассажиров разных категорий имеет значение: 1017 у.е. Результаты показывают, что произошло разделение потока по категориям пассажиров. Это объясняется тем, что стоимость перевозки пассажиров на автобусе меньше, по всем направлениям использован только автотранспорт.

Рассмотрим случай, когда по направлению $r = 2$ (участок пути из пункта 1 в пункт 5 графа сети рис. 1) нет автотранспорта, а пропу-

ская способность дуги X_{15} равняется 2. При этом решение задачи будет следующим:

Пассажиропоток по направлениям (поезд)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
0	1	2	0	0	0	0

Пассажиропоток по направлениям (автобус)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
3	1	0	1	2	2	3

Общая минимальная стоимость перевозки пассажиров разных категорий имеет значение: 1523 у.е. Сравнение результатов расчетов показывает, что динамическое изменение характеристик сети приводит к изменению распределению пассажиропотока по направлениям и видам транспорта.

Результаты динамического планирования пассажиропотоков с учетом пересадок на различные виды транспорта согласно модели (1) - (5), учитывающей ограничения по пропускной способности для разных видов транспорта, показали возможность разделения потока, связанную с наличием разных категорий пассажиров. На основе расчетов возможно планирование маршрутов передвижения неоднородных потоков в зависимости от параметров транспортных систем.

Выводы

Показано, что проблема оптимизации динамических неоднородных потоков обобщает известные подходы планирования. Предложена усовершенствованная модель динамического оптимального планирования поездок с пересадками с одного вида транспорта (железнодорожного) на другой вид транспорта (автобусы). Процедуры редукции позволяют применить методы линейного программирования для эффективной численной реализации динамических заданий планирования поездок в неоднородных транспортных сетях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форд Л.Р. Потоки в сетях / Л.Р. Форд, Д.Р. Фалкерсон. М.: Мир, 1966. – 276 с.
2. Филлипс Д.И. Методы анализа сетей / Д.И. Филлипс, А.Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с..
3. Бутько Т.В. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010 - №2 – С.57-67.
4. Скалозуб В.В. Развитие многопродуктовых и многокритериальных моделей потоковых задач с учетом специализации носителей потоков / В.В. Скалозуб, Л.А. Паник, Є.С. Блохін. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011 - №4 - С.7-11.
5. Бутько Т.В. Планування поїздок в транспортних системах з пересадками з урахуванням спеціалізації вимог пасажирів / Т.В. Бутько, В.В. Скалозуб, А.В. Прохорченко, Л.О. Панік. // Науковий журнал «Збірник наукових праць ДонІЗТ». – 2012 - №30 – С.1-9.

УДК 669.431.6

А.П. Мешалкин, Ю.И. Сокур., Л.В.Камкина, В.А Мешалкин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ РЯДА ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Анотация. Рассмотрены технологические особенности тепловой обработки техногенных отходов с использованием вторичных энергоресурсов материалов растительного происхождения

Ключевые слова: техногенные отходы, пиролиз, термодинамика, вторичная энергия.

Введение

Экономическая стабилизация экономики Украины достигается путем рационального, обоснованного теоретически и проверенного практикой, внедрения технологических разработок, позволяющих получать требуемые результаты с минимальными затратами сырья, времени и энергии. Рациональное использование потенциала полезных свойств техногенных отходов различных производств, включая его сырьевую, энергетическую и другие составляющие, является одним из наиболее эффективных направлений развития экологически чистых процессов производства металлов.

Постановка задачи

Рециклинг отходов основных металлургических процессов, по способу [1] заключается в проведении комплексной тепловой их обработки совместно с отходами растительного происхождения. Диапазон свойств получаемых материалов целевого назначения в этом способе обосновывается выбором состава, соотношений исходных компонентов и условий проведения обжига с учетом происходящих при этом процессов физико-химического взаимного реагирования. Результатом контролируемого обжига является получение новых, материалов с прогнозируемыми свойствами.

Анализ результатов исследовательских работ, проведенных кафедрой теории металлургических процессов и общей химии НМетАУ в лабораторных и промышленных условиях, свидетельствуют об эко-

номической, технологической и экологической эффективности производства и применения в основных металлургических процессах материалов целевого назначения, полученных совместным обжигом смесей на основе отходов растительного происхождения и ряда техногенных отходов металлургии [2,3]. В качестве отходов металлургии могут быть использованы трудноутилизируемые шламы и пыли газоочистки сталеплавильных цехов и цехов по производству металлургической извести. В качестве углеродсодержащего материала – отходы растительного происхождения и их переработки, энергетическая ценность которых составляет около 5000 кДж/кг.

В процессе получения новых материалов по предлагаемой схеме совместной восстановительно-тепловой обработки ряда компонентов этот материал, проходя стадию пиролиза, выполняет функции восстановителя, регулятора свойств рабочей атмосферы агрегата и, частично, топлива. Назначение конечного продукта определяется количеством и соотношением исходных компонентов, а также режимом их термообработки.

Технологическая гибкость процесса их совместной термической обработки позволяет получать новые материалы с комплексом приобретенных свойств: шлакообразующие смеси для теплоизоляции стали в ковшах и агрегатах, десульфурации, дефосфорации, раскисления и науглероживания стали, использования в качестве защитных смесей в кристаллизаторе машин непрерывного литья стальных заготовок, высокоактивного восстановителя и в качестве альтернативного вида топлива.

Анализ тепловой стороны этих процессов свидетельствует о возможности и целесообразности более полного использования топливной и тепловой составляющих вторичных энергоресурсов при использовании отходов растительного происхождения.

Целью работы является разработка рациональной технологической схемы получения материалов целевого назначения на основе техногенных отходов с более полным использованием вторичных ресурсов сырья и энергии.

Результаты исследования и их обсуждение.

Принципиально, обжиговые печи отличаются схемами движения исходного материала и отходящих газов, которые могут существенно влиять на показатели процесса обжига. Одной из наиболее эф-

фективной, из ранее предлагаемых схем проведения совместного обжига исходных компонентов, является схема с прямоточно-противоточным режимом работы обжиговой печи [4]. Ее реализация позволяет расширить технологические возможности процесса и снизить удельные затраты на производство. По этой схеме тепловая и топливная составляющие энергии отходящих газообразных продуктов, образующихся при горении летучих и части пироуглерода, не в полной мере используется в процессе производства пироуглерода, «черной» извести [5] и защитных смесей для изоляции зеркала жидкого металла в изложнице, ковшах и в кристаллизаторе МНЛЗ.

Анализ термодинамических равновесий химических реакций в широком интервале температур, имеющих место при термической обработке отходов растительного происхождения, позволили установить некоторые особенности. Процессы горения летучих продуктов пиролиза отходов растительного происхождения, с участием образующегося пироуглерода, протекают в гетерогенной системе, ограниченной рабочим пространством обжигового агрегата (вращающаяся печь). Термодинамические характеристики экзотермических реакций, имеющих место при термической обработке углеродсодержащих отходов растительного происхождения, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика основных термодинамически
параметров реакций

Реакции	Значения величин термодинамических параметров основных реакций при температурах 300/800/1300 (°C)		
	ΔH , Ккал (-)	ΔG , Ккал (-)	Кр
$2H_2 + O_2 = 2H_2O$	116,83/118,64/ 119,68	102,97/90,197/ 76,703	$1,84 \cdot 10^{39}/2,35 \cdot 10^{48}/$ $4,54 \cdot 10^{10}$
$2CO + O_2 = 2CO_2$	135,58/134,95/ 133,85	111,39/90,44/ 69,92	$2,99 \cdot 10^{42}/2,63 \cdot 10^{18}/$ $5,18 \cdot 10^9$
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	191,31/191,61/ 192,76	191,31/191,31/ 190,96	$9,05 \cdot 10^{72}/9,22 \cdot 10^{38}/$ $3,40 \cdot 10^{26}$
$C + CO_2 = 2CO$	(+)41,47/+40,60/39,26	(+)/16,96/24,79	$3,41 \cdot 10^7/7,13/$ $2,78 \cdot 10^3$
$2C + O_2 = 2CO$	52,63/53,80/55,34	52,63/98,82/ 119,51	$3,49 \cdot 10^{29}/1,34 \cdot 10^{20}/$ $4,02 \cdot 10^{16}$

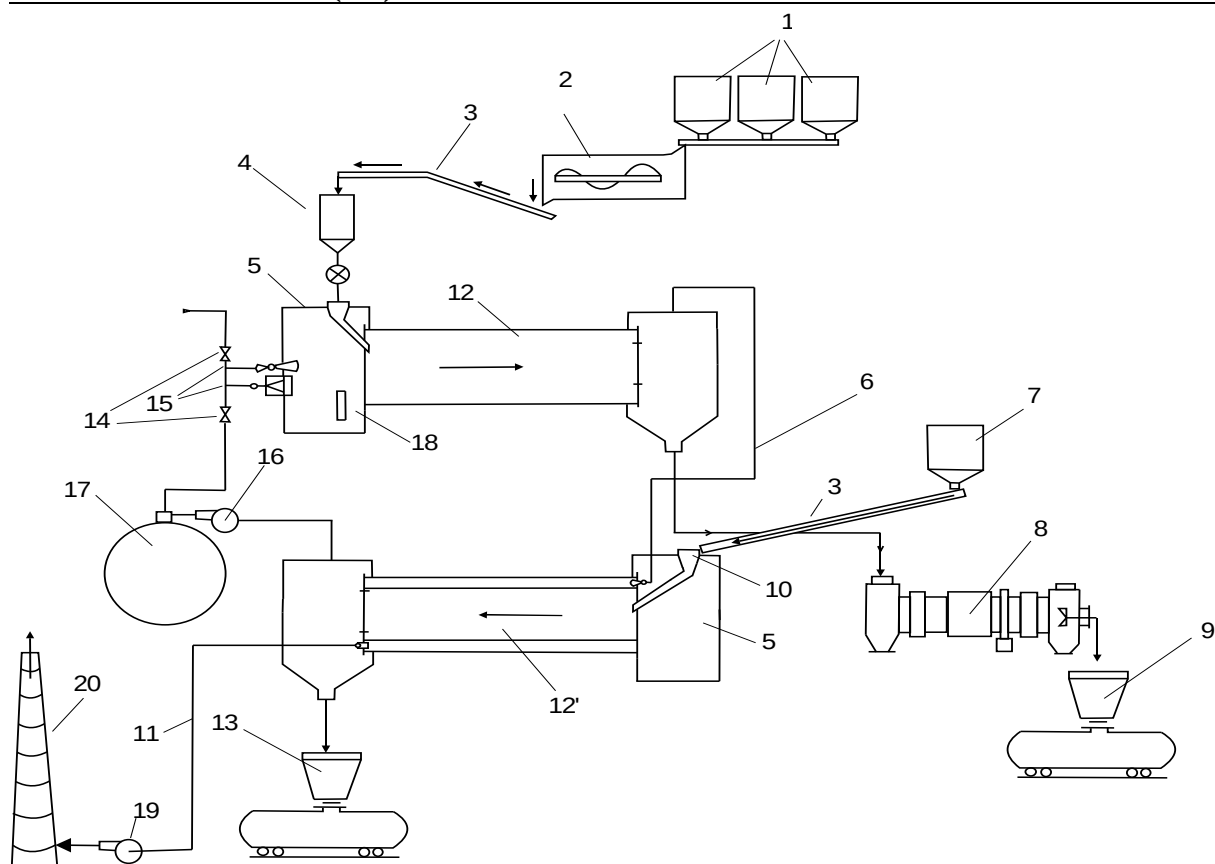
Над поверхностью пересыпающегося слоя также возможно протекание реакция конверсии метана (основной составляющей пирогазов) с участием диоксида углерода по следующей реакции $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ со значительным эндотермическим эффектом (246,9 кДж/моль). Параллельно с указанной реакцией в реальных условиях обжига возможно и взаимодействие с участием нагретого до 800-1000⁰С пиролизного углерода и диоксида углерода по следующей обратимой реакции с поглощением теплоты и увеличением объема $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$, $\Delta H^0 = 172580$ кДж/моль.

В лабораторных условиях изучены особенности низкотемпературного пиролиза различных отходов растительного происхождения, в интервале температур 250-350⁰С с отбором и анализом химического состава пирогазов после удаления исходной влаги. Высокотемпературный пиролиз осуществляли в интервале температур 800-1200⁰С с анализом химического состава продуктов горения пирогазов.

Анализ результатов исследования особенностей пиролиза отходов различных видов растительного сырья при их обжиге в интервале температур 250-1200⁰С позволили обосновать возможность более рационального использования вторичной энергии (ее топливной составляющей) газообразных продуктов низкотемпературного пиролиза. Показано, что способ совместной восстановительно – тепловой обработки отходов может быть более эффективно реализован по двухуровневой замкнутой схеме с использованием кинематических и транспортных устройств (рис. 1).

Представленная схема термической обработки материалов основана на параллельном проведении в агрегатах с пересыпающимся слоем следующих технологических процессов:

- на первом уровне осуществляется высокотемпературный пиролиз отходов растительного происхождения в смеси с компонентами, определяющими свойства и назначения готового продукта;
- на втором уровне осуществляется низкотемпературный пиролиз одного (или нескольких) компонентов – отходов растительного происхождения с получением активного углеродсодержащего восстановителя, альтернативного вида топлива и других материалов.



- 1 – бункера для исходных компонентов – отходов;
 2 – смесительное устройство; 3 – передающее устройство;
 4 – бункер с дозатором смеси компонентов – отходов;
 5 – загрузочные камеры печей; 6 – поток отходящих из реактора первого уровня высокотемпературных продуктов горения;
 7 – бункер с дозатором отходов растительного происхождения;
 8 – барабан – охладитель готовой продукции (ШОС);
 9 – емкость для ШОС; 10 – узел загрузки реактора низкотемпературного уровня; 11 – поток отходящих газов;
 12, 12' – барабанные вращающиеся обжиговые печи первого и второго уровня; 13 – емкость для пироуглерода;
 14 – запорно – регулировочный клапан пирогазов; 15 – газовая горелка с форкамерой; 16 – нагнетатель пирогазов;
 17 – накопительный резервуар пирогазов;
 18 – задвижка для регулирования расхода воздуха в камере сгорания высокотемпературной печи;
 19 – дымосос; 20 – дымовая труба

Рисунок 1 - Схема двухуровневой технологической линии для получения материалов на основе техногенных отходов

В условиях тепловой обработки в реакторах двух уровней возможно протекание следующих процессов, обеспечивающих получение ряда углеродсодержащих реагентов широкого спектра составов и свойств. В реакторе первого уровня, где происходит совместная восстановительно - тепловая обработка ряда компонентов - отходов, в атмосфере печи с коэффициентом избытка кислорода $\alpha = (0,8-0,9)$ с пиролизом отходов растительного происхождения, возможно протекание в диапазоне температур от минимальной до $1200-1300^{\circ}\text{C}$ ряда физико-химических процессов (табл. 2). В низкотемпературном реакторе второго уровня реализуются процессы и превращения, обусловленные температурным интервалом ($250-350^{\circ}\text{C}$) и видом обрабатываемого материала в условиях исключения его контакта с потоком отходящих из реактора первого уровня газов, для которых характерны высокие температура и окислительный потенциал.

Таблица 2

Характеристика основных процессов
в реакторах первого и второго уровней

Реактор I уровня ($600-1200^{\circ}\text{C}$)
Удаление всей влаги из исходной смеси и горение пиролизных газов, укрупнение частиц шлакообразующего материала за счет исходной влаги, выделяющихся смол и битумов и высокотемпературная прокалка конечного продукта
Реактор II уровня ($250-350^{\circ}\text{C}$)
Удаление большей части влаги и пиролизных газов, частично смол и битумов из материалов растительного происхождения, карбонизация, укрупнение частиц пироуглерода и их низкотемпературная прокалка

Сравнительный анализ величин термодинамических параметров рассмотренных реакций (табл. 1) для реального интервала температур показывает, что в условиях недостатка кислорода $\alpha = (0,8-0,9)$ в высокотемпературном реакторе с пересыпающимся слоем достигаются условия, предохраняющие пироуглерод многокомпонентной исходной смеси от значительного окисления. Очевидно, этот эффект достигается тем, что над поверхностью пересыпающегося слоя исходных компонентов существует «защитная» зона в основном из продуктов пиролиза (CH_4 , CO и H_2). В дальнейшем происходит их сгорание с

передачей части тепловой энергии слою пересыпающегося материала и материалу футеровки печи. В зоне прокалки материала, нагретого до максимально допустимого уровня температур, (после практически полного удаления и сгорания летучих) происходит незначительное с практической стороны выгорание пироуглерода из готовой смеси. Экспериментально установлено, что окисляется лишь незначительная часть пироуглерода смеси ~5-7 %, что также улучшает тепловой баланс процесса и приводит к соответственному снижению удельного расхода газообразного топлива. Регулирование уровня использования теплоты экзотермических реакций горения пирогазов, который в несколько раз превышает затраты на эндотермические реакции, может быть достигнуто путем изменения аэродинамики потоков отходящих газов [4].

Интенсификация процесса обжига в основном должна быть направлена на обеспечение рационального режима обжига материала в печи за счет снижения энергозатрат при одновременном обеспечении высокой производительности агрегата и качества продукта на требуемом уровне. Особенностью разработанной схемы организации двухуровневого технологического процесса является то, что тепловая энергия газов, отходящих из реактора первого уровня с температурой около 1100⁰С, передается и используется в реакторе второго уровня для поддержания в его рабочем пространстве температуры на уровне 250-350⁰С, необходимой и достаточной для осуществления низкотемпературного пиролиза только отходов растительного происхождения. При этом, для обеспечения восстановительной (слабоокислительной) атмосферы в низкотемпературном реакторе второго уровня, что способствует увеличению выхода материала по углероду, высокотемпературные газообразные продукты из реактора первого уровня направляются в щелевой зазор реактора второго уровня между основным слоем теплоизоляционного материала и рабочим слоем футеровки. Это способствует передаче тепловой энергии газов объекту пиролиза – материалам на основе отходов растительного происхождения. В последующем энергия низкотемпературных пирогазов, отходящих из реактора второго уровня (ее топливная составляющая) используется в качестве дополнительного источника тепловой энергии в высокотемпературном реакторе.

Таким образом, при реализации этой схемы происходит рециклинг вторичных энергоресурсов, позволяющий существенно снизить удельный расход природного газа. Диапазон изменения расхода пирогазов из накопительного резервуара определяется уровнем достигаемого в нем давления, а полнота сгорания пирогазов регулируется за счет автоматического изменения подсоса воздуха через шиберный затвор агрегата первого уровня. Возможен и вариант их прямой подачи к горелочному устройству, дополнительно установленному на высокотемпературной печи.

Технологический процесс двухуровневой схемы производства материалов многоцелевого назначения реализован в лабораторных условиях. С использованием ряда техногенных отходов (прокатная окалина, пылевидные отходы газоочистных сооружений конвертерного цеха, производства металлургической извести и отходы растительного происхождения) получены следующие опытные материалы:

- в высокотемпературном реакторе:

1. ШОС для десульфурации стали, содержащая 9,5 % C; 60,8 % CaO, 5,6 % FeO и 24,4 % SiO₂;
2. ШОС для дефосфорации стали, содержащая 4,2 % C; 59,8 % CaO, 5,6 % FeO и 25,4 % SiO₂;

- в низкотемпературном реакторе:

1. Пироуглерод (продукт пиролиза отхода растительного происхождения), содержащий 91,7 % углерода с зольностью 6-8% и влажностью 1,5-2,0%.

При изменении направления движения отходящих из высокотемпературного реактора отходящих газов путем их подачи внутрь низкотемпературного реактора:

2. Металлургическая известь со степенью обжига ~ 85 - 88 %.

При совместном обжиге смеси исходных материалов различного фракционного и химического состава одновременно в характерных зонах по длине печи осуществляется ряд физико-химических превращений окислительно-восстановительного характера с различными знаками теплового эффекта, изменяющими газодинамические условия в замкнутом объеме печи. Нестабильность газодинамических характеристик печи вызывает отклонения в режиме горения топлива,

вследствие чего изменяется положение факела, влияющее на положение характерных зон, снижается его устойчивость во времени.

В условиях НГДЗ изучены особенности совместного обжига гидролизного лигнина и мелкодисперсных отходов производства металлургической извести в печи высокотемпературного обжига с шамотной футеровкой. Изменялись типы горелочных устройств (диффузорные и инжекционные), количество и место их расположения, которое позволяло проводить процесс в режимах прямо- или противотока. Низкотемпературный обжиг лигнина исходной влажности (~50%) осуществляли в переоборудованном вращающемся холодильнике с двухслойной огнеупорной футеровкой, обеспечивающей изоляцию материала от потока газов, поступающих из реактора высокотемпературного обжига. Это исключало самовоспламенения летучих ($t_{св} \sim 200^{\circ}\text{C}$), выделяющихся при пиролизе лигнина, которые направлялись по одной схеме к горелке, установленной в загрузочной и по другой – к камере выгрузки готового материала пиролигнина или «черной» извести [3].

Дополнительно, с целью увеличения технологической гибкости предлагаемой технологической схемы, при проведении экспериментов изменяли направление движения потока высокотемпературных газообразных продуктов. При их подаче в рабочее пространство низкотемпературного реактора без изолирования исходной смеси углеродсодержащих отходов растительного происхождения и пылевидных отходов производства извести получена опытная партия «черной извести», с содержанием 82,4% CaO, 11,3% C и 5,4% SiO₂. В другом эксперименте, по измененной схеме с подачей высокотемпературного потока газов из реактора первого уровня непосредственно в рабочее пространство низкотемпературного реактора, проведена диссоциация известняка Докучаевского месторождения (фракция 8-10 мм) и получен материал, содержащий около 86,4% CaO. Реализация этих процессов в низкотемпературном реакторе не требовала дополнительного использования природного газа в качестве топлива.

В отдельных экспериментах на промышленных установкахходящие горючие пирогазы подавались от низкотемпературного реактора, где проводили пиролиз лигнина, через горелку низкого давления, дополнительно установленную в камере загрузки либо выгрузки высокотемпературной печи при работе печи в режимах прямо- или

противотока. Наиболее устойчивая работа этого дополнительно установленного горелочного устройства характерна для варианта подачи пирогазов навстречу потоку обжигаемого материала при установке основной газовой горелки на противоположной стороне печи в камере загрузки смеси исходных компонентов.

Дополнительно при изучении высокотемпературного обжига на промышленной печи установлено следующее. При контакте пирогазов с разогретой до $>800^{\circ}\text{C}$ футеровкой печи происходило их самовоспламенение. Догорание газообразных летучих происходило вплоть до зоны прокалики обжигаемого материала, что обеспечивало минимальное их содержание в готовом продукте. В режиме противотока с двумя, расположенными на противоположных концах печи горелками, установлена неустойчивость факела у загрузочной камеры, образующегося при горении газовой смеси. Это проявлялось в периодическом отрыве последнего от среза сопла горелки, что, очевидно вызвано влиянием встречных потоков газообразных продуктов. При замене горелки диффузорного типа на инжекционную достигнуто устойчивое горение газовой смеси с максимально возможной стабилизацией ее горения. Это привело и к значительной турбулизации газовой смеси (затопленной турбулентной струи), что ускоряло процесс и полноту сгорания газа.

Повышение эффективности предлагаемой схемы термической обработки ряда техногенных отходов может быть достигнуто при достижении максимально возможной синхронизации процессов в двух реакторах на основе контроля в них таких параметров, как разрежение в загрузочных камерах, температура, состав и количество отходящих газов (соотношение CO/CO_2) и расходы смесей компонентов на входе в реакторы.

Установлено, что использование тепловой энергии высокотемпературных продуктов сгорания летучих, образующихся в реакторе первого уровня, позволяет провести полноценный процесс низкотемпературного пиролиза отходов растительного происхождения и получить ряд материалов с высоким содержанием пироуглерода. А использование потока низкотемпературных пирогазов (25-30 % CO , % 15-17% CH_4 , ~ 50% H_2 и 2-4% CO_2), выделяющихся в реакторе второго уровня, позволяет, используя их топливную составляющую вторичной энергии в качестве альтернативного источника топлива, су-

щественно, до 25 %, снизить расход газообразного топлива на процесс получения материалов в реакторе первого уровня. Полученный эффект от снижения расхода природного газа приближает работу агрегата к автогенному режиму. Практически, с учетом теплотерь, общая экономия газообразного топлива при совместном обжиге ряда техногенных отходов, включая и теплоту сгорания собственных пирогазов высокотемпературного реактора, составляет около 80%. Использование природного газа в этом случае направлено только для удаления исходной влаги из смеси компонентов.

Выводы

Реализация двухуровневой технологической схемы получения материалов широкого спектра свойств и назначения позволила более полно реализовать вторичный энергетический потенциал отходящих низко- и высокотемпературных газов. Параллельное проведение в двух агрегатах высоко- и низкотемпературного пиролиза отходов растительного происхождения дает возможность одновременно получать шлакообразующие материалы целевого назначения в реакторе первого уровня и углеродистый материал с высокой реакционно-восстановительной и теплотворной способностью и два вида извести – «черную» на основе двух техногенных отходов и кусковую после обжига известняка в реакторе второго уровня.

Применение разработанной схемы получения материалов целевого назначения из отходов производства в промышленных масштабах позволит в максимальной степени использовать их сырьевой и энергетический потенциалы, при незначительном уровне затрат на подготовку отходов и проведение их восстановительно-тепловой обработки. Использование полученных материалов с широким спектром заданных свойств и назначения в основных процессах черной металлургии позволит утилизировать ряд техногенных отходов и улучшить экологию окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на винахід України, № 95743 «Спосіб отримання комплексних вуглецьмісних шлакоутворюючих матеріалів багатоцільового призначення» / Камкіна Л.В., Мішалкін А.П., Стовба Я.В., Перескока В.В. – 2011. - Бюл. № 9.
2. А.П. Мешалкин, В.В. Перескока, В.М. Власенко, В.П. Камкин. Совершенствование шлакообразования в сталеплавильных процессах путем применения подготовленных техногенных отходов. – Дніпропетровськ: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології», 2011. – Вип. 3(74). – С. 3-9.
3. Мешалкин А.П., Колбин Н.А., Гришин А.М. [и др.] Энергоресурсосберегающие технологии получения и применения порошкообразных материалов заданных свойств в черной металлургии /Бюлетень «Черная металлургия». - 2009. - С. 76-78.
4. А.с. № 1598314 SU. Линия получения изолирующей смеси для жидкой стали./ Н.И. Виниченко, А.У. Бондарь, В.М. Киричук, А.П. Мешалкин. – 1990.
5. А. с. №1474118 SU. Способ получения извести. Н. И. Виниченко, О. Л. Костелов, А.П Мешалкин, В. К. Рочняк. - 1989.

А.И. Михалев, В.Н. Журавлев, А.А. Недоспасов, Р.А. Сухомлин
**ФРАКТАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОРЯДКА МОДЕЛИ
СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО РЕДУКТОРА**

Аннотация. Рассматривается задача оценивания порядка построенной модели методами многомерного фрактального анализа. Модель построена по вибросигналу авиационного редуктора с целью прогнозирования технического состояния (ТС) последнего. Проведено исследование зависимости (фрактальности) выходного сигнала моделей различного порядка, что позволит подтвердить корректность выбора определенного порядка, а также будет вкратце рассмотрен процесс построения модели.

Ключевые слова: модель Бокса-Дженкинса, авиационный редуктор, вибросигнал, пересопряжение зубьев, RS-анализ, метода максимума модулей вейвлет преобразования.

Сигнал, по которому строилась модель, является вибросигналом авиационного редуктора (АР) измеренным с частотой дискретизации 192 кГц. Из априорной информации о сигнале известно, что для корректного диагностирования ТС редуктора с помощью модели необходимо выполнять прогнозирование вперед как минимум на 30 отсчетов, используя для этого хотя бы 50 предыдущих отсчетов. Вибросигнал имеет сложную структуру спектра и является нестационарным, что было проверено тестом Дики-Фуллера [1], который подтвердил гипотезу наличия единичных корней. Из априорных данных о сигнале также известно, что на частоте 17-18 кГц вибросигнал имеет характерную частоту, которая соответствует пятой гармонике частоты пересопряжения исследуемого сателлита АР. Изменение данной гармонике отражает изменение ТС редуктора, поэтому ее необходимо выделить с помощью полосового фильтра и использовать при построении модели.

В работе построена модель вибросигнала авиационного редуктора, который является довольно сложным техническим объектом. Целью моделирования является выявление возникающих разладок в работе АР, которые свидетельствуют о его неполадках. Предлагаются авторегрессионные модели, которые не требуют подробной информации об объекте моделирования. При этом по результатам предвари-

тельного анализа вибросигнала редуктора, проведенного ранее, также известно о его нестационарности.

Критерии, которым должна удовлетворять структура выбранной модели следующие:

- авторегрессионный тип модели;
- применимость для нестационарных временных рядов.

Данным критериям, как уже указывалось, лучше всего удовлетворяет модель Бокса-Дженкинса [2].

При построении модели необходимо провести предварительную обработку вибросигнала авиационного редуктора. Априори об объекте известно, что изменение сигнала на частоте 17-18 кГц свидетельствует об изменении технического состояния объекта. Отсюда, необходимо выделить эту характеристическую частоту, используя полосовой фильтр на промежутке частот 17-18 кГц. В качестве фильтра предлагается выбирать такой, который не сильно сдвигает фазу сигнала. В этой связи был выбран фильтр Баттерворта второго порядка. В результате фильтрации получается сигнал с одной характерной частотой в спектре. Затем полученный сигнал проверяется на стационарность с использованием для этого теста Дики-Фуллера, который проверяет гипотезу наличия единичных корней. Исходя из предварительного анализа вибросигнала, следует, что в случае выбора авторегрессионной модели, при предсказании будущих значений вибросигнала необходимо использовать минимум 50 отсчетов реального сигнала снятого с редуктора.

Пользуясь результатами предварительного анализа вибросигнала, определимся с конечной структурой модели. ADF-тест показал необходимость использования разности первого порядка. При этом априорная информация указывает на необходимость авторегрессии минимум 50-го порядка. Учитывая все данные о сигнале, была выбрана модель Бокса-Дженкинса ARIMA(50,1,0). Таким образом, модель должна состоять из 50 авторегрессионных слагаемых в виде разностей 1-го порядка с коэффициентами регрессии a_i :

$$\Delta^1 y_t = c + \sum_{i=1}^{50} a_i \Delta^1 y_{t-i} + \varepsilon_t. \quad (1)$$

Далее последовательно тремя методами: Ньютона-Гаусса [3], наискорейшего спуска[4] и Левенберга-Марквардта[4] вычисляются

коэффициенты авторегрессии a_i . После чего выбирается наилучший из них. Для моделируемого сигнала - лучшим является метод Ньютона-Гаусса, со следующими показателями надежности:

- Ошибка окончательного предсказания Акайка (FPE) $9,785e-06$;

- Средний квадрат ошибки (MSE) $9,701e-06$.

Вычисленный порядок ошибки моделирования 10^{-6} .

Ниже приводится доказательство корректности полученного результата (адекватность модели АР). Порядок модели 50, т.е. при прогнозировании используется 50 предыдущих отсчетов вибросигнала с частотой дискретизации 192 кГц. При переводе 50 отсчетов сигнала в секунды, разделив на 192 кГц, будет получено время между отсчетами в $2,6 \cdot 10^{-4}$ сек. Т.о. порядок ошибки 10^{-6} возможен, если за время $2,6 \cdot 10^{-4}$ сек. система не изменит своего состояния. Поскольку в работе исследуется работа сателлита АР, то состояние редуктора изменится при наступлении момента пересопряжения зубьев. Из физики работы АР известно, что 5-я гармоника пересопряжения находится на частоте 17 КГц. Разделив ее на 5, получим частоту первой гармоники: 3400 Гц или ее период - $2,9 \cdot 10^{-4}$ сек. Как результат: система не меняет своего состояния.

Далее выделяются несколько выборок (в исследовании использовано 190 выборок длиной 90 отсчетов) вибросигнала, и с помощью полученной модели выполняются предсказания на 30 отсчетов вперед. Процент совпадения реального и предсказанного моделью сигнала равняется 85%.

Определение порядка модели

Порядок модели был определен в соответствии с априорными данными о вибросигнале АР и, в этой связи, является неточным. Исследовано несколько вариаций значений порядка модели и рассчитаны ошибки моделирования, а также показатели фрактальной размерности чтобы, в конечном итоге, определить наиболее корректный порядок.

Показатели надежности для моделей порядка 47, 50, 53 и 55 приведены в следующей таблице:

Таблица 1

Показатели надежности моделирования

	FPE	MSE
Порядок модели 47	9.737e-06	9.658e-06
Порядок модели 50	9.785e-06	9.701e-06
Порядок модели 53	9.528e-06	9.44e-06
Порядок модели 55	9.588e-06	9.497e-06

При сравнении значений таблицы, получено заключение о том, что модель Бокса-Дженкинса порядка 53 является наиболее надежной из всех.

Фрактальный анализ выходных сигналов построенных моделей. Как показал RS-анализ [5], коэффициент Херста находится в пределах $0 < H < 0.5$ (таб. 2), что говорит о том, что сигнал полученный моделями разных порядков относится к антиперсистентным процессам и характеризует модели как сигнал с хаотичными дискретизациями. По результатам нормированного RS-анализ наиболее надежная модель 55 порядка.

Таблица 2

Результаты фрактального анализа моделей

	RS-анализ	ММВП
Порядок модели 47	1,6346	1,1591
Порядок модели 50	1,6415	1,1612
Порядок модели 53	1,7475	1,1568
Порядок модели 55	1,7527	1,1542

По результатам метода максимума модулей вейвлет преобразования [6] выявили более надежную модель 53 порядка. Что сходиться с показателями надежности моделирования FPE и MSE (таблица 1).

Выводы

Рассмотрена задача определения порядка модели авиационного редуктора и процесс ее построения. Оценивание порядка модели было проведено двумя классами методов: показатели надежности моделирования (ошибка окончательного предсказания Акайка, средний квадрат ошибки) и методы многомерного фрактального анализа.

Методы фрактального вейвлет – анализа позволяют вычислить предел предсказуемости, характеризующий внутреннее свойство ди-

намической модели, связанное с хаотичностью. Вычисления коэффициента Херста показывают, что модели разных порядков относятся к антиперсистентным процессам. По результатам анализа, выявили, что наиболее подходящим методом для выявления надежности модели является ММВП, так как сигнал обладает мультифрактальными свойствами.

Анализ рассмотренными методами показал, что наиболее корректной является модель Бокса-Дженкинса 53 порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dickey D. A. and Fuller W. A. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root / Journal of the American Statistical Association. — 1979.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Т. 1, 2. — М.: 1974.
3. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченкова Н. П. Вычислительные методы для инженеров. — М.: Мир, 1998.
4. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.
5. Недоспасов А.А., Кошулян А.В. Фрактальный анализ неровностей поверхностей ободов железнодорожных колёс // Международный форум-конкурс «Проблемы недропользования». - Санкт-Петербурге, 2013.
6. Михалёв А.И., Недоспасов А.А. Оценка эффективности методов диагностирования дефектов подшипников на основе многомерного фрактального анализа // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії, №15. - Дніпропетровськ., 2012. – С. 97-108.

В.Ю. Селиверстов, Т.В. Селиверстова, А.В. Збинец
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕРМЕТИЗАЦИИ В КОКИЛЕ
НАРУЖНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА ИЗ ШТАМПОВОЙ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ**

Аннотация. Приведены результаты моделирования процесса затвердевания отливки цилиндрической формы из стали X18Ф1Л в кокиле с применением наружных холодильников разной конструкции и размеров. Установлена степень влияния вводимого холодильника на характер и продолжительность герметизации отливки в форме.

Ключевые слова: газодинамическое воздействие, герметизация, холодильник, конструкция, утеплитель, моделирование, затвердевание.

Введение. В настоящее время задачей заинтересованных специалистов неизменно является совершенствование действующих и разработка новых эффективных процессов литья. Как известно, снижение материальных и энергетических затрат на производство при одновременном повышении качества литых заготовок может достигаться при разработке и внедрении новых методов внешних физических воздействий на затвердевающий металл. Это в полной мере относится и к технологии газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.

Анализ предыдущих публикаций. Способ литья с применением газодинамического воздействия на затвердевающий в литейной форме расплав позволяет создавать нарастающее давление в герметизированной системе отливка-устройство для ввода газа вплоть до полного затвердевания отливки [1 -5]. К моменту начала подачи газа в систему отливка-устройство для подачи газа на поверхности отливки должен сформироваться слой затвердевшего металла. При этом одним из основных конструктивных компонентов устройства для ввода газа является наружный герметизирующий холодильник, форма, размеры, материал и масса которого оказывают влияние на продолжительность и эффективность технологического процесса газодинамического воздействия [6]. Ранее проведенные исследования показали эффективность данного воздействия на затвердевающий в литейной форме

металл при изготовлении отливок как в кокиле [7 - 9], так и в керамической оболочковой форме [10, 11]. В данных работах подчеркивается, что наибольшая эффективность метода может быть достигнута путем создания таких теплофизических условий, которые обеспечивают формирование равномерного затвердевшего слоя на всей поверхности отливки. Поэтому актуальной задачей является получение научно обоснованных результатов, позволяющих определить степень влияния как отдельных характеристик, так и комплекса параметров, обеспечивающих эффективную работу герметизирующего наружного холодильника для осуществления газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.

Целью исследований является компьютерное моделирование процесса герметизации отливки цилиндрической формы из стали X18Ф1Л, затвердевающей в кокиле с различными вариантами конструкции и размеров наружного холодильника.

Основной материал. Для определения термовременных параметров процесса герметизации системы отливка-устройство для ввода газа и степени влияния наружного холодильника на этот процесс, было проведено компьютерное моделирование герметизации отливки из стали X18Ф1Л (табл. 1) с использованием системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон».

Таблица 1

Химический состав стали X18Ф1Л

Содержание химических элементов, мас. %							
C	Mn	Si	Cr	V	P	S	Fe
1,41	0,74	0,39	18,13	0,89	0,02	0,01	ост.

Литейная форма - стальной вытряхной кокиль со средней толщиной стенки 100 мм, высотой рабочей полости 550 мм и средним диаметром 240 мм. Начальная температура формы - 400°C. Высота отливки – 350 мм. Остальные теплофизические характеристики заливаемого сплава, принятые в качестве исходных данных для проведения моделирования, представлены в таблице 2.

Теплофизические параметры стали X18Ф1Л

Параметр	Значение солидус	Значение ликвидус
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	7718	7718
Теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг K})$	525	525
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м K})$	50	150
Температура, $^{\circ}\text{C}$	1247	1359
Теплота затвердевания 300 365 $\text{Дж}/\text{кг}$.		
Температура заливки (начальная температура) 1420 $^{\circ}\text{C}$		

Материал холодильника – сталь X18Ф1Л. Диаметр холодильника принимался равным 100 мм, 150 мм и 200 мм. Каждому из диаметров соответствовали толщины: 10 мм, 20 мм и 30 мм. Начальная температура холодильника – 350 $^{\circ}\text{C}$. На рисунке 1 представлена схема конструкции холодильников и расположения виртуальных термопар (№№ 1 - 3). Особенностью конструкции холодильников является наличие (отсутствие) вставки из теплоизоляционного материала. Поэтому в одном из вариантов (рис. 1, а) холодильник полностью металлический на газоподающем патрубке, а в другом (рис. 1, б) – холодильник представляет из себя металлический корпус (обычно, из того же материала, что и отливка), в котором находится вставка из теплоизоляционного материала (на рисунке не показана). Для конструкции со вставкой из теплоизоляционного материала толщина холодильника принималась равной 30 мм с толщиной теплоизоляционного материала 10 мм и 25 мм для каждого из выбранных диаметров.

Материалы теплоизоляционных вставок и их теплопроводность представлены в таблице 3.

Таблица 3

Утеплители и их теплопроводность

№	Материал	Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м K})$	Литературный источник
1	Двухкомпонентная зольная формовочная смесь	0,35	[12]
2	Огнеупорное волокно МКРВЦ – 1	0,79	[13]
3	Сухая песчаная формовочная смесь (10 % глины)	1,28	[14]
4	Хромомагнетитовая жидкостекольная формовочная смесь (6% жидкого стекла)	2,56	[14]
5	Шамот высокоглиноземистый	5,40	[14]

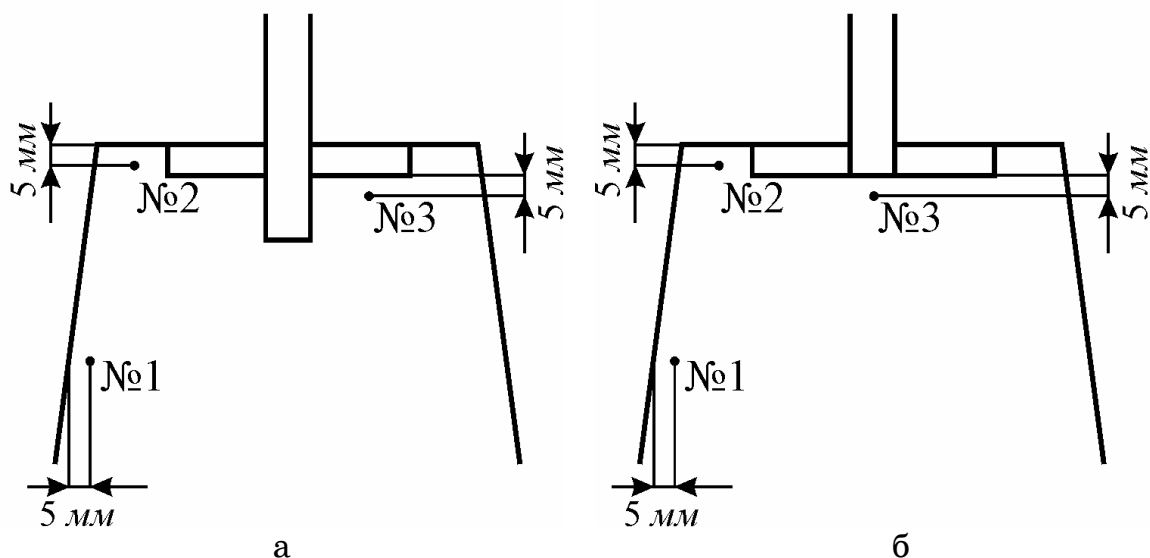


Рисунок 1 - Схема цельнометаллического холодильника на газоподводящем патрубке (а) и корпусного холодильника с утеплительной вставкой (б), а также расположение виртуальных термопар (№№ 1 - 3)

В таблицах 4 - 6 представлены результаты моделирования процесса затвердевания отливки на этапе герметизации металла в литейной форме после введения холодильника различной конструкции при вариации материала утеплителя (№ материала – из табл. 3). Герметизация системы отливка – устройство для ввода газа проходит в течение времени, необходимого для формирования слоя затвердевшего металла на всей поверхности отливки. Учитывая условия затвердевания данной отливки (плотный контакт основания с металлической формой), наиболее «узким местом» этого процесса является формирование затвердевшего слоя на боковой поверхности и место ввода холодильника (верхняя часть отливки), в которых расположены виртуальные термопары. Время охлаждения металла до температуры «солидус» в точках, соответствующих расположению виртуальных термопар (см. рис. 1) в таблицах 3 -5 обозначено: для термопары № 1 – T_1 , для термопары № 2 – T_2 , для термопары № 3 – T_3 .

Таблица 4

Результаты моделирования затвердевания отливки
с холодильником диаметром 100 мм

Высота холодильника (h), мм	Утеплитель холодильника, № материала	Толщина слоя утеплителя (b), мм	T ₁ , сек	T ₂ , сек	T ₃ , сек
10	—	—	300	250	310
20	—	—	300	220	320
30	—	—	300	200	340
30	5	10	310	220	550
30	4	10	310	220	560
30	3	10	310	220	570
30	2	10	310	220	570
30	1	10	310	230	570
30	5	25	310	220	560
30	4	25	310	220	570
30	3	25	310	230	570
30	2	25	310	230	570
30	1	25	310	230	570

Таблица 5

Результаты моделирования затвердевания отливки
с холодильником диаметром 150 мм

Высота холодильника (h), мм	Утеплитель холодильника, № материала	Толщина слоя утеплителя, (b) мм	T ₁ , сек	T ₂ , сек	T ₃ , сек
10	—	—	300	210	340
20	—	—	300	170	330
30	—	—	290	150	330
30	5	10	310	160	580
30	4	10	310	160	600
30	3	10	310	160	600
30	2	10	310	160	610
30	1	10	310	160	620
30	5	25	310	160	600
30	4	25	310	160	610
30	3	25	310	160	620
30	2	25	310	160	620
30	1	25	310	160	620

**Результаты моделирования затвердевания отливки
с холодильником диаметром 200 мм**

Высота холодильника (h), мм	Утеплитель холодильника, № материала	Толщина слоя утеплителя (b), мм	T ₁ , сек	T ₂ , сек	T ₃ , сек
10	—	—	300	130	330
20	—	—	290	100	330
30	—	—	280	90	320
30	5	10	280	90	600
30	4	10	280	90	620
30	3	10	280	90	640
30	2	10	280	90	640
30	1	10	280	90	650
30	5	25	280	90	630
30	4	25	280	90	640
30	3	25	280	90	650
30	2	25	280	90	650
30	1	25	280	90	650

Процесс герметизации является наиболее эффективным в том случае, если к моменту подачи газа в систему отливка-устройство для ввода газа на внутренней поверхности холодильника, закрывающей зеркало металла, замерзает минимальное количество металла отливки, т.е. к этому моменту металл под холодильником должен быть жидким. Время затвердевания расплава в зазоре между холодильником и боковой поверхностью рабочей полости литейной формы должно быть минимальным и соответствовать времени формирования затвердевшего слоя на остальной площади поверхности отливки. Данные, приведенные в таблицах 3 – 5 свидетельствуют о том, что при наличии слоя утеплителя даже минимальной толщины процесс затвердевания металла непосредственно под холодильником идет значительно медленнее, чем в случае цельнометаллического холодильника тех же габаритных размеров. При использовании цельнометаллического холодильника всех рассматриваемых диаметров продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником находится в диапазоне 310 - 340 с, т.е. влияние диаметра холодильника минимально. При использовании утеплителя №5 (с высокой теплопроводностью) в конструкции холодильника ($\varnothing$ 100 мм, h = 30 мм, b = 10 мм) это время составляет не менее 550 с. На процесс затвердевания значительное влияние оказывает площадь зеркала металла, закрываемая холодильником с одинаковой толщиной и тем же

материалом утеплителя: чем больше диаметр, тем дольше сохраняется температура металла под холодильником.. В свою очередь, теплофизические свойства материала утеплителя также существенно влияют на продолжительность затвердевания. Например, расчеты показали, что продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником $\varnothing 150$ мм, $h = 30$ мм, утеплитель № 4, $b = 10$ мм и холодильником $\varnothing 200$ мм, $h = 30$ мм, утеплитель № 5, $b = 10$ мм одинакова. Выбирая конструкцию холодильника и утеплительную вставку с необходимыми теплофизическими характеристиками можно регулировать в широких пределах кинетику затвердевания металла отливки (рис. 2, 3).

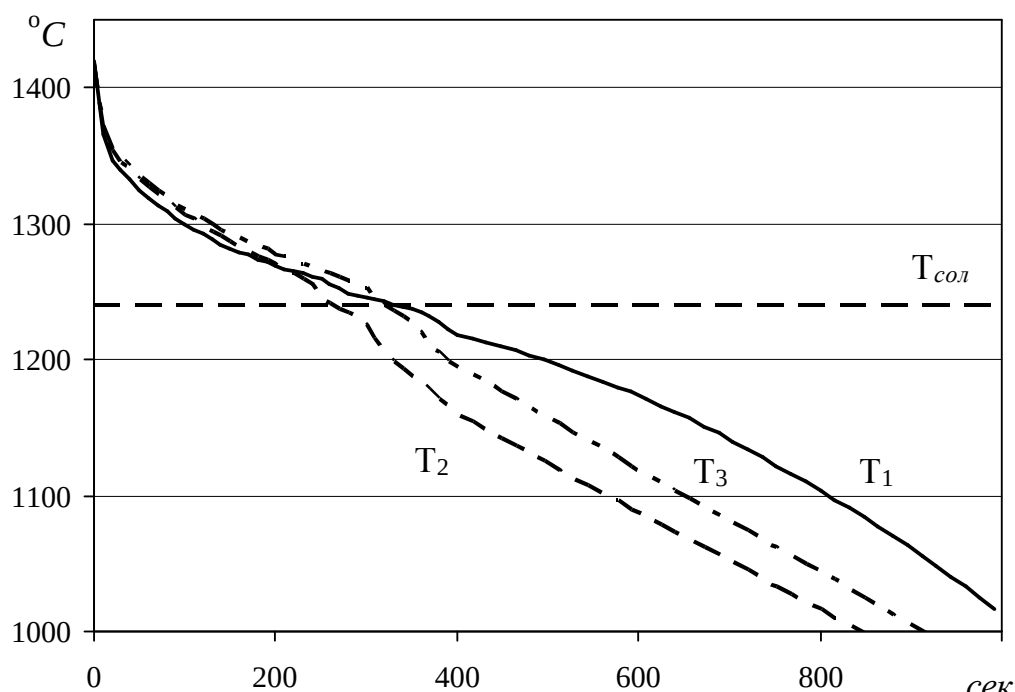


Рисунок 2 - Кривые охлаждения металла отливки в местах расположения виртуальных термопар №№ 1 – 3 при использовании цельнометаллического холодильника $\varnothing 100$ мм, $h = 10$ мм без утеплителя

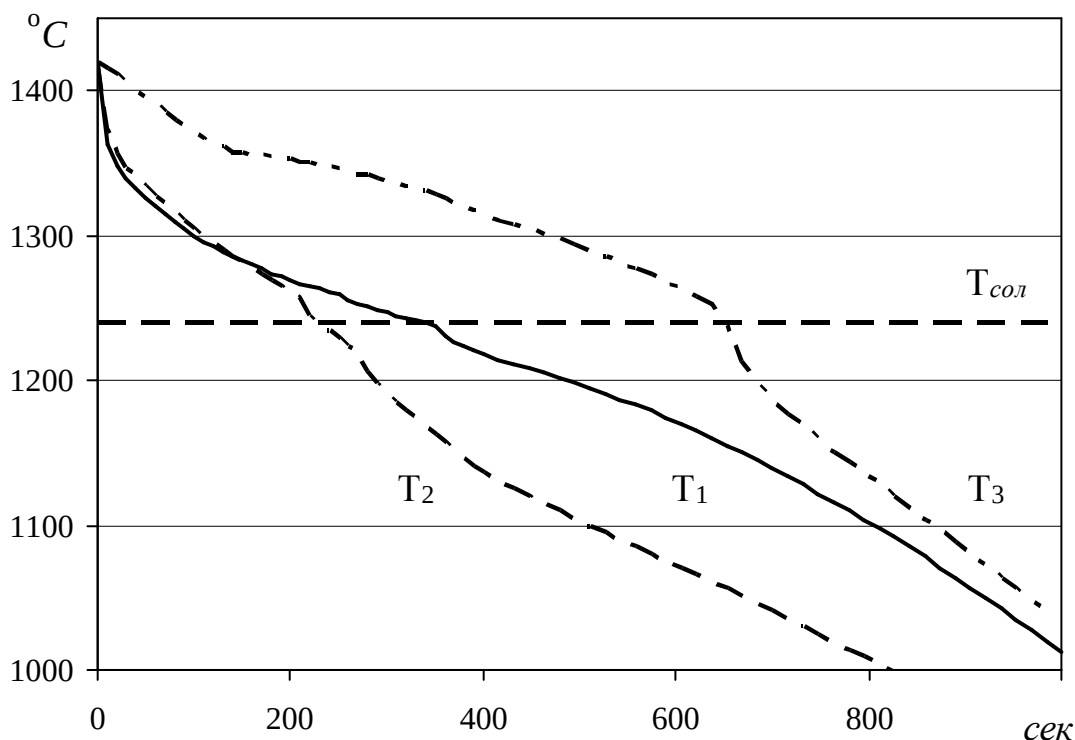


Рисунок 3 - Кривые охлаждения металла отливки в местах расположения виртуальных термопар №№ 1 – 3 при использовании холодильника $\varnothing$ 200 мм, $h = 30$ мм с утеплителем № 1, $b = 25$ мм

Данные рисунков 2 и 3 показывают разницу в продолжительности затвердевания расплава непосредственно под холодильником более чем в 2 раза в случае использования в качестве утеплителя двухкомпонентной зольной формовочной смеси. Это позволяет не только снизить непроизводительные потери металла из-за намерзания на поверхности холодильника, но и значительно улучшить тепловой режим осуществления газодинамического воздействия.

Выводы

1. Проведено моделирование процесса герметизации отливки цилиндрической формы из стали X18Ф1Л в стальном вытряхном кокиле с цельнометаллическим и составным наружным холодильником диаметром ($\varnothing$) 100 мм, 150 мм, 200 мм, толщиной (h) 10 мм, 20 мм и 30 мм со вставками из теплоизолирующих материалов с различной теплопроводностью толщиной (b) 10 мм и 25 мм. Установлено, что выбирая конструкцию холодильника и утеплительную вставку с необходимыми теплофизическими характеристиками можно регулировать в широких пределах кинетику затвердевания металла отливки.

2. При использовании цельнометаллического холодильника всех рассматриваемых диаметров продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником находится в диапазоне 310 - 340 с, т.е. влияние диаметра холодильника минимально. При использовании в качестве утеплителя высокоглиноземистого шамота (с наибольшей теплопроводностью) в конструкции холодильника $\varnothing$ 100 мм, $h = 30$ мм, $b = 10$ мм это время составляет не менее 550 с. В случае использования в качестве утеплителя двухкомпонентной зольной формовочной смеси время может быть увеличено до 650 с, что позволяет улучшить тепловой режим осуществления газодинамического воздействия.

3. Установлено, что применяя материал утеплителя с пониженной теплопроводностью можно использовать холодильник меньшего диаметра. Расчеты показали одинаковую продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником $\varnothing$ 150 мм $b = 25$ мм и холодильником $\varnothing$ 200 мм, $b = 10$ мм с разными утеплителями.

4. Результаты моделирования показали, что для данного вида сплава и литейной формы лимитирующей стадией процесса герметизации системы отливка-устройство для ввода газа будет формирование затвердевшего слоя металла на боковой и верхней поверхностях отливки. При этом толщина цельнометаллического холодильника будет играть второстепенную роль по сравнению с его диаметром. Кроме того, в данном случае, предпочтительно использование конструкции холодильника, предусматривающей наличие слоя утеплителя, что позволяет также снизить металлоемкость устройства для ввода газа

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 28858 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708968; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
2. Пат. 28859 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708969; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
3. Пат. 37838 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808859; заявл.07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
4. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.

5. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меньяло О.В., Савега Д.О. – № u 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23.
6. Селиверстов В.Ю. Влияние наружного холодильника на процесс герметизации отливки из стали с широким температурным интервалом затвердевания в кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Теория и практика металлургии. – 2008. - № 3. - С. 32-37.
7. Селиверстов В.Ю. Влияние газодинамического воздействия на распределение сульфидных включений в цилиндрической отливке из углеродистой стали, затвердевающей в кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Т.В. Михайловская, Ю.В. Доценко, Ю.А. Мушенков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - №5. - С. 40 – 43.
8. Селівьорстов В.Ю. Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі [Текст] / В.Ю. Селівьорстов, В.Є. Хричиков, В.З. Куцова, О.А. Носко, Ю.В. Доценко, П.Д. Куц // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 5-6. – С. 80-85.
9. Селівьорстов В.Ю. Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі [Текст] / В.Ю. Селівьорстов // Теорія і практика металургії. – 2007. - № 4-5. – С. 22 - 25.
10. Селівьорстов В.Ю. Використання технології газодинамічного впливу на розплави при литті по витоплюваним моделям [Текст] / В.Ю. Селиверстов, П.Д. Куц // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2010. - № 4 – С. 89 – 94.
11. Селівьорстов В.Ю. Диверсифікація режимів здійснення технології газодинамічного впливу при виготовленні виливків способом ЛВМ [Текст] / В.Ю. Селиверстов, П.Д. Куц // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2010. - № 17 – С. 108 – 113.
12. Мазорчук В.Ф. Кристаллизация расплава с использованием плавающей прибыльной вставки из вторичных материалов: Дис. ... к - та техн. наук: 05.16.04. – Днепропетровск, 2009. – 125 с.
13. Плита мкрпг-400 теплоизоляционная // ОАО "Синельниковская теплоизоляция" [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://sintiz.com.ua/produkcia5.html>, свободный. - Загл. с экрана.
14. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки [Текст] / Г.Ф. Баландин. - М.: Машиностроение, 1976. -328 с.

И.В. Жуковицкий, А.П. Заец

**ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА, КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Аннотация. Рассмотрены методы применения глобальных навигационных спутниковых технологий для мониторинга местоположения, контроля и прогнозирования эксплуатационных характеристик железнодорожного транспорта на металлургическом предприятии с целью повышения качества его работы и снижения затрат на его содержание.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые технологии, трекары, контроль.

Описание проблемы

На современных металлургических предприятиях важными аспектами работы железнодорожного транспорта являются производственная логистика, обеспечение безопасности работы, повышение качества предоставляемых услуг, контроль выполнения заданий, автоматический учет расходов, сбор статистической информации и прогнозирование состояния транспортного парка с возможностями предупреждения критических событий. Для реализации всех вышеперечисленных задач в комплексе возможно применение автоматизированных систем, основанных на применении глобальных навигационных спутниковых (ГНС) технологий и средств беспроводной связи.

Анализ существующих решений

Одним из «прорывных» инновационных направлений на железнодорожном транспорте является внедрение систем комплексного управления движением подвижных объектов, динамического мониторинга состояния инфраструктуры и подвижного состава с использованием спутниковых технологий. Внедрения спутниковых технологий позволяет достичь качественно более высокий уровень обеспечения безопасности движения и управления перевозками, за счет принци-

пиальных изменений в сфере координатно-временного обеспечения железнодорожного транспорта.

Использование ГНС-технологий уже давно применяется на российских железных дорогах [1]. Не так давно такие технологии стали активно внедряться на украинских железных дорогах (УЗ) [2]. Основной целью внедрения ГНС-технологий есть задачи мониторинга места нахождения тягового подвижного состава в реальном режиме времени на полигоне УЗ. На сегодняшний день на основе информации, полученной от систем спутниковой навигации, в крупнейшей на УЗ системе управления грузовыми перевозками – АСК ВП УЗ-Е – автоматически формируются события прибытия, отправления и прохождения подвижного состава на станциях УЗ и прохождения контрольных постов депо. Данные систем спутниковой навигации (ССН) будут использоваться в задачах автоматического ведения электронного маршрута машиниста, автоматического ведения графиков выполненного движения поездов. Технология ССН обеспечивает возможность автоматического формирования операций, которые раньше не подлежали учета (операции прохождения стыков между администрациями, операции между дорогами, перемещение ТПС на гонках, перемещение на станционных и подъездных путях предприятий). Одной из первоочередных есть задачи расчетов времени работы и простой подвижного состава, которая эффективно решается по данным ССН.

Постановка задачи

Хотя на магистральном железнодорожном транспорте технологий ГСН активно внедряются, на металлургических предприятиях, где роль железнодорожного транспорта велика, внедрение таких технологий только начинается. Цель статьи – показать возможности и перспективы использования ГСН-технологий для управления железнодорожным транспортом на металлургическом предприятии.

Основная часть

Для одного из крупных металлургических предприятий Украины была спроектирована и внедрена система управления железнодорожным транспортом с использованием ГСН. Для внедрения системы подвижной состав оборудован навигационными приемниками (трекерами), которые практически в режиме реального времени (с дискретизацией порядка 10 секунд) способны определить местоположение единицы подвижного состава (с точностью до 10 метров) и передать

данные (широту, долготу, высоту над уровнем моря, скорость и ускорение) на телематический сервер для дальнейшей обработки посредством каналов беспроводной связи (таких как мобильные пакетные GSM-сети, цифровые CSD-каналы, WiFi-сети). После сбора, информация сохраняется в базе данных телематического сервера и по запросу выдаются в АРМ диспетчера или в системы диспетчеризации. Упрощенная схема внедренной системы представлена на Рисунке 1.

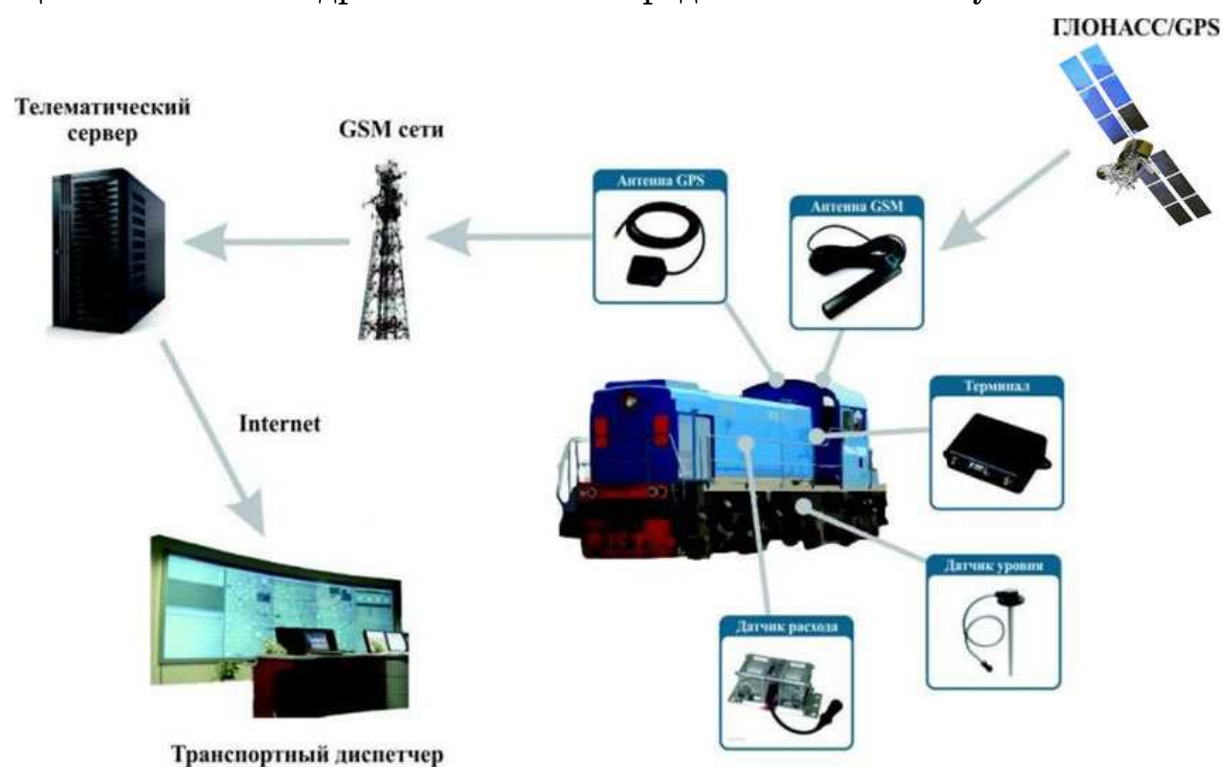


Рисунок 1 - Упрощенная схема системы, используемой для тепловозов

Повышение безопасности работы обеспечивает контроль за опасными характеристиками технологического процесса (скорость движения, температура, вес груза и т.д.), а также построение и постоянный контроль маршрутов движения в пространстве и во времени. В случае обнаружения возможной критической ситуации, система может, как сообщить о нарушении диспетчеру, так и самостоятельно воздействовать на управляющие устройства, такие как экстренный тормоз, перевод стрелки, переключение сигнала светофора или шлагбаума, включение аварийного сигнала или системы охлаждения/пожаротушения. Все это, безусловно, возможно только в случае доказанной высокой надежности систем управления.

Повышение качества предоставляемых услуг достигается за счет улучшения систем интервального регулирования на основании навигационных данных, упрощения работы диспетчерам и контролирующим службам путем внедрения интуитивно понятных интерфейсов АРМов и отчетов, автоматическое предоставление конечному пользователю информации о маршрутах, местоположении единиц транспорта. Пример интерфейса отображения местоположения единиц транспорта на карте предприятия с привязкой к железнодорожным путям показан на Рисунке 2.



Рисунок 2 – Пример диспетчерского интерфейса

Контроль выполнения заданий и маршрутов позволил повысить трудовую дисциплину, равномерно распределить нагрузку между работающими бригадами, автоматизировать подсчет трудозатрат, а также собрать статистические данные для анализа технологического процесса, с целью его дальнейшей оптимизации. Для контроля выполнения заданий и маршрутов, необходимо внесение в систему информации о геозонах, точках выполнения заданий, особенностях технологического процесса.

Для прогнозирования и предупреждения критических состояний транспортных единиц необходим контроль за его эксплуатационными характеристиками. Для железнодорожного транспорта такими являются потребление ГСМ двигателем, состояние зажигания, мощность и обороты двигателя, положения ручки контроллера машиниста, регламент переключения контроллера, напряжение бортовой сети, температура двигателя, топлива и охлаждающей жидкости, давления тормозной системы. Анализ изменения данных параметров позволяет определить состояние двигателя, системы электрооборудования, топливной системы, тормозной системы и транспортной единицы в целом. Что позволяет прогнозировать плановые и внеплановые ремонты техники. Использование трекеров ГСН на локомотивах позволило решить и эту задачу.

Стандартные трекеры ГСН имеют дополнительные входы для ввода цифровых и аналоговых сигналов. Для контроля эксплуатационных характеристик локомотива на него было установлено дополнительное оборудование – специальные датчики (датчики уровня и расхода топлива, датчики веса и объема, концевые датчики открытия). Сигналы от датчиков поступают на трекер и далее передаются на телематический сервер, где присутствует возможность фиксации и выдачи данных на текущий момент и данных за заданный учетный период (рис. 3).

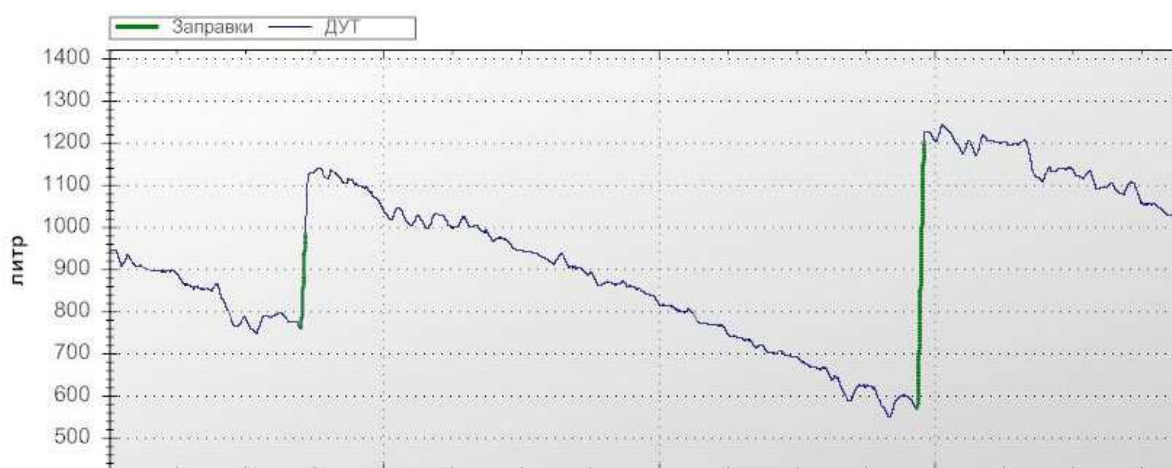


Рисунок 3 – График изменения уровня топлива в баке тепловоза

Автоматический учет расходов горюче-смазочных материалов позволил уменьшить время на обработку данных о затратах, связанных с эксплуатацией транспорта и восприимчивостью ГСМ.

Выводы

Внедрение описанной системы дало возможность значительно снизить затраты (до 30%) на содержание транспортного парка (за счет оптимизации маршрутов движения, сокращения простоев, исключения хищения ГСМ, уменьшению численности внеплановых ремонтов), что позволило окупить внедрение системы за 4 месяца. Таким образом, использование ГСН-технологий в эксплуатации железнодорожного транспорта на металлургическом предприятии имеет весомые перспективы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спутниковые радионавигационные системы ГЛОНАСС/GPS на железнодорожном транспорте. Часть II. – М.: МИИТ, 2004 г. – 68 с.
2. Розенберг И.Н., Сазонов Н.В., Железнов М.М., Васлейский А.С. Применение технологий спутниковой навигации, космического дистанционного зондирования и спутниковой связи в интересах железнодорожного транспорта. [Электронный ресурс]: “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”, Москва, ИКИ РАН, 11 ноября 2008 г. – Режим доступа: www.d33.infospace.ru/d33_conf/2008_conf_pdf/P/Vasileuskiu.pdf. – Название с экрана
3. Цейтлин С.Ю. Концепция использования геодезической информации от систем спутниковой навигации для оперативного контроля дислокации подвижных объектов железнодорожного транспорта / С.Ю. Цейтлин, В.К. Башлаев, И.А. // «Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта»/ Тез. докл. Международной научно-практической конф. Днепропетровск, 2014. – С. 60 – 61.

К.Ю. Островська, Є.В. Островський

РОЗРОБКА СОМ-БІБЛІОТЕКИ ДЛЯ НИЗЬКОПРОФІЛЬНОГО БІОПТИЧНОГО СКАНЕРУ-ВАГ З ВИКОРИСТАННЯМ ACTIVE TEMPLATE LIBRARY

Аннотация. Разработана СОМ-библиотека для работы с низкопрофильным биоптическим сканер-весами NCR-7874 используя Active Template Library. Реализовано функционал считывания штрих-кода, передаваемого низкопрофильному биоптическому сканеру-весам NCR-7874. Реализовано функционал для считывания веса товара размещенного на весах. Предусмотрена возможность регистрации СОМ-библиотеки для работы с низкопрофильным биоптическим сканер-весами NCR-7874.

Ключеві слова: СОМ-библиотека, сканер-веса, штрих-код, функционал.

Вступ. Система автоматизації сучасних торговельних підприємств заснована на технології штрих-кодування. Завдяки своєму винятковому зручності і простоті використання, цей спосіб кодування інформації про товари на сьогоднішній день поширений повсюдно. Штрих-коди нанесені практично на всіх товарах, які ми купуємо в магазині - починаючи від продуктів харчування, предметів одягу, і закінчуючи складними електронними пристроями - побутової та комп'ютерної технікою.

Важливою ланкою в роботі даної технології є сканер штрих-коду. Він надає можливість зчитувати інформацію, закладену в коді, для подальшої обробки - наприклад, для занесення до касовий термінал найменування та вартості покупки.

Однією з принципових характеристик, по якій оцінюють якість сканера штрих-коду, є швидкість його роботи. Для великих магазинів (супермаркетів, гіпермаркетів) з інтенсивним потоком покупців, цей показник є найбільш важливим, оскільки від того, як швидко обслуговуються клієнти, залежить прибуток торгового підприємства.

Для максимального прискорення роботи на розрахунково-касовому вузлі розроблені Біоптичні сканери штрих-коду. Це стаціонарні пристрої, які вбудовуються безпосередньо в касовий термінал. На відміну від сканерів іншого типу вони мають два скануючі вікна. Вікна розташовуються вертикально і горизонтально, формуючи об'ємну робочу зону пристрою (а не лінійну, як, скажімо, в контактних CCD-сканерах).

В якості джерел випромінювання використовуються малопотужні лазери, які заповнюють дану зону скануючими променями. У підсумку штрих-код може бути лічений з будь-який з шести сторін товару. Немає необхідності в суворій позиціонуванні етикетки з кодом щодо скануючого вікна - зчитування відбувається, як тільки товар потрапляє в робочий об'єм сканера. Труднощі з прочитування штрих-коду можуть виникнути тільки в тому випадку, якщо його випадково закrije сторонній предмет (наприклад, палець касира).

Наявність двох джерел випромінювання робить Біоптичні сканери високо надійними, стабільними в роботі пристроями - оскільки в разі відмови одного лазера продовжує функціонувати інший.

Вартість пристроїв даного класу вище, ніж у торгового обладнання, працюючого на основі інших технологій.

Так як Біоптичні сканери використовуються в магазинах з великим числом покупців, то навантаження, яке лягає на них, велика. Це обумовлює підвищені вимоги до захищеності пристроїв. У конструкції використовуються особливо міцні матеріали: нержавіюча сталь, сапфірове скло та ін. Завдяки цьому такі сканери здатні витримувати значні навантаження і працювати в режимі інтенсивної експлуатації.

Сканер штрих коду - це оптичний пристрій, за допомогою якого проводиться зчитування інформації з маркування товару у вигляді штрих коду, його розпізнавання і передача в ПК, POS-термінал, принтер етикеток або контрольно-касову машину.

Постановка задачі. Розробити COM-бібліотеку для роботи з низкопрофільним біоптичним сканер-вагами NCR-7874 використовуючи Active Template Library.

У даній COM-бібліотеці необхідно реалізувати наступні можливості:

1. Можливість встановлення параметрів для роботи послідовного порту до якого буде підключено низькопрофільний біоптичний сканер-ваг NCR-7874.

2. Реалізувати функціонал зчитування штрих-коду, що передається низькопрофільному біоптичному сканер-вагам NCR-7874.

3. Реалізувати функціонал для зчитування ваги товару розміщеного на вагах.

4. Передбачити можливість реєстрації COM-бібліотеки для роботи з низькопрофільним біоптичним сканер-вагами NCR-7874.

Основна частина. ATL означає - Active Template Library. Це бібліотека класів і шаблонів, призначена для розробки власних компонентів.

GUID - це Globally Unique Identifier (глобальний унікальний ідентифікатор). Він потрібен для глобальної ідентифікації чого-небудь (наприклад, інтерфейсів). GUID представляє з себе 128-бітове двійкове число, що отримується випадковим чином з MAC-адреси мережевої карти (який, як відомо, унікальний), поточного часу і ще чогось там.

Створивши бібліотеку і реєстратор, необхідно написати тестову утилію, яка буде використовуючи нашу COM бібліотеку отримувати дані від біоптичного сканера-ваг.

1. Необхідно зареєструвати бібліотеку, рисунок 1

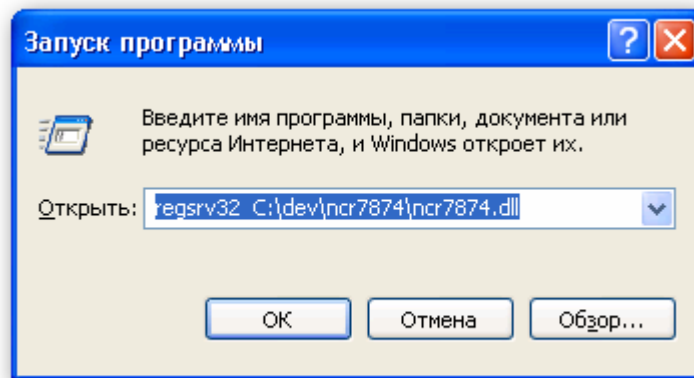


Рисунок 1– Зареєструвати бібліотеку

2. Зареєструємо бібліотеку за допомогою реєстратора, рисунок 2.

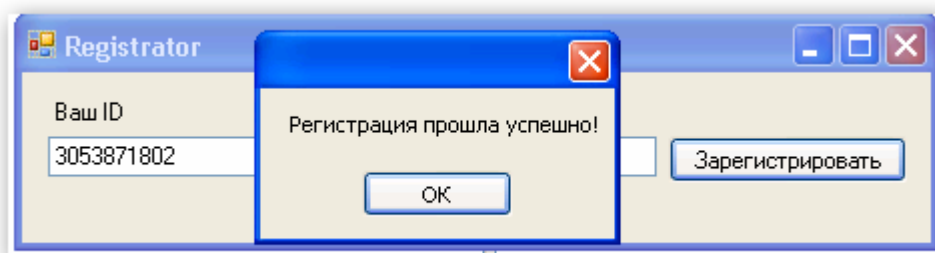


Рисунок 2 – Зареєструємо бібліотеку

3. ID занесений в системі. Написання тестової утиліти. Запускаємо Microsoft Visual Studio і створюємо проект.

4. Підключити посилання на COM-бібліотеку. Для цього в проєкті по виносці "Посилання" викликаємо контекстне меню і викликаємо необхідний пункт, рисунок 3.

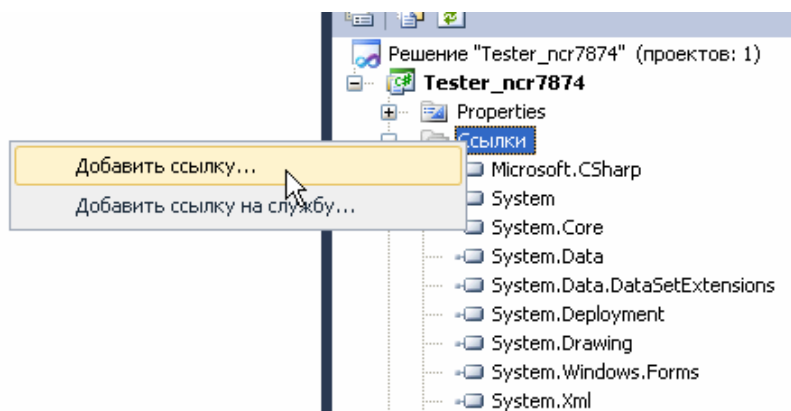


Рисунок 3 – Підключити посилання на COM-бібліотеку

5. Після додавання, ми бачимо підключену COM - бібліотеку, двічі клікнувши по ній, ми відкриємо її в об'єктовій моделі і маємо можливість проаналізувати її вміст.

6. Далі розмістивши на формі компоненти інтерфейсу викличемо функціонали з бібліотеки. На рисунку 4 представлено скріншот лістингу, результатом чого буде здійснюватись перевірка реєстрації.

```
private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    ncr7874Lib.ncr_7874 ncr=new ncr7874Lib.ncr_7874();
    int res=0;
    try
    {
        ncr.Registered(ref res);
        if (Convert.ToBoolean(res))
        {
            button3.Enabled = false;
            button3.Text = "Зареєстровано!";
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}
```

Рисунок 4 – Перевірка реєстрації

7. Тестовий приклад роботи розробленої COM-бібліотеки для роботи з низькопрофільним біоптичним сканер-вагами NCR–7874 використовуючи Active Template Library, рисунок 5.

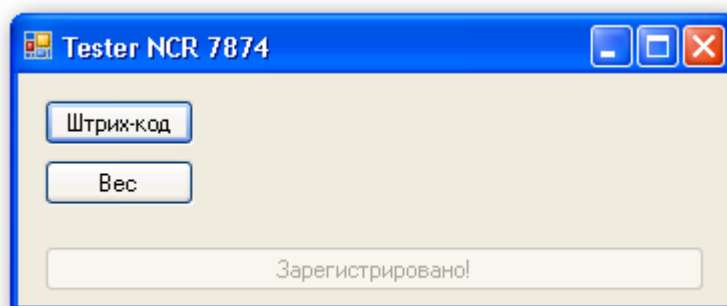


Рисунок 5 – Тестер

На рисунку 6 представлено фрагмент лістингу, який реалізує читання штрих-коду. Реалізація читання ваги можемо бачити на рисунку 7.

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    ncr7874Lib.ncr_7874 ncr = new ncr7874Lib.ncr_7874();
    string bar = String.Empty;
    try
    {
        ncr.Bar(ref bar);
        label1.Text = bar;
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}
```

Рисунок 6 – Реалізація читання штрих-коду

```
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    ncr7874Lib.ncr_7874 ncr = new ncr7874Lib.ncr_7874();
    float weight = 0;
    try
    {
        ncr.Weigth(ref weight);
        label1.Text = weight.ToString();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}
```

Рисунок 7 – Реалізація читання ваги

8. Перевіримо. Відсканувавши «MacCoffee» запитаємо штрих-код, рисунок 8.

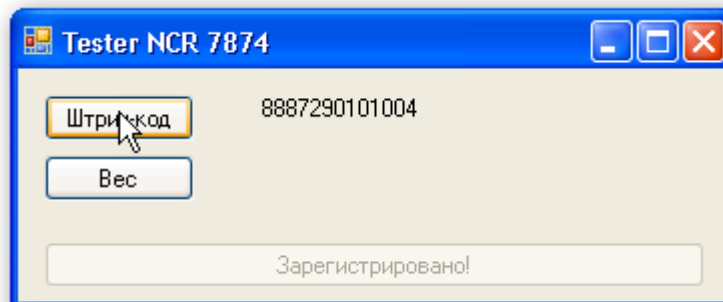


Рисунок 8 – Штрих-код «MacCoffee»

Запитаємо вагу, (рисунок 9). В результаті маємо вагу вмісту пакуетику «MacCoffee» - 36 грам.

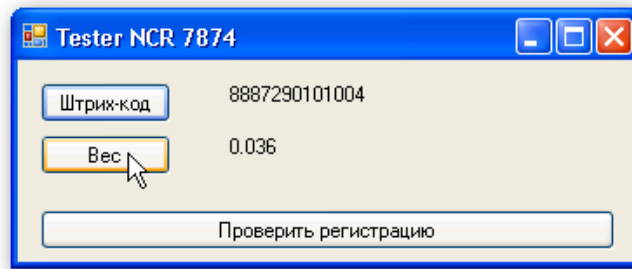


Рисунок 9 – Результат роботи тестеру

Висновки. Було розроблено COM-бібліотеку для роботи з низькопрофільним біоптичним сканер-вагами NCR-7874 використовуючи Active Template Library.

У даній COM-бібліотеці реалізовано наступні можливості:

1. Можливість встановлення параметрів для роботи послідовного порту до якого буде підключено низькопрофільний біоптичний сканер-ваг NCR-7874.

2. Реалізовано функціонал зчитування штрих-коду, що передається низькопрофільному біоптичному сканер-вагам NCR-7874.

3. Реалізовано функціонал для зчитування ваги товару розміщеного на вагах.

4. Передбачено можливість реєстрації COM-бібліотеки для роботи з низькопрофільним біоптичним сканер-вагами NCR-7874.

Важливою ланкою в роботі даної технології є сканер штрих-коду. Він надає можливість зчитувати інформацію, закладену в коді, для подальшої обробки - наприклад, для занесення до касовий термінал найменування та вартості покупки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Посилання в мережі Інтернет:

<http://cash.ru/index.php/chto-takoe-skaner-shtrih-koda.html>

2. Посилання в мережі Інтернет:

<http://www.shtrih-m.ru/modules.php?name=Pages&pa=showpage&cid=818>

3. Ник Рендольф, Дэвид Гарднер, Майкл Минутилло, Крис Андерсон Visual Studio 2010 для профессионалов. - М.: «Диалектика», 2011. — С. 1184.

4. Hello, ATL Server: Современная C++ Веб-платформа, InformIT, September 29, 2006.

5. Роберт Дж. Оберг Технология COM+. Основы и программирование - М.: «Вильямс», 2000. — С. 480.

СОДЕРЖАНИЕ

Киселева Е.М., Коряшкина Л.С., Михалева А.А.

Конструктивные алгоритмы решения непрерывных задач многократного покрытия 3

Лопаткин Р.Ю., Игнатенко С.Н., Иващенко В.А., Канивец В.Н.

Автоматизация нестандартного научного оборудования 17

Михалев А.И., Журавлев В.Н., Сухомлин Р.А.

Идентификация и прогнозирование технического состояния авиационного редуктора 24

Сулименко С.Е.

Перспективные направления создания экологически чистой модели получения агломерата повышенного качества в современных условиях 32

Деревянко А.И.

Хаотические колебания в PVD технологии углеводородных материалов 39

Гнатушенко В.В., Швець Н.О.

Дослідження ефективності обслуговування трафіка при багатоадресній передачі даних в телекомунікаційних мережах 45

Разумов С.Ю.

Завдання автоматизації управління аудиторним фондом закладів вищої освіти 51

Паник Л.А.

О динамических моделях управления неоднородными транспортными сетями 58

Мешалкин А.П., Сокур Ю.И., Камкина Л.В., Мешалкин В.А.

Использование вторичных энергоресурсов при восстановительно-тепловой обработке ряда техногенных отходов 65

Михалев А.И., Журавлев В.Н., Недоспасов А.А., Сухомлин Р.А.

Фрактальное оценивание порядка модели состояния авиационного редуктора 77

Селиверстов В.Ю., Селиверстова Т.В., Збинец А.В.

Моделирование герметизации в кокиле наружного холодильника из штамповой инструментальной стали 82

Жуковицкий И.В., Заец А.П.

Применение спутниковых технологий для мониторинга, контроля и прогнозирования эксплуатационных характеристик железнодорожного транспорта на металлургических предприятиях 92

Островська К.Ю., Островський Є.В.

Розробка СОМ-бібліотеки для низькопрофільного біоптичного сканеру-ваг з використанням Active Template Library 98

РЕФЕРАТЫ

УДК 519.6

Кисельова О.М, Коряшкіна Л.С., Михальова О.О. **Конструктивні алгоритми розв'язку неперервних задач багатократного покриття** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.3 - 16.

Розглядаються безперервні задачі багатократного покриття обмеженої множини з E_n кулями заданого або мінімального радіусу. Представлені математичні моделі оптимізаційних задач покриття, що сформульовані на мові теорії безперервних задач оптимального розбиття множин. Запропоновано конструктивний алгоритм вирішення задачі пошуку оптимального багатократного покриття, складовою частиною якого є вирішення безперервної задачі ОРМ для побудови k -кратної діаграми Вороного і використання останньої при обчисленні компонент узагальненого градієнта негладкої цільової функції задачі мінімізації радіусу покриття.

Бібл. 12, іл. 6, табл. 1.

УДК 004.3

Лопаткін Р.Ю., Ігнатенко С.М., Іващенко В.А., Канівець В.М. **Автоматизація нестандартного наукового обладнання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.17 - 23.

Розглядається проблема комп'ютеризації та автоматизації нестандартного наукового обладнання з точки зору витрат часу і коштів на розробку технічних і програмних рішень. Запропонована архітектура універсальної гнучкої вимірювальної системи, яка дозволяє швидко розробляти системи управління, контролю, збору та аналізу даних, програмувати логіку окремих модулів, а також створювати інтерфейси кінцевого користувача.

Бібл. 5.

УДК 629.7.083.03: 629.735.45

Михальов О.І., Журавльов В.М., Сухомлин Р.О. **Ідентифікація та прогнозування технічного стану авіаційного редуктора** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.24 - 31.

Стаття присвячена завданню ідентифікації моделі вібросигналу редуктора, з подальшим прогнозуванням його технічного стану. У роботі повністю розглянуто процес створення моделі, починаючи з проблеми вибору структури моделі і закінчуючи перевіркою на адекватність. В результаті проведених досліджень була побудована модель ARIMA (50, 1, 0) яка дозволяє виконати прогнозування технічного стану редуктора.

Бібл. 6.

УДК 504.062:622.788

Суліменко С.Є. **Перспективні напрями створення екологічно чистої моделі отримання агломерату підвищеної якості в сучасних умовах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.32 - 38.

Запропоновано нову концептуальну модель отримання продукту прогнозованого якості для доменного переділу. Концептуальна модель передбачає вирішення завдань на

всіх стадіях виробництва з обов'язковим формуванням блоків, у вигляді композитів перед спіканням і виділенням із спеченого агломерат блоків, що не руйнуються, за рахунок додатку механічних навантажень на стадії стабілізації. Компенсувати можливе зниження продуктивності при збільшенні виходу повернення можна шляхом заміни частини вапняку на ферито-кальцієвий флюс.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 616.12

Дерев'янка О.І **Хаотичні коливання у PVD технології вуглеводневих матеріалів умовах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.39 - 44.

Розглянута модель процесу дисоціації у PVD технології, що має вигляд демпфованого осцилятора Морзе за умови зовнішнього гармонічного впливу високо енергійного випромінювання електронної гармати.

Бібл. 5, рис. 6.

УДК. 004.7:004.9

Гнатушенко В.В. **Исследование эффективности обслуживания трафика при многоадресной передаче данных в телекоммуникационных сетях** / В.В. Гнатушенко, Н.А. Швец // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.45 - 50.

Создано имитационную модель multicast сети с маршрутизацией на основании протоколов PIM (Demo Mode и Sparse Mode). Проиллюстрировано эффективность работы протокола для передачи мультимедийного трафика.

Библ. 8, ил. 1.

УДК 004.415:378.4

Разумов С.Ю. **Завдання автоматизації управління аудиторним фондом закладів вищої освіти** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.51 - 57.

Формалізовані задачі складання розкладу занять університету та розподіл аудиторного фонду. Запропоновано вдосконалення організаційного забезпечення технології складання розкладу. Розроблені методи та виконано аналіз використання аудиторного фонду.

Бібл. 8.

УДК 629.4

Панік Л.О. **Про динамічні моделі управління неоднорідними транспортними мережами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.58 - 64.

У статті виконаний аналіз динамічних потоків, коли одиниці потоку мають індивідуальні властивості (неоднорідності), а також враховується взаємодія залізничних і автомобільних транспортних мереж.

Бібл. 5, іл. 1.

УДК 669.431.6.

Мішалкін А.П., Сокур Ю.І., Камкіна Л.В., Мішалкін В.А. **Використання вторинних енергоресурсів при відновлювально-тепловій обробці ряду техногенних відходів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.65 - 76.

Розроблена і проаналізована технологічна схема комплексної відновлювально-теплової обробки ряду техногенних відходів з повним використанням вторинної теплової енергії.

Бібл. 5, табл. 2, іл. 1.

УДК 629.7.083.03 : 629.735.45

Михальов О.І., Журавльов В.М., Недоспасов А.О., Сухомлин Р.О. **Фрактальне оцінювання порядку моделі стану авіаційного редуктора** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.77 - 81.

У роботі розглянута задача визначення коректного порядку моделі вібросигналу авіаційного редуктора, коротко розглянуто процес створення моделі. Коректність порядку моделі була доведена за допомогою фрактального аналізу.

Бібл. 6.

УДК 621.746.6

Селівьорстов В.Ю., Селівьорстов Т.В., Збинець А.В. **Моделювання герметизації у кокілі зовнішнього холодильника з штампової інструментальної сталі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.82 - 91.

Приведені результати моделювання процесу затвердіння виливка циліндричної форми із сталі X18Ф1Л в кокілі із застосуванням зовнішніх холодильників різної конструкції і розмірів. Встановлений ступінь впливу холодильника, що вводиться, на характер і тривалість герметизації виливка у формі.

Рис. 3, табл. 6, бібл. 14.

УДК 656.212.5: 581.3

Жуковицький І.В., Заєць А.П. **Застосування супутникових технологій для моніторингу, контролю й прогнозування експлуатаційних характеристик залізничного транспорту на металургійних підприємствах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.92 - 97.

Розглядаються методи застосування глобальних навігаційних супутникових технологій і засобів бездротовому зв'язку для моніторингу місця розташування, контролю й прогнозування експлуатаційних характеристик залізничного транспорту на металургійному підприємстві з метою підвищення якості його роботи й зниження витрат на його зміст. Показана розроблена система для одного з металургійних підприємств України.

Бібл. 3, іл. 3.

УДК 004.4 '233

Островская К.Ю., Островский Е.В. **Разработка COM-библиотеки для низкопрофильной биоптичного сканеры весы с использованием Active Template Library** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (93). - Днепропетровск, 2014. - с.98 - 104.

Разработана COM-библиотека для работы с низкопрофильным биоптическими сканер-весами NCR-7874 используя Active Template Library. Реализовано функционал считывания штрих-кода, передаваемого низкопрофильному биоптическому сканеру-весам NCR-7874. Реализовано функционал для считывания веса товара размещенного на весах. Предусмотрена возможность регистрации COM-библиотеки для работы с низкопрофильным биоптическими сканер-весами NCR-7874.

Лит. 5 , рис. 9.

UDC 519.6

Kiseleva E.M., Koryashkina L.S., Mikhailova A.A. **Constructive algorithms for solution problems of multiple continuous coverage** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.3 - 16.

We consider the problem of multiple continuous coverage of a bounded set of E_n by circles of specified or minimum radius. There presented mathematical models of optimal set partitioning (OSP) problems of coverage, formulated in the language of the theory of continuous problems of OSP. We propose a constructive algorithm for solving the problem of finding an optimal multiple coverage, which contains solution of the continuous problem of OSP for building k-multiple Voronoi diagram. It is used in the calculation of generalized gradient components of non-smooth function of problem minimizing the radius of coverage.

Bibl. 12, pic. 6, tab. 1.

UDC 004.3

Lopatkin R.Y., Ignatenko S.N., Ivashchenko V.A., Kanivets V.N. **Automation of non-standard scientific equipment** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.17 - 23.

Considered the problem of computerization and automation of custom scientific equipment in the terms of time and cost optimization of hardware and software development. Proposed flexible architecture for universal measuring system which allows quick development of control, monitoring, data collection and analysis systems. The system allows programming of separate modules logic, as well as end-user interfaces development.

Bibl. 5.

UDK 629.7.083.03: 629.735.45

Mikhalyov A., Zhuravlev V., Suhomlin R. **Identification and prediction of a technical condition of aircraft gear** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.24 - 31.

Article is devoted to the problem of identifying the model vibrate gear, followed by forecasting its technical condition. We completely the process of creating the model, starting with the problem of choosing the model structure and ending test of adequacy. As a result of the research was to construct a model ARIMA (50, 1, 0) allows you to perform technical forecasting state gear.

Bibl. 6.

UDK 504.062:622.788

Sulimenko S.E. **Perspective approaches of creation of environmentally friendly model of obtaining higher quality agglomerate in modern conditions** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.32 - 38.

A new conceptual model of receipt of product predicted quality for the domain processing. The conceptual model involves solving problems at all stages of production with the mandatory formation of blocks in the form of composites prior to sintering and separation of non-destructive sinter blocks by the application of mechanical stress on the stage of

stabilization. Compensate for any loss in capability when increasing the yield return is possible by replacing a portion of the limestone by the ferrite-calcium flux.

Bibl. 4, pic. 2.

UDC 616.12

Derevyanko A.I. **Chaotic oscillations in PVD Technology of hydrocarbon materials** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.39 - 44.

Dynamical behavior of damped Morse oscillator driven an external sinusoidal field of gas-discharge electronic gun has been studied as model of molecular system dissociation in PVD.

Bibl. 5, il. 6.

UDK 004.7:004.9

Hnatushenko V.V. **Research of the effectiveness of service traffic multicast data transmission in telecommunication networks** / V.V. Gnatushenko, N.O. Shvets // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.45 - 50.

A simulation model of a network with multicast routing protocols based PIM (Demo Mode and Sparse Mode). The effectiveness of the protocol for transmission of multimedia traffic was illustrated.

Bibl. 8, ill.1.

UDK 004.415:378.4

Razumov S.Y. **Task automating of university's auditorium fund management** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.51 - 57.

Problem of scheduling classes in university and assignment of auditorium fund is formalized. The problem of scheduling is presented as a problem of assignment with restrictions. The improvement of scheduling technology for organization needs is proposed. The analysis is made and methods are developed for auditorium fund usage.

Bibl. 8.

UDK 656.211.3:656.211.5

Panik L.O. **About dynamic case heterogeneous transport networks frames** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.58 - 64.

The analysis of dynamic streams is executed in the article, when individual properties (to heterogeneity) have units of stream, and also co-operation of railway and motor-car transport systems is taken into account.

Bibl. 5, silt. 1.

UDC 669.431.6.

Mishalkin A.P., Sokur Yu.I., Kamkina L.V., Mishalkin V.A. **The use of secondary energy resources during reductive thermal treatment number of technological wastes** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.65 - 76.

Develop and analyze complex flowsheet reductively - heat treatment of a number of man-made wastes with full use of secondary heat

Bibl. 5, tabl. 2, ill. 1.

UDK 629.7.083.03: 629.735.45

Mikhalyov A., Zhuravlev V., Suhomlin R., Nedospasov A. **Fractal estimation aviation gear model order status** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.77 - 81.

In this paper we examined the problem of determining the order of the model is more appropriate to vibrate aviation gear, briefly discussed how to create the model. Correctness of the model order was proved by fractal analysis.

Bibl. 6.

UDC 621.746.6

Selivorstov V.Y., Selivorstova T.V., Zbynets A.V. **Modeling sealing in the chill of the outer fridge die tool steel** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.82 - 91.

The results of design of process of thermosetting of cast of cylindricity are resulted from steel X18Φ1Л in kokyl' with the use of outward refrigerators of different construction and sizes. The degree of influencing of the entered refrigerator is set on character and duration of pressurizing of cast in a form.

Fig. 3, table. 6, lib. 14.

UDC 656.212.5 : 581.3

Zhukovitsky I.V., Zaets A.P. **Application of satellite technology to monitor, control and predict the performance of rail transport in metallurgical enterprises** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.92 - 97.

Methods are considered applications of global navigation satellite technology and wireless communication to monitor the location , monitoring and forecasting performance of rail transport on metallurgical works to improve the quality of its work and reduce the cost of its maintenance. Shows the developed system for one of the Ukrainian metallurgical enterprises .

Bibl. 3, fig. 3 .

UDC 004.4 '233

Ostrovskaya K., Ostrovsky E. **Developing COM- libraries for low-profile scales c bioprichno scanners using Active Template Library** // System technologies. N 4(93) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.98 - 104.

COM- developed library for working with low-profile bi-optic scanner scales NCR- 7874 using Active Template Library. Developing functional barcode reader transmitted low profile bioprichno scanner - scales NCR- 7874 . Developing functionality for reading weight of the goods placed on the scales . The possibility of registering COM- library for working with low-profile scales bioprichno scanner- NCR- 7874 .

Bibl. 5 , Fig. 9.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Кисельова Олена Михайлівна - д.ф.-м.н., професор, Дніпропетровський національний університет ім.Олеса Гончара.

Коряшкіна Лариса Сергійовна - к.ф.-м.н., доцент, Дніпропетровський національний університет ім.Олеса Гончара.

Михальова Олександра Олександрівна – аспірантка, Дніпропетровський національний університет ім.Олеса Гончара

Лопаткін Роман Юрійович - завідувач Науково-дослідним центром навчально-наукових приладів Інституту прикладної фізики НАН України, к.ф.-м.н., доцент кафедри загальної та експериментальної фізики Сумського державного університету.

Іващенко Віталій Анатолійович - м.н.с. Інституту прикладної фізики НАН України.

Ігнатенко Сергій Миколайович - м.н.с. Інституту прикладної фізики НАН України.

Канівець Володимир Миколайович - головний інженер Інституту прикладної фізики НАН України.

Михалев Александр Ильич – зав.кафедрой Информационных технологий и систем Национальной металлургической академии, д.т.н., профессор.

Журавлев Владимир Николаевич – ведущий конструктор ЗМКБ «Прогресс», д.т.н., профессор.

Сухомлин Роман Александрович – аспирант Национальной металлургической академии.

Сулименко Сергей Евгеньевич - доцент кафедры Инженерной экологии и охраны труда, Национальная металлургическая академия Украины.

Дерев'янюк Олександр Іванович - к.т.н., доцент кафедри «Інформаційних технологій та систем», Національна металургійна академія України.

Гнатушенко Виктория Владимировна — к.т.н., доцент, докторант кафедри інформаційних технологій та систем Национальной металлургической академии Украины.

Швец Наталья Александровна — аспирант кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Разумов Сергій Юрійович - старший викладач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Паник Леонид Александрович - ст. преп. кафедри КИТ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Камкина Людмила Владимировна - зав.каф. ТМП и ОХ, д.т.н., профессор НМетАУ.

Мешалкин Анатолий Павлович - к.т.н., доцент каф. ТМП и ОХ, НМетАУ.

Сокур Юлия Ивановна - аспирант каф. ТМП и ОХ, НМетАУ.

Мешалкин Владислав Анатольевич - нач. сектора отдела поставок, ПАТ «ИНТЕРПАЙП» Днепропетровский втормет.

Недоспасов Андрей Александрович – аспирант Национальной металлургической академии.

Збинец Анастасия Викторовна – студентка, Национальная металлургическая академия Украины.

Селиверстов Вадим Юрьевич – д.т.н., профессор, Национальная металлургическая академия Украины.

Селиверстова Татьяна Витальевна – к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины.

Жуковицкий Игорь Владимирович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭВМ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Заец Алексей Петрович - аспирант, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Островская Екатерина Юрьевна - к.т.н., доцент кафедры Информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Островский Евгений Викторович – прикладной программист, Национальная металлургическая академия Украины.