

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), **Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ** (գլխ. խմբ. տեղակալ), **Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ** (պատասխանատու քարտուղար), **Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ**,
Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ, **Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ**, **Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ**, **Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ**,
Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, **Ո.Զ. ՄԱՐԴՈՒԽՅԱՆ**, **ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ**, **Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ**,
Ս.Հ. ՄԻՍՈՆՅԱՆ, **Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ**, **Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), **А.А. ТЕРЗЯН** (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНЯН (ответственный секретарь), **С.Г. АГБАЛЯН**,
Р.В. АТОЯН, **В.В. БУНИАТЯН**, **Ж.Д. ДАВИДЯН**, **С.П. ДАВТЯН**, **С.М. КАЗАРЯН**,
В.З. МАРУХЯН, **Ю.Л. САРКИСЯН**, **В.С. САРКИСЯН**,
С.О. СИМОНЯН, **М.Г. СТАКЯН**, **В.С. ХАЧАТРЯН**

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editor-in-Chief), **H.A. TERZIAN** (Vice-Editor-in-Chief),
Z.K. STEPANYAN (Secretary - in - Chief), **S.G. AGHBALYAN**,
R.V. ATOYAN, **V.V. BUNIATYAN**, **Zh.D. DAVIDYAN**, **S.P. DAVTYAN**,
S.M. GHAZARYAN, **V.Z. MARUKHYAN**, **YU.L. SARGSYAN**, **V.S. SARKISSYAN**,
S.H. SIMONYAN, **M.G. STAKYAN**, **V.S. KHACHATRYAN**

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

և ձևավորումը՝

Համակարգչային շարվածքը

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

Ю.Л. САРКИСЯН, Т.Ф. ПАРИКЯН, А.Г. ХАРАТЯН

АППРОКСИМАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ДИСКРЕТНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ НА БАЗЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ДИАД

Представлены теория и численные методы решения задач квадратического аппроксимационного синтеза пространственных диад с одним регулируемым параметром, положенных в основу проектирования реконфигурируемых дискретных манипуляторов и других систем многофункционального назначения. Показано, что аппроксимационный синтез регулируемых цепей сводится к поиску в теле элементов, наименее отклоняющихся в заданных наборах положений от совокупности однотипных геометрических образов, причем число этих образов равно числу воспроизводимых законов движения. Рассмотрены варианты пересечения указанных образов, позволяющие синтезировать другие диады. Приведен численный пример синтеза реконфигурируемого манипуляционного механизма типа 5 (СПС), воспроизводящего два набора положений твердого тела.

Ключевые слова: аппроксимационный синтез, дискретный манипулятор, реконфигурируемый манипулятор, регулируемые диады, взвешенное квадратическое приближение.

Введение. Дискретными называются манипуляторы с приводами (актуаторами) дискретного действия, которые имеют конечное число дискретных устойчивых положений [1] в силу дискретности входов дискретно и пространственно достижимых положений конечного звена (рабочего органа) таких манипуляторов. По сравнению с традиционными “непрерывными” манипуляторами, дискретные манипуляторы имеют ряд преимуществ, в том числе: возможность реализации требуемых перемещений без систем управления с обратной связью и сенсорных устройств, высокая степень повторяемости и устойчивость положений, простота механизма, небольшие габариты и дешевизна. Между тем ряд производственных и исследовательских приложений манипуляторов требует именно дискретных движений рабочего органа, в связи с чем в последние годы значительно возрос интерес к дискретным манипуляторам, особенно к их простейшему случаю – бинарным манипуляторам [2-4], у которых каждый привод имеет лишь два устойчивых положения. Бинарные манипуляторы аппроксимируют заданные движения использованием большого числа бинарных степеней свободы.

С другой стороны, одним из наиболее важных требований, предъявляемых сегодня к манипуляционным системам на стадии их проектирования, чаще всего является их многофункциональность и свойство реконфигурируемости, т.е. способность манипулятора в процессе работы менять свою структуру и/или геометрические параметры и обретать различные конфигурации для выполнения разных рабочих заданий и кинематических функций. Это свойство в основном достигается за счет изменения структуры механизма, в связи с чем и был развит модульный принцип формирования структурных схем реконфигурируемых манипуляторов путем последовательного соединения ряда

структурных модулей в виде параллельных механизмов [1,5]. Кинематическому (структурно параметрическому) синтезу переналаживаемых модульных манипуляционных механизмов посвящены работы [1, 3, 5-8].

В настоящей работе рассмотрена задача аппроксимационного синтеза реконфигурируемых дискретных манипуляторов с параллельной структурой, образуемых на базе пространственных диад типа СПС, ППС и сферической диады ВВВ, для приближенного воспроизведения нескольких наборов конечноудаленных положений твердотельного объекта. Задача сводится к поиску внутри тела точечных или линейных элементов, которые в заданных наборах дискретных положений наименее отклоняются от совокупности однотипных эквидистантных геометрических образов. Число этих образов равно числу воспроизводимых наборов положений объекта. В качестве меры приближения принята среднеквадратическая норма отклонения. Предлагаемый метод синтеза основан на геометрическом аппарате и итерационных алгоритмах аппроксимационного синтеза механизмов [9, 10].

Синтез регулируемой диады СПС. Взвешенное квадратическое приближение нескольких точечных множеств системой концентрических сфер. Пусть задано m наборов конечноудаленных положений тела e относительно тела $E_S - N_k$ положений в каждом наборе $(k=1,...,m)$. Заданы также координаты некоторой точки $B(x_B, y_B, z_B)$ на теле e в связанной с ним системе координат $oxyz$. Требуется определить координаты такой точки $A(X_A, Y_A, Z_A)$ в системе $OXYZ$, связанной с телом E , расстояния от которой до заданных точек в каждом из m наборов по возможности мало отличались от некоторых постоянных $R_k (k=1,...,m)$.

Поскольку искомые параметры X_A, Y_A, Z_A и $R_k (k=1,...,m)$ задают систему концентрических сфер, то задача сводится к приближению точечных множеств системой концентрических сфер.

Координаты i_k -го положения точки B в системе $OXYZ$ определяются по известной формуле преобразования координат:

$$[X_{B_{i_k}}, Y_{B_{i_k}}, Z_{B_{i_k}}]^t = T_{i_k} [x_B, y_B, z_B]^t + [X_{O_{i_k}}, Y_{O_{i_k}}, Z_{O_{i_k}}]^t, \quad (1)$$

где T_{i_k} - ортогональная (3x3) - матрица вращения, составленная из направляющих косинусов углов между осями систем $OXYZ$ и $oxyz$ в i_k -ом положении.

В качестве меры отклонения точки B в i_k -ом положении k -го набора от сферы радиуса R_{k_k} можно принять степень этой точки относительно сферы, т.е. взвешенную разность [9]:

$$\Delta_{q_{i_k}} = \left| \overline{AB}_{i_k} \right|^2 - R_k^2 = \left(X_{B_{i_k}} - X_A \right)^2 + \left(Y_{B_{i_k}} - Y_A \right)^2 + \left(Z_{B_{i_k}} - Z_A \right)^2 - R_k^2 \quad (2)$$

$$(k=1, \dots, m) \quad (i_k=1, \dots, N_k)$$

Введя обозначения $H_k = (R_k^2 - X_A^2 - Y_A^2 - Z_A^2)/2$ и опуская здесь и далее в индексах букву B (для краткости), преобразуем (2) к линейному виду относительно искомым величин X_A, Y_A, Z_A и H_k ($k=1, \dots, m$):

$$\Delta q_{i_k} = -2(X_{i_k} X_A + Y_{i_k} Y_A + Z_{i_k} Z_A + H_k - \rho_{i_k}^2 / 2), \quad (3)$$

где $\rho_{i_k}^2 = X_{i_k}^2 + Y_{i_k}^2 + Z_{i_k}^2$.

По аналогии с известными работами [9,10] данная задача также сводится к минимизации целевой функции

$$S = \sum_{k=1}^m \sum_{i_k=1}^{N_k} \Delta q_{i_k}^2 \quad (4)$$

из $(m+3)$ условий ее экстремальности:

$\partial S / \partial X_A = 0; \partial S / \partial Y_A = 0; \partial S / \partial Z_A = 0; \partial S / \partial H_k = 0$ ($k=1, \dots, m$), которые приводят к системе $(m+3)$ линейных уравнений

$$\begin{bmatrix} \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_i Z_i & \sum X_{i_1} \dots & \sum X_{i_m} \\ \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum Y_i Z_i & \sum Y_{i_1} \dots & \sum Y_{i_m} \\ \sum X_i Z_i & \sum Y_i Z_i & \sum Z_i^2 & \sum Z_{i_1} \dots & \sum Z_{i_m} \\ \sum X_{i_1} & \sum Y_{i_1} & \sum Z_{i_1} & N_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum X_{i_m} & \sum Y_{i_m} & \sum Z_{i_m} & 0 & \dots & N_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ H_1 \\ \dots \\ H_m \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sum X_i \rho_i^2 \\ \sum Y_i \rho_i^2 \\ \sum Z_i \rho_i^2 \\ \sum \rho_{i_1}^2 \\ \dots \\ \sum \rho_{i_m}^2 \end{bmatrix},$$

где опущенные для краткости пределы суммирования равны: $i_k=1, \dots, N_k$ ($k=1, \dots, m$);

$i=1, \dots, \sum_{k=1}^m N_k$. Значения радиусов сфер определяются из выражений:

$$R_k = \sqrt{2H_k + X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2} \quad (k=1, \dots, m).$$

Алгоритм синтеза регулируемой диады СПС. Метод определения искомым параметров регулируемой диады СПС, приближенно воспроизводящей заданные положения тела e (с фиксированным положением поступательной пары для каждого из m наборов), основан на решении сформулированной выше вспомогательной задачи, попеременно для прямого и обратного движения тел e и E ностью аналогичен предложенному Саркисяном [9]:

1. Выбирается начальное приближение в виде координат некоторой точки $B(x_B, y_B, z_B)$ на теле ϵ , для которой определяются координаты центра $A(x_A, y_A, z_A)$ сферического шарнира на теле E и радиусы сфер R_k ($k=1, \dots, m$).
2. Производится обращение движения, т. е. тело ϵ принимается за неподвижное, и вычисляются координаты точек A_{i_k} тела E в системе $OXYZ$ во всех положениях по формуле, обратной (1):

$$[x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}]^t = T_{i_k}^{-1} [x_A - x_{o_{i_k}}, y_A - y_{o_{i_k}}, z_A - z_{o_{i_k}}]^t. \quad (5)$$

3. Решается задача, аналогичная указанной в п.1, с той лишь разницей, что по известным координатам $x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}$ точек A_{i_k} определяются координаты центра сферического шарнира $B(x_B, y_B, z_B)$ на теле ϵ и радиусы R_k ($k=1, \dots, m$).

Итерационный процесс повторяется до удовлетворения следующего неравенства:

$$\max(|x_B^{(j)} - x_B^{(j-1)}|, |y_B^{(j)} - y_B^{(j-1)}|, |z_B^{(j)} - z_B^{(j-1)}|, |R_1^{(j)} - R_1^{(j-1)}|, \dots, |R_m^{(j)} - R_m^{(j-1)}|) < \epsilon,$$

где в скобках указаны разности величин, полученных на j -ом и $(j-1)$ -ом шагах итерационной процедуры, а ϵ - малая положительная величина. Сходимость процесса можно доказать аналогично [9].

Синтез регулируемой диады ПЛПС. Взвешенное квадратическое приближение нескольких точечных множеств системой параллельных плоскостей. При тех же исходных условиях, что и в предыдущем случае, требуется определить координаты (a, b, c) такого единичного вектора $\vec{n}$ в системе $OXYZ$, при котором величины проекций заданных векторов $\vec{OB}_{i_k}$ на него в каждом из m наборов по возможности мало отличались от некоторых постоянных.

В качестве меры отклонения точки B в i_k -ом положении от k -й плоскости можно принять функции

$$\Delta_{q_{i_k}} = aX_{i_k} + bY_{i_k} + cZ_{i_k} + d_k \quad (k=1, \dots, m; i_k=1, \dots, N_k), \quad (6)$$

где (a, b, c) и d_k ($k=1, \dots, m$) - параметры приближающих плоскостей. Полагая для определенности $a=-1$, имеем

$$\Delta_{q_{i_k}} = -X_{i_k} + bY_{i_k} + cZ_{i_k} + d_k.$$

Минимизация целевой функции (4) из условий ее экстремальности $\partial S / \partial b = 0$ $\partial S / \partial c = 0$ $\partial S / \partial d_k = 0$ ($k=1, \dots, m$) приводит к системе $(m+2)$ линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} \sum Y_i^2 & \sum Y_i Z_i & \sum Y_{i_1} & \dots & \sum Y_{i_m} \\ \sum Y_i Z_i & \sum Z_i^2 & \sum Z_{i_1} & \dots & \sum Z_{i_m} \\ \sum Y_{i_1} & \sum Z_{i_1} & N_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum Y_{i_m} & \sum Z_{i_m} & 0 & \dots & N_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ c \\ d_1 \\ \dots \\ d_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum X_i Y_i \\ \sum X_i Z_i \\ \sum X_{i_1} \\ \dots \\ \sum X_{i_m} \end{bmatrix}.$$

Алгоритм синтеза регулируемой диады ПлПС. Данный алгоритм аналогичен алгоритму синтеза регулируемой диады СПС, с той лишь разницей, что в обратном движении решается задача взвешенного квадратического приближения множеств плоскостей точкой, изложенная Саркисяном [9].

Синтез сферической регулируемой диады ВВВ. Взвешенное квадратическое приближение нескольких связок прямых с общей точкой системой соосных конусов с общей вершиной. Пусть задано m наборов конечноудаленных положений тела E — N_k положений в каждом наборе ($k=1, \dots, m$). Задана также прямая f в теле E , проходящая через неподвижную точку O . Требуется определить такую прямую Q в теле E , проходящую через точку O , углы которой, образуемые с заданными прямыми f_{i_k} , по возможности мало отличались от некоторых постоянных γ_k в каждом из m наборов.

Поскольку искомая прямая Q и углы γ_k ($k=1, \dots, m$) задают систему m задач сводится к приближению m связок прямых системой m соосных конусов. Если через B и A обозначить точки, лежащие на осях f и Q соответственно, то в качестве меры отклонения прямой f_{i_k} от Q удобно принять выражение

$$\Delta q_{i_k} = \bar{r}_{B_{i_k}} \cdot \bar{r}_A - \left| \bar{r}_{B_{i_k}} \right| \left| \bar{r}_A \right| \cos \gamma_k \quad (k=1, \dots, m; i_k=1, \dots, N_k). \quad (7)$$

После подстановки $H_k = \left| \bar{r}_{B_{i_k}} \right| \left| \bar{r}_A \right| \cos \gamma_k$ выражение (7) можно привести к линейному виду относительно искомых величин X_A, Y_A, Z_A и H_k ($k=1, \dots, m$):

$$\Delta q_{i_k} = X_{i_k} X_A + Y_{i_k} Y_A + Z_{i_k} Z_A + H_k. \quad (8)$$

Полагая для определенности $Z_A = 1$, имеем

$$\Delta q_{i_k} = X_{i_k} X_A + Y_{i_k} Y_A + Z_{i_k} + H_k. \quad (9)$$

Минимизация целевой функции (4) из условий ее экстремальности $\partial S/\partial X_A = 0$; $\partial S/\partial Y_A = 0$; $\partial S/\partial H_k = 0$ ($k=1,...,m$) приводит к системе $(m+2)$ линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_{i_1} & \dots & \sum X_{i_m} \\ \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum Y_{i_1} & \dots & \sum Y_{i_m} \\ \sum X_{i_1} & \sum Y_{i_1} & N_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum X_{i_m} & \sum Y_{i_m} & 0 & \dots & N_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ H_1 \\ \dots \\ H_m \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum X_i Z_i \\ \sum Y_i Z_i \\ \sum Z_{i_1} \\ \dots \\ \sum Z_{i_m} \end{bmatrix}.$$

Значения углов γ_k ($k=1,...,m$) определяются из выражений

$$\gamma_k = \arccos \left[\frac{|H_k|}{|\vec{r}_B| |\vec{r}_A|} \right] (k=1,...,m).$$

Алгоритм синтеза сферической регулируемой диады ВВВ. Данный алгоритм аналогичен алгоритму синтеза регулируемой диады СПС:

1. Выбирается начальное приближение в виде координат некоторой точки $B(x_B, y_B, z_B)$ на прямой Q в теле E , на основе которой определяются координаты i_k -го положения точки B в системе $OXYZ$ с учетом известной формулы преобразования координат в сферическом движении:

$$[X_{i_k}, Y_{i_k}, Z_{i_k}]^t = T_{i_k} [x_B, y_B, z_B]^t. \quad (10)$$

Из системы линейных уравнений определяются координаты точки $A(X_A, Y_A, Z_A)$ на прямой Q в теле E и величины углов γ_k ($k=1,...,m$).

2. Производится обращение движения и вычисляются координаты точек A тела E в системе $OXYZ$ во всех положениях по формуле, обратной (10):

$$[x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}]^t = T_{i_k}^{-1} [X_A, Y_A, Z_A]^t. \quad (11)$$

3. Решается задача, аналогичная указанной в п.1, с той лишь разницей, что по известным координатам $x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}$ точек A_{i_k} определяются координаты точки $B(x_B, y_B, z_B)$ и углы γ_k ($k=1,...,m$).

Итерации повторяют до удовлетворения неравенства

$$\max \left(|x_B^{(j)} - x_B^{(j-1)}|, |y_B^{(j)} - y_B^{(j-1)}|, |z_B^{(j)} - z_B^{(j-1)}|, |\gamma_1^{(j)} - \gamma_1^{(j-1)}|, \dots, |\gamma_m^{(j)} - \gamma_m^{(j-1)}| \right) < \varepsilon.$$

Синтез регулируемых диад ВПС, ППС, ВВС и ПВС. Рассматривая различные варианты пересечения первых двух геометрических образов – системы концентрических сфер и системы параллельных плоскостей – со сферой, плоскостью и цилиндром, получаем

новые совокупности эквидистантных геометрических образов: а) соосные окружности, принадлежащие одной сфере; б) соосные концентрические окружности; в) компланарные параллельные прямые и г) соосные окружности равного радиуса (табл. 1), которые моделируют соответственно регулируемые диады ВВС, ВПС, ППС, ПВС (рис.1). При этом для решения задач о приближении точек сферой, плоскостью и цилиндром можно использовать известные итерационные алгоритмы квадратического приближения [9].

Таблица 1

Пересечения геометрических образов

Поверхности Системы поверхностей	Сфера	Плоскость	Цилиндр
Концентрические сферы	а	б	—
Параллельные плоскости	а	в	г

а – соосные окружности, принадлежащие одной сфере, б – соосные концентрические окружности, в – компланарные параллельные прямые, г – соосные окружности равного радиуса

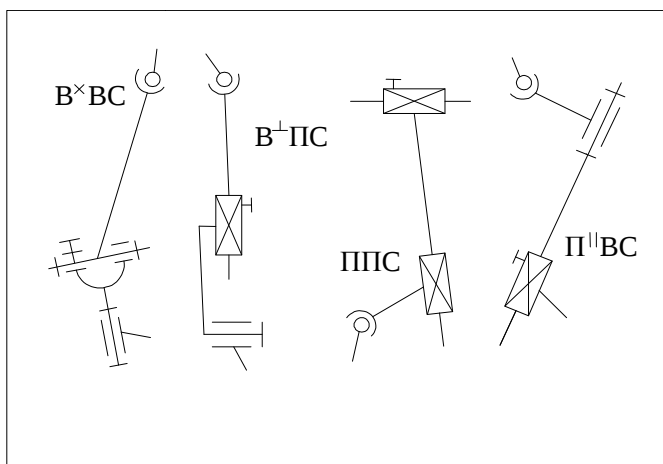


Рис. 1. Регулируемые диады ВВС, ВПС, ППС, ПВС

Синтез переналаживаемых передаточных, направляющих и перемещающих механизмов на базе регулируемых диад. На рис. 2 приведены примеры передаточных, перемещающих и направляющих переналаживаемых механизмов, которые можно построить с помощью вышеописанных диад. При переводе каждого из построенных таким образом механизмов на воспроизведение нового закона движения достаточно переустановить элементы регулируемых пар синтезированных диад.

Предлагаемые механизмы могут быть использованы в проектировании реконфигурируемых манипуляторов (рис.2а) и других многофункциональных устройств.

Пример. Требуется спроектировать реконфигурируемый манипуляционный механизм 5 (СПС), воспроизводящий два набора положений тела, по шесть положений в каждом (табл. 2).

В табл. 3 сведены результаты вычислений – координаты центров сферических шарниров на основании и на выходном звене, а также два набора длин R_{1j} и R_{2j} и соответствующие максимальные нормальные отклонения Δ_{1j} и Δ_{2j} . Значение целевой функции $S=0,1807$.

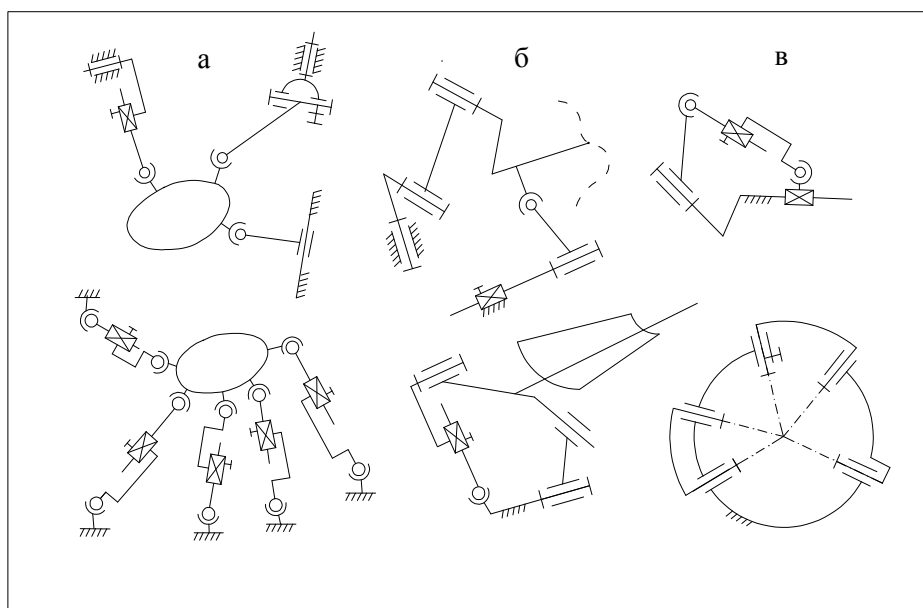


Рис. 2. Многофункциональные механизмы: а- перемещающие; б – направляющие; в - передаточные

Таблица 2

Заданные положения тела

	i	X_{o_i}	Y_{o_i}	Z_{o_i}	$\psi_i(^{\circ})$	$\theta_i(^{\circ})$	$\varphi_i(^{\circ})$
1-й набор	1	2,416	6,729	6,748	88,35	132,76	223,57
	2	1,523	5,934	6,492	110,95	141,87	220,58
	3	1,073	5,225	6,282	121,54	136,36	220,49
	4	0,447	4,018	5,779	130,23	111,07	221,90
	5	0,555	4,005	5,866	129,56	87,58	228,41
	6	0,965	5,096	6,159	116,71	68,29	239,02
2-й набор	7	0,576	7,886	6,249	143,04	161,90	257,25
	8	0,884	8,379	6,129	192,89	168,43	298,85
	9	1,297	8,961	6,112	233,39	166,92	330,14
	10	0,810	8,363	6,220	210,17	164,91	292,33
	11	-0,226	6,357	6,136	183,57	146,10	254,47
	12	-0,739	4,848	5,849	171,75	121,19	246,78

Таблица 3

Искомые параметры механизма 5 (СПС)

j	1	2	3	4	5
X_{A_j}	4,797	0,935	-2,724	2,815	4,513
Y_{A_j}	5,200	7,974	-6,342	-5,263	5,503
Z_{A_j}	-0,015	-2,241	7,567	-4,208	12,127
x_{B_j}	0,236	1,193	0,300	18,521	5,337
y_{B_j}	0,144	0,155	-0,100	-5,628	-5,390
z_{B_j}	0,275	0,658	7,201	0,386	2,094
R_{1_j}	6,968	8,219	17,342	9,351	9,241
Δ_{1_j}	0,011	0,020	0,022	0,014	0,007
R_{2_j}	7,797	7,587	18,310	8,286	10,004
Δ_{2_j}	0,021	0,022	0,026	0,014	0,023

Заключение. Системы легко механизированных эквидистантных образов – сфер, плоскостей, конусов и т.п., рассмотренные в статье, позволяют построить геометрические модели, используемые при синтезе простых диад с одним регулируемым параметром. Как показано, квадратический синтез регулируемых диад сводится к поиску в теле элементов, наименее отклоняющихся в заданных наборах положений от совокупности эквидистантных геометрических образов, и осуществляется с помощью итерационной процедуры последовательного решения двух систем линейных уравнений. В результате определяются

значения постоянных и набор значений регулируемых параметров диад типа СПС, ВВС, ПВС, ВПС и пр., используемых для построения реконфигурируемых, манипуляционных и других механизмов многофункционального назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Miyahara K., Chirikjian G.S.** General Kinematic Synthesis Method for a Discretely Actuated Robotic Manipulator (D-ARM) // Proc. of IEEE/RSI International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2006, October 9-15. - Beijing, China, 2006. - P.5889-5894.
2. **Chirikjian G.S.** A binary paradigm for robotic manipulators // Proc. IEEE International Conference Robotics and Automation. - May, 1994. - P.3063-3069.
3. **Chirikjian G.S.** Kinematic Synthesis of Mechanisms and robotic manipular with binary actuators // ASME Journal of Mechanical Design. - 1995. - 117. - P. 573-580.
4. **Hafe M., Lichter M.D., Dubovski S.** Optimized binary modulator reconfigurable robotic devices // IEEE/ASME Trans. on Mechatronics. - March, 2003. - Vol.8, N1. - P. 18-25.
5. **Саркисян Ю.Л., Егишян К.М., Харатян А.Г., Шагинян С.С.** Синтез манипуляционных механизмов дискретного действия с минимальным числом степеней свободы // Труды X Всепольской конференции по теории машин и механизмов. - Варшава 1984. - С. 357-362.
6. **Sarkissyan Y.L., Kharatyan A.G., Egishyan K.M., Parikyan T.F.** Synthesis of Mechanisms with Variable Structure and Geometry for Reconfigurable Manipulation Systems // Proc. of the ASME/IFTOMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots, ReMAR-2009, June 22-24. 2009. - King's College London, UK, 2009. - P. 195-199.
7. **Харатян А.Г.** Проектирование переналаживаемых манипуляционных механизмов с минимальным числом действующих приводов // Вестник НТУ "ХПИ": Сборник научных трудов. Тематический выпуск "Технология в машиностроении. - Харьков, НТУ "ХПИ", 2005. - N12. - С. 89-91.
8. **Харатян А.Г.** Алгоритм создания и синтеза пространственных переналаживаемых манипуляционных механизмов // Материалы Межд. научно-практич. конференции "Информационные технологии, наука, техника, технология, просвещение, здоровье", посвященной 100-летию со дня рождения М.Ф.Семко. - Харьков: Изд. "Курсор", 2006. - С. 153-156.
9. **Саркисян Ю.Л.** Аппроксимационный синтез механизмов. - М.: Наука, 1982. - 304 с.
10. **Саркисян Ю.Л.** и др. Унифицированные итерационные методы аппроксимационного синтеза механизмов для управляемого перемещения твердого тела // Машиноведение 1. - М., 1987. - С. 68-76.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.07.2009.

ՅՈՒ. Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Տ.Ֆ. ՓԱՐԻԿՅԱՆ, Ա. Գ. ԽԱՌԱՏՅԱՆ

**ՎԵՐԱԿՈՆՖԻԳՈՒՐԱՑՎՈՂ ԴԻՍԿՐԵՏ ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՄՈՏԱՐԿՈՒՄՅԻՆ
ՄԻՆԹԵԶ ԿԱՐԳԱՎՈՐՎՈՂ ԴԻԱԴՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Դիտարկված են հավասարառիտ երկրաչափական տեղերի որոշ տիպեր, որպես մեկ կարգավորվող պարամետրով դիադների երկրաչափական մոդելներ: Շարժվող մարմնին ամրացված գծերի կամ կետերի(տարրեր) բազմությունները կարող են մոտարկվել հեշտ մեխանիզացվող երկրաչափական տեղերով, ինչպիսիք են համակենտրոն գնդերը, զուգահեռ հարթությունները և համառանցք կոները: Իրականացվել է կարգավորվող ՍՀՄ, ՀՊՄ և այլ տիպերի դիադների կշռային քառակուսային մոտարկումով կինեմատիկական սինթեզ՝ հիմնված հաջորդական գծային մոտարկումների և կինեմատիկական հակադարձման վրա: Այս դիադները կարող են օգտագործվել որպես կառուցվածքային մոդուլներ վերականգնագրվող մանիպուլյատորների և այլ բազմաֆունկցիոնալ համակարգերի նախագծման ժամանակ:

Առանցքային բառեր. մոտարկումային սինթեզ, դիսկրետ մանիպուլյատոր, վերականգնագրվող մանիպուլյատոր, կարգավորվող դիադ, ներկշռային քառակուսային մոտարկում:

Yu.L. SARKISSYAN, T.F. PARIKYAN, A.G. KHARATYAN

**APPROXIMATION SYNTHESIS OF RECONFIGURABLE DISCRETE
MANIPULATORS BASED ON ADJUSTABLE DYADS**

Some types of equidistant loci are considered as geometric models for a number of spatial dyads with one adjustable parameter. Sets of lines or points (elements) fixed to the moving body can be approximated by easily mechanized loci such as concentric spheres, parallel plans and coaxial cones. The least-square kinematic synthesis of adjustable SPS, PRS, etc. dyads is realized by an iterative method based on successive linear approximations and kinematic inversion. These dyads can be used as structural modules in the design of reconfigurable manipulators and other multifunctional systems.

Keywords: approximation synthesis, discrete manipulator, reconfigurable manipulator, adjustable dyads, least-square approximation.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԱՍՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է չոր և սահմանային շփման պայմաններում աշխատող պղնձի հիմքով և պողպատյա թելքերով ամրանավորված նոր դասի հակաշփական փոշեհամաձուլվածք, որտեղ որպես պինդ քսանյութ օգտագործվել է տեղական արտադրության մոլիբդենի դիսուլֆիդը: Հետազոտվել են մշակված $\text{Cu} + \text{Ni} + \text{X18H9T} + \text{MoS}_2$ համաձուլվածքի հակաշփական հատկությունները չոր և սահմանային շփման պայմաններում: Կատարվել է երկրորդային կառուցվածքի քիմիական և ֆազային բաղադրությունների ուսումնասիրություն: Այն աչքի է ընկնում անընդհատությամբ և ավելի մեծ երկարակեցությամբ:

Առանցքային բառեր. պղինձ, նիկել, պողպատյա թելք, պինդ քսանյութ, փոշեհամաձուլվածք, չոր շփում, սահմանային շփում, երկրորդային կառուցվածք, մաշվածք, շփման գործակից, ամրություն, կարծրություն:

Ինչպես հայտնի է [1, 2], վերջին տարիներին մեծ տարածում են գտել սև և գունավոր մետաղների հիմքով ծակոտկեն հակաշփական նյութերը, որոնք, ունենալով փոքր ամրություն և մաշակայունություն, չեն կարող աշխատել մեծ ճնշումների (10 ՄՊա-ից ավելի) և արագությունների (4...10 մ/վրկ ավելի) պայմաններում: Դա պայմանավորված է մեծ բեռնվածությունների տակ ծակոտկեն նյութերի կաշտողունակությամբ, որն ի հայտ է գալիս մեծ արագությունների դեպքում և ուղեկցվում է հակաշփական թաղանթի քայքայմամբ կամ օքսիդացմամբ, իսկ որոշ դեպքերում՝ ծակոտկեն մայրակի մեջ ներծծմամբ: Հաճախ կոնտակտային տեղամասում տեղի է ունենում ջերմաստիճանի կտրուկ բարձրացում, որի հետևանքով տեղի է ունենում ամրության և մաշակայունության կտրուկ անկում:

Մյուս կողմից՝ շփումը և մաշումն ուղեկցվում են ոչ միայն առաձգական և պլաստիկ դեֆորմացիաներով, այլ նաև մակերևութային շերտում ֆազային փոխակերպություններով: Այստեղից հետևում է, որ շփվող զույգերի աշխատանքի արդյունավետությունը պայմանավորված է ոչ միայն նյութի սկզբնական կառուցվածքով, այլ նաև շփման մակերևութին առաջացած երկրորդային կառուցվածքով: Ինչպես երևում է, խնդրի դրական լուծումը հնարավոր է այն դեպքում, երբ նախնական և երկրորդային կառուցվածքների միջև ստեղծվի կայուն հարաբերակցական կապ, որը կհանգեցնի շփման և մաշման գործընթացների ռացիոնալ կառավարման:

Այս առումով փոշեմետալուրգիան ձեռք է բերել և պահպանում է կարևորագույն նշանակություն և մինչև այսօր մնում է հակաշփական կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման հեռանկարային եղանակներից մեկը:

Ելնելով վերոհիշյալից, աշխատանքի նպատակն է՝ մշակել պղնձի հիմքով ամրանավորված բարձրամուր և մաշակայուն հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիա և հետազոտել հակաշփական ու ֆիզիկա - մեխանիկական հատկությունները:

Օպտիմալ բաղադրության ընտրման նպատակով ուսումնասիրվել է աշխատանքային պայմանների (չոր, սահմանային, քսուքի առկայությամբ շփում, $P=0,5...20$ ՄՊա բեռնվածության ներքո) և բաղադրիչների տոկոսային պարունակության ազդեցությունը հակաշփական հատկությունների վրա:

Կոմպոզիցիոն նյութերի քիմիական բաղադրություններն ու փորձարկումների արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում, որի համաձայն լավագույն արդյունքները ստացվել են $Cu+12\%Ni+15\%X18H9T+6\%MoS_2$ բաղադրության կոմպոզիցիայի դեպքում:

Աղյուսակ 1

$Cu+Ni+X18H9T+MoS_2$ փոշեհամաձուլվածքների քիմիական կազմն ու փորձարկումների արդյունքները

Պարունակությունը, %				Բեռնվածությունը, ՄՊա							
Թ	Ni	X18H9T	MoS ₂	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
1	6	15	6	<u>0,18</u> 26	<u>0,16</u> 27	<u>0,15</u> 28	<u>0,15</u> 30	<u>0,16</u> 35	<u>0,20</u> 46	<u>0,22</u> 65	<u>0,30</u> 95
2	18	15	6	<u>0,24</u> 12	<u>0,24</u> 13	<u>0,22</u> 14	<u>0,20</u> 15	<u>0,21</u> 18	<u>0,25</u> 20	<u>0,26</u> 23	<u>0,38</u> 34
3	12	20	6	<u>0,20</u> 35	<u>0,19</u> 35	<u>0,17</u> 37	<u>0,17</u> 42	<u>0,18</u> 52	<u>0,21</u> 76	<u>0,23</u> —	<u>0,35</u> —
4	18	20	6	<u>0,28</u> 20	<u>0,27</u> 20	<u>0,26</u> 24	<u>0,25</u> 27	<u>0,27</u> 30	<u>0,28</u> 38	<u>0,34</u> 49	<u>0,5</u> 74
5	12	15	3	<u>0,37</u> 30	<u>0,37</u> 31	<u>0,39</u> 33	<u>0,39</u> 35	<u>0,41</u> 40	<u>0,48</u> 57	<u>0,67</u> —	—
6	12	15	6	<u>0,18</u> 8	<u>0,17</u> 9	<u>0,15</u> 23	<u>0,15</u> 9	<u>0,14</u> 11	<u>0,16</u> 12	<u>0,17</u> 15	<u>0,26</u> 22
7	12	15	9	<u>0,26</u> 12	<u>0,25</u> 13	<u>0,24</u> 14	<u>0,24</u> 15	<u>0,25</u> 18	<u>0,26</u> 23	<u>0,34</u> 35	<u>0,42</u> 56

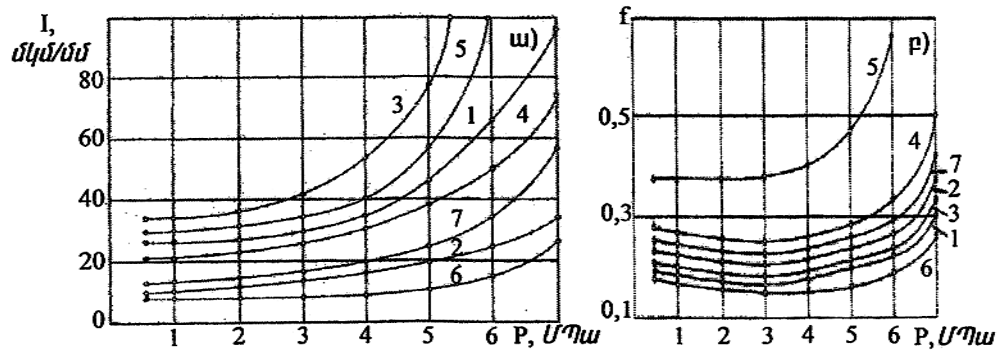
Համարիչում շփման գործակիցն է, հայտարարում՝ մաշվածքը (*մկմ/կմ*)

Համաձուլվածքի երկարակեցության բարձրացման համար այն լեզվրվել է նիկելով, որը մասամբ լուծվում է մայրակի մեջ՝ բարձրացնելով վերջինիս ամրությունը: Նիկելի մնացած մասը միանում է MoS_2 -ի քայքայման հետևանքով անջատված ծծմբի հետ, առաջացնելով սուլֆիդներ, որոնք օժտված են բարձր հակաշփական և մեխանիկական հատկություններով:

Նկար 1-ում բերված է մաշվածքի և շփման գործակցի կախվածությունը բեռնվածությունից: Կորերն ունեն երեք բնութագրական մասեր. առաջինը ինկուբացիոն կամ անցումային, երկրորդը՝ կայունացման, երրորդը՝ քայքայման: Բեռնվածության աճով շփման գործակիցն իջնում է մինչև կայունանալը. սա ինկուբացիոն հատվածն է, որը համապատասխանում է մակերևույթների հարմարեցմանը: Հնշման, հետևաբար և շփման մակերևույթի ջերմաստիճանի մեծացումով հեռացվում են աղսորբցված գազերը և խոնավությունը, հեշտանում է պինդ քսուքի տեքստուրացման գործընթացը, ինչը բերում է աղապտացիոն էֆեկտի: Նորմալ աշխատանքային ռեժիմը բնութագրվում է շփման կայուն գործակցով և թույլատրելի մաշվածքով, որն իրագործվում է շփման մակերևույթների վրա

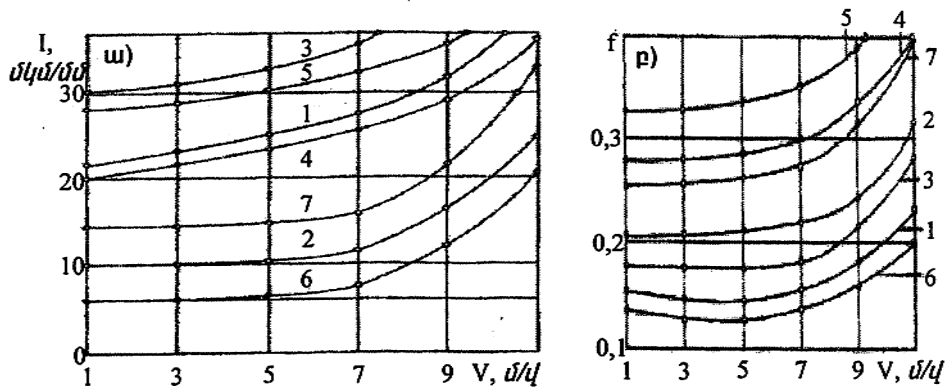
ամուր երկրորդային կառուցվածքների առաջացման շնորհիվ: Շփման գործակցի մեծացումն ու կատաստրոֆիկ մաշումը (երրորդ հատված) վկայում են բռնման գործընթացների զարգացման մասին:

Ինչպես տեսնում ենք (նկ. 1 և 2), համաձուլվածքներն աչքի են ընկնում բարձր հակաշփական հատկություններով:



Նկ. 1. Մաշվածության (ա) և շփման գործակցի (բ) կախվածությունը բեռնվածությունից ($V=1$ մ/վ)

1. $\text{Cu}+6\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$, 2. $\text{Cu}+18\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
3. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+20\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$, 4. $\text{Cu}+18\%\text{Ni}+20\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
5. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+3\%\text{MoS}_2$, 6. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
7. $\text{Cu} + 12\%\text{Ni} + 15\%\text{X18H9T} + 9\%\text{MoS}_2$

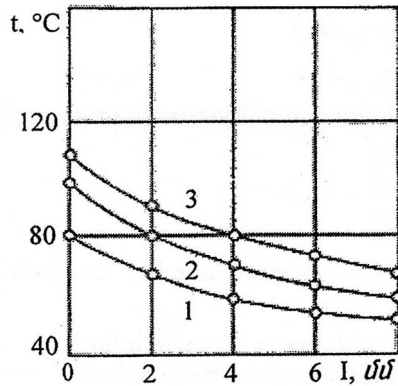


Նկ.2. Մաշվածության (ա) և շփման գործակցի (բ) կախվածությունը սահքի արագությունից $P=1$ ՄՊա բեռնվածության ներքո, $\tau = 1$ ժամ

1. $\text{Cu}+6\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$, 2. $\text{Cu}+18\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
3. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+20\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$, 4. $\text{Cu}+18\%\text{Ni}+20\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
5. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+3\%\text{MoS}_2$, 6. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
7. $\text{Cu} + 12\%\text{Ni} + 15\%\text{X18H9T} + 9\%\text{MoS}_2$

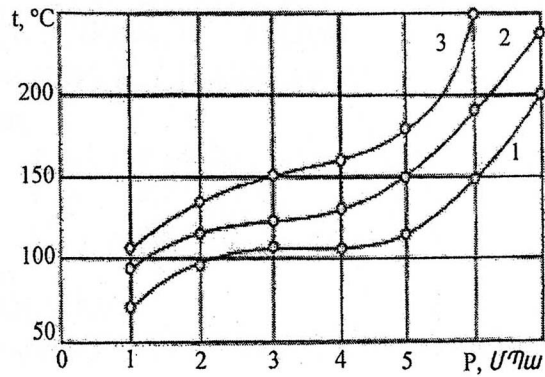
Շփման մակերևույթի վրա ջերմաստիճանը չափվել է արհեստական ջերմագույգով [3], որի արդյունքները բերված են նկ. 3-ում: Նկ. 4-ից երևում է, որ շփման մակերևույթի վրա ջերմաստիճանի կտրուկ աճը համընկնում է նյութի կատաստրոֆիկ քայքայման հետ:

Փորձարկումները ցույց են տվել, որ 50...60°C ջերմաստիճաններում և մինչև 1,0 ՄՊա բեռնվածության տակ մակերևութային թաղանթն առաջանում է դանդաղ, իսկ ջերմաստիճանի բարձրացումը մինչև 70...100°C հանգեցնում է թաղանթառաջացման արագացմանը: Թաղանթի հաստությունը կազմում է 5...20 մկմ:



Նկ.3. Ջերմաստիճանի բաշխվածությունն ըստ շփող մակերևույթի խորության ($V=1 \text{ մ/վ}$, $P=2,0 \text{ ՄՊա}$)

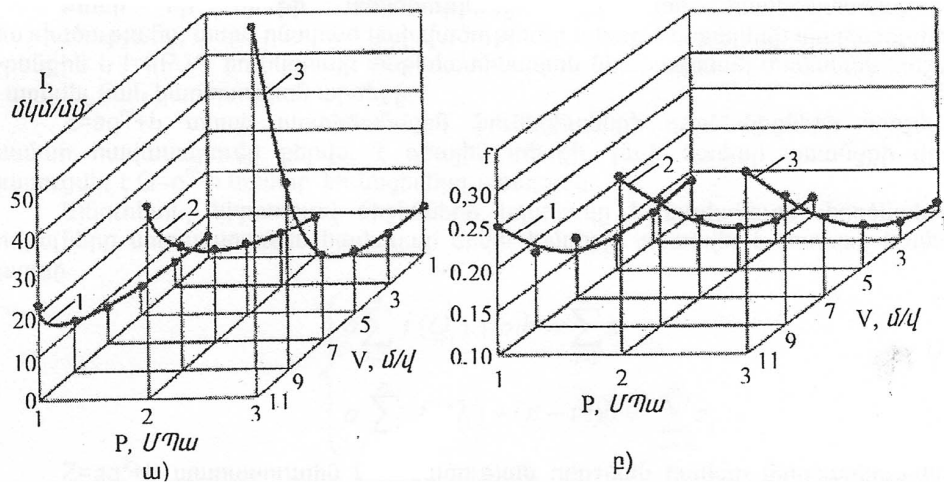
1. $\text{Cu}+6\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
2. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
3. $\text{Cu}+18\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$



Նկ.4. Ջերմաստիճանի կախվածությունը բեռնվածությունից շփման մակերևույթի վրա ($V=1 \text{ մ/վ}$)

1. $\text{Cu}+6\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
2. $\text{Cu}+12\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$
3. $\text{Cu}+18\%\text{Ni}+15\%\text{X18H9T}+6\%\text{MoS}_2$

Կայուն շփման պայմաններում $I=f(P, V)$ ֆունկցիան առաջին կարգի կոր է (նկ. 5):



Նկ.5. Մաշվածքի (ա) և շփման գործակցի (բ) կախվածությունը սահքի արագությունից և բեռնվածությունից (չոր շփում)

Մեկ գծի վրա չընկած երեք՝ $k_1(x_1, y_1, z_1)$, $k_2(x_2, y_2, z_2)$ և $k_3(x_3, y_3, z_3)$ տրված կետերով անցնող հարթության հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0 : \quad (1)$$

Տվյալ դեպքում ընտրված կետերի կոորդինատներն են՝

$$\begin{aligned} k_1(x_1, y_1, z_1) &= N_1(V_1, P_1, I_1) = (1; 1; 0, 2), \\ k_2(x_2, y_2, z_2) &= N_2(V_2, P_2, I_2) = (3; 1; 0, 4), \\ k_3(x_3, y_3, z_3) &= N_3(V_3, P_3, I_3) = (3; 2; 1, 0): \end{aligned} \quad (2)$$

Տեղադրելով արժեքները, կարելի է գրել՝

$$\begin{vmatrix} x - 1 & y - 1 & z - 0,2 \\ 2 & 0 & 0,2 \\ 2 & 1 & 0,8 \end{vmatrix} = 0 : \quad (3)$$

Լուծելով հավասարումը՝ ստանում ենք.

$$I = 0,1V + 0,6P - 0,5 : \quad (4)$$

Սահմանային արժեքները գերազանցող ռեժիմներում $I=f(P, V)$ ֆունկցիայի վերականգնման համար ընդունվել է

$$\ell n I = a_0 + a_1 \ell n V + a_2 \ell n P \quad (5)$$

տիպի մաթեմատիկական մոդել: Արդյունքները մշակվել են փոքրագույն քառակուսիների եղանակով՝ ԷՀՄ-ի միջոցով: Որոշելով մոդելի a_0 , a_1 , a_2 անհայտ պարամետրերը՝ ստացվել է ֆունկցիայի հետևյալ տեսքը՝

$$I = \frac{V^{2,8850} \cdot P^{1,2968}}{e^{3,7196}} : \quad (6)$$

Քանի որ նյութի կարծրությունը հակադարձ համեմատական է մաշվածությանը, ապա ընտրած կախվածությունը պետք է ենթարկվի պարաբոլային օրենքին և $I=f(P, V)$ ֆունկցիայի մաթեմատիկական նկարագրման ժամանակ հաշվի է առնվել նաև կարծրության արժեքը:

$Z=aq^m+b$ տիպի աստիճանային ֆունկցիաների գործակիցների որոշման համար հավասարումը բերվել է գծային տեսքի, ինչի համար առանցքի վրա կառուցվել է $Q=q^m$ -ի համար ֆունկցիոնալ սանդղակ:

Այնուհետև, կիրառելով միջինների եղանակը և բաժանելով փորձնական տվյալները մոտավորապես հավասար երկու խմբերի՝ ստացվել է հետևյալ համակարգը.

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^m f(Q_i) + mb = \sum_{i=1}^m z_i \\ a \sum_{i=m+1}^n f(Q_i) + (n-m)b = \sum_{i=m+1}^m z_i : \end{cases} \quad (7)$$

$Z=aq^2+b$ պարաբոլային կախվածության որոշման համար փորձարկումների արդյունքների հիման վրա կազմվել է աղյուսակ 2-ը:

a և b գործակիցների որոշման համար կիրառվել է վերը նշված հավասարումների համակարգը: Տեղադրելով համապատասխան արժեքները՝ ստացել ենք՝

$$\begin{cases} 159 \cdot 10^4 a + b = 1,25, \\ 45 \cdot 10^4 a + b = 2,44 \end{cases} \quad (8)$$

Աղյուսակ 2

Մաշվածության հաշվարկային արժեքները և փորձարկումների արդյունքները

HB	μ_{d}	μ_{p}	P	V	$I_{\text{փորձ}}$	$I_{\text{հաշվ}}$
1500	2320	6440	2	1	0,7	0,8
			3	1	1,2	1,4
			2	3	1,0	1,0
			1	5	0,8	0,6
			3	7	41,1	36,6
			1	9	12,5	14,6
			2	9	30,2	37,0
			1	11	30,0	22,7
			3	11	100,0	99,3

համակարգը, որտեղից $a = -0,0104 \cdot 10^4$, $b = 2,908 \cdot 10^4$: Հետևաբար՝

$$z = -0,0104 \cdot 10^4 \cdot q^2 + 2,908, \quad (9)$$

$$z = -0,0104 \cdot 10^4 \cdot HB^2 + 2,908:$$

[4] աշխատանքում հարաբերական մաշվածության կախվածությունը կարծրությունից և ֆազերի միկրոկարծրությունից ներկայացված է

$$Z = [f(HB)]^k \frac{\mu_{\text{d}}}{\mu_{\text{p}}} \quad (10)$$

տեսքով, որտեղ μ_{d} -ն, μ_{p} -ն՝ մայր ֆազի և մետաղաթելքի միկրոկարծրություններն են:

Տեղադրելով համապատասխան արժեքները՝ կստանանք՝

$$Z = \left(-\frac{0,0104 HB^2}{10^4} + 2,9080 \right)^{\frac{2,8 \cdot \mu_{\text{d}}}{\mu_{\text{p}}}} : \quad (11)$$

Արդյունքում ստացվել է չոր շփման ժամանակ մաշվածության որոշման բանաձևը վերջնական տեսքով՝

$$I = \left(-\frac{0,0104 HB^2}{10^4} + 2,9080 \right)^{\frac{2,8 \cdot \mu_{\text{d}}}{\mu_{\text{p}}}} \cdot (0,1V + 0,6P - 0,5), \quad (12)$$

$$I = \left(-\frac{0,0104HB^2}{10^4} + 2,9080 \right)^{\frac{2,8 \cdot \mu_{\delta}}{\mu_p}} \cdot \left(\frac{V^{2,8850} \cdot P^{1,2968}}{e^{3,7196}} \right), \quad (13)$$

որտեղ I-ն մաշվածքի մեծությունն է, մկմ/կմ, HB –ն՝ նյութի կարծրությունը, $U\eta w$, P՝ տեսակարար բեռնվածությունը, $U\eta w$, V՝ սահքի արագությունը, մ/վ, μ_{δ} ՝ մայրակի միկրոկարծրությունը, $U\eta w$, μ_p ՝ մետաղաթելքի միկրոկարծրությունը, $U\eta w$:

Ինչպես երևում է աղյուսակ 2-ից, բանաձևով որոշված մաշվածության արժեքների և փորձարկումների արդյունքների տարբերությունն աննշան է, ուստի բանաձևը կարելի է կիրառել գործնական հաշվարկների համար:

Հակաշփական հատկությունների ուսումնասիրություններն իրականացվել են շփման CMX-2 մեքենայի վրա: Ընտրվել են փորձարկումների հետևյալ ռեժիմներ՝ շփման տեսակը՝ սահքի, արագությունը 1-ից մինչև 6 մ/վ, բեռնվածությունը 1...20 $U\eta w$, շփման միջավայրը՝ սահմանային շփում: Շփումն իրականացվել է անշարժ կոճղակ-պտտվող սկավառակ սխեմայով: Որպես անշարժ կոճղակ օգտագործվել են ուղղանկյունաձև անձակոտկեն կոճղակներ (0,5 սմ² բանվորական մակերեսով): Հակամարմին է հանդիսացել պողպատ 45-ից պատրաստված գլանիկը (HRC 50-52): Բեռնվածությունը փոփոխվել է աստիճանաբար՝ 1 $U\eta w$ քայլով և յուրաքանչյուր բեռնվածության տակ մինչև շփման գործակցի և մաշվածքի կայունացումը պահումով: Բեռնվածության յուրաքանչյուր աճի ժամանակ գրանցվել են շփման ուժն ու մաշվածքը:

Աղյուսակ 3-ում բերված են բեռնվածության և սահքի արագության ազդեցությունը շփման գործակցի և մաշվածության վրա: Սահքի արագության մեծացումով շփման գործակցիցը փոքրանում է, այնուհետև՝ կայունանում: Շփման գործակցի փոփոխության բնույթը կապված է ֆրիկցիոն տաքացման հետ, որը բերում է քսուքային մասնիկների վերակոդմորոշմանը և շփվող մակերեսի վրա բազային հարթություններով դասավորմանը: Բազային հարթությունները շփման ուղղությամբ ունեն ցածր ամրություն, ինչը հանգեցնում է սկզբնական փուլում շփման գործակցի փոքրացմանը: Ջերմակայունության ջերմաստիճանի գերազանցման և թաղանթի քայքայման հետևանքով դիտվում է շփման գործակցի աճ:

Աղյուսակ 3

Տեսակարար բեռնվածության (P) և սահքի արագության (V) ազդեցությունը շփման գործակցի (f) և մաշվածության (I) վրա (սահմանային շփում)

P	f	I	f	I	f	I
$U\eta w$		մկմ/կմ		մկմ/կմ		մկմ/կմ
	V=1մ/վ		V=2մ/վ		V=3մ/վ	
5	0,025	0,50	0,023	1,1	0,021	1,8
10	0,025	0,10	0,021	1,4	0,020	2,0
15	0,025	0,80	0,021	1,7	0,020	2,2
	V=4մ/վ		V=6մ/վ			
5	0,021	2,6	0,022	2,8		
10	0,020	2,7	0,022	3,0		
15	0,020	2,8	0,580	21,0		

Ջերմաստիճանի, ճնշման և դեֆորմացիաների ազդեցության տակ տեղի են ունենում դիֆուզիոն և ադսորբցիոն գործընթացներ, որոնք զուգորդվում են շփվող մակերևույթների միջավայրի և քսանյութերի հետ փոխազդեցությամբ:

Չոր շփման պայմաններում հետերոգեն կառուցվածքով նյութի աշխատանքը կարելի է բացատրել հետևյալ կերպ: Նյութի հարմարեցումից հետո արտաքին բեռնվածությունն իր վրա է վերցնում առավելագույն միկրոկարծրություն ունեցող ֆազը: Արտաքին բեռնվածության ազդեցության տակ նախ դեֆորմացվում է ավելի ցածր միկրոկարծրություն ունեցող մայրակը: Կոնտակտի մակերևույթների վրա շփման ուժերի ազդեցության տակ պինդ քսուքի ներկայությամբ տեղի է ունենում երկրորդային կառուցվածքների առաջացում, որով ապահովվում է մեխանիկական հասկությունների դրական գրադիենտ: Մաշվածությունը և շփման գործակիցը փոքրացնող բաժանարար թաղանթների առաջացմանը նպաստում է պինդ քսուքի սահքի ցածր լարումը: Սահքը կարող է տեղի ունենալ հետևյալ պայմանի դեպքում [5].

$$P \cos(90 - \varphi) + F \geq Q_0 \alpha - \tau_G + \tau_S, \quad (14)$$

որտեղ $p=qk$ -ն միավոր մակերեսի վրա բեռնվածությունն է (q -արտաքին բեռնվածությունն է մեկ միավոր կարծր ֆազի վրա, k -ն՝ կարծր ֆազերի քանակը միավոր մակերեսի վրա), F -ը՝ շփման ուժը, Q_0 -ն՝ քսուքային շերտի սահքի դիմադրությունը, α -ն՝ ընդհանուր մակերեսի բաժնեմասը, որտեղ տեղի է ունեցել կամրջակների առաջացում, τ_G -ն՝ սահքի ժամանակ նյութի ամրացմամբ պայմանավորված բեռնվածությունը, τ_S -ը՝ ջերմաստիճանային լարումը:

Շփման զույգերի դեֆորմացումից խուսափելու համար բեռնումը պետք է իրականացվի առաձգական գոտում: Օգտագործելով առաձգականության տեսությունը, համաձայն որի ուժի և դեֆորմացման միջև գոյություն ունի հետևյալ կապը, ստացվել է՝

$$\varepsilon = 1.231 \sqrt{(q_i / E)^2 \cdot (1 / R)}, \quad (15)$$

որտեղ ε -ը միավոր հատիկի վրա ազդող արտաքին q_i ուժի ազդեցության տակ մայրակի դեֆորմացիան է, E -ն՝ մայրակի առաձգականության մոդուլը, R -ը՝ կարծր մասնիկի տրամագիծը:

Շփման հանգույցում ընդհանուր թույլատրելի բեռնվածությունը որոշվում է

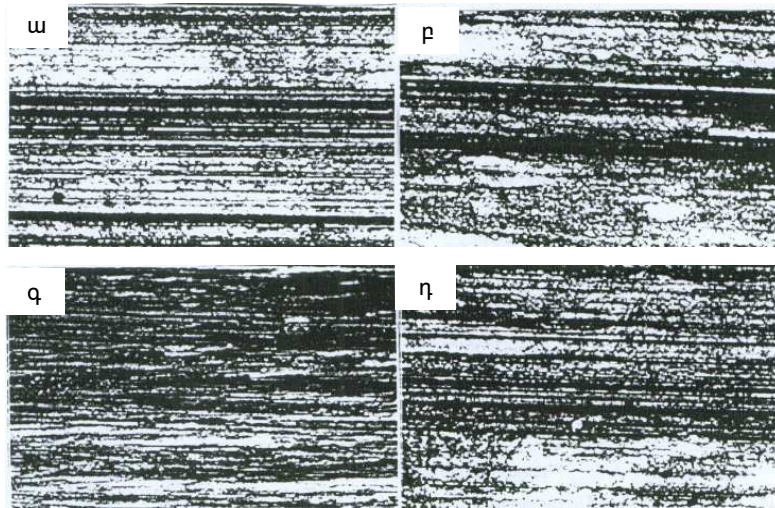
$$Q = \frac{18d^2 a^2 I \sigma_h^3}{E^2 \delta \pi^2 (1 + f^2)} \quad (16)$$

բանաձևով, որտեղ d -ն գլանական մակերևույթի մակերեսն է, a -ն՝ միավոր մակերեսին ընկնող կարծր մասնիկների գումարային մակերեսը, I -ը՝ փաստացի կոնտակտի երկարությունը, σ_h -ն՝ շփման գոտում տվյալ ջերմաստիճանում նյութի համեմատականության սահմանը, E -ն՝ շփման գոտում տվյալ ջերմաստիճանում մայրակի առաձգականության մոդուլը, δ -ն՝ լիսեռի և իրանի միջև նոմինալ բացակի մեծությունը, f -ը՝ շփման գործակիցը:

5 *ՄՊա* բեռնվածության տակ 4...5 *րոպեի* ընթացքում թաղանթի հաստությունը հասնում է 0,02 *մմ*: Բեռնվածության և սահքի արագության մեծացումով տեղի է ունենում թաղանթի քայքայում, որը զուգակցվում է նյութի կատաստրոֆիկ մաշումով: Ինչպես չոր, այնպես էլ սահմանային շփման պայմաններում թաղանթ է առաջանում նաև հակամարմնի վրա: Թաղանթի հաստությունը չի գերազանցում 0,01...0,02 *մմ*, ընդ որում՝

բեռնվածության և սահքի արագության մեծացման հետևանքով դիտվել են նաև քայքայման հետքեր:

Թաղանթի միներալոգիական վերլուծության արդյունքում հայտնաբերվել են պինդ քսուքի թեփուկներ, որոնք կողմնորոշված են սահքի ուղղությամբ: Դա բացատրվում է նրանով, որ պղնձի սուլֆիդը շերտավոր կառուցվածքով միացություն է և հեշտությամբ ենթարկվում է տեքստուրացման, քանի որ շերտերի միջև կապերի ամրությունը շատ ավելի փոքր է շերտում կառուցվածքային տարրերի կապի ամրությունից: Մակերևույթների քիմիական բաղադրությունները նման են միմյանց և պարունակում են մակրոքանակություններով պղինձ և նիկել: Սահմանային շփման ժամանակ հակամարմինների վրա թաղանթի առաջացումը բացատրվում է նյութի միկրոտեղափոխությամբ [6]: Այն աչքի է ընկնում անընդհատությամբ, ուստի և ավելի մեծ երկարակեցությամբ (նկ. 6):



Նկ.6. Նմուշների (ա, գ) և հակամարմինների (բ, դ) շփվող մակերևույթների միկրոկառուցվածքները չոր (ա, բ) և սահմանային (գ, դ) շփման ժամանակ

Նմուշների ամրությունը, հարաբերական երկարացումը, կարծրությունը և հարվածային մածուցիկությունը որոշվել են ԳՈՍՏ 8905-58, ԳՈՍՏ 1497-84, ԳՈՍՏ 13406-67 և ԳՈՍՏ 26528-85-ի համաձայն:

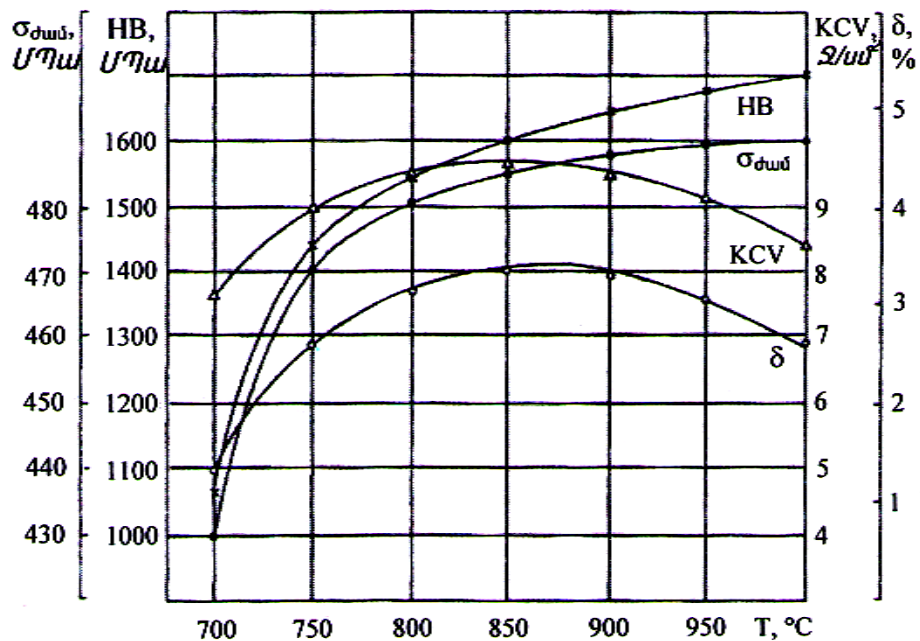
Համաձուլվածքի փորձարկումները ցույց են տվել, որ այն օժտված է բարձր հարվածային մածուցիկությամբ ($KCV=7,8 \text{ Զ/սմ}^2$), ամրությամբ ($(\sigma_{\text{ամ}}=481 \text{ ՄՊա})$), կարծրությամբ ($HB=1500 \text{ ՄՊա}$) և պլաստիկությամբ ($(\epsilon=4,3 \text{ \%})$): Հետաքրքրական են համաձուլվածքի մեխանիկական փորձարկումների արդյունքները՝ կախված տաք արտամղման ջերմաստիճանից: Նմուշները ենթարկվել են տաք արտամղման 700, 800, 900 և 1000°C-ում ($\lambda = 4$): Որոշվել են կարծրությունը, ամրությունը, հարվածային մածուցիկությունը և պլաստիկությունը: Ինչպես երևում է նկ. 7-ից, տաք արտամղման ջերմաստիճանի՝ մինչև 900°C բարձրացման դեպքում կտրուկ աճում են համաձուլվածքի ամրային և պլաստիկ հատկությունները: 900°C-ից բարձր տեղի է ունենում հատիկների աճ և պլաստիկությունը նվազում է:

Հատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում հակաշփական համաձուլվածքի ջերմահաղորդականությունը: Այն չափվել է ստանդարտ եղանակով գլանական նմուշների վրա և հաշվարկվել

$$N = \frac{WL}{\Delta TS} \varphi_{in}/\varphi_{out} \quad (17)$$

բանաձևով [6], որտեղ N -ն ջերմահաղորդականությունն է, W -ն՝ միավոր ժամանակահատվածում անցնող ջերմության քանակությունը, L -ը՝ նմուշի երկարությունը, ΔT -ն՝ նմուշի ջերմաստիճանային գրադիենտը, S -ը՝ նմուշի ընդլայնական հատույթի մակերեսը:

Մշակված համաձուլվածքի ջերմահաղորդականությունը կազմում է մոտ 70 $\varphi_{in}/\varphi_{out}$, մինչդեռ պղնձի հիմքով հայտնի համաձուլվածքներինը մոտ 50...60 $\varphi_{in}/\varphi_{out}$ [1]:



Նկ.7. Համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը եքստրուզիայի ջերմաստիճանից

Կատարված համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակել է պղնձի հիմքով ամրանալուրված հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիա, որն իր մեջ ներառում է մետաղափոշիների և մետաղաթելքերի բաժնեմասերի կշռում, բովախառնուրդի պատրաստում, սառը մամլում, տաք արտամղում, թրծում և մեխանիկական մշակում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы.- Киев: Наукова Думка, 1980.-404с.
2. **Աղբալյան Ս.Գ., Կարապետյան Գ.Խ., Զաքարյան Ա.Հ., Պետրոսյան Ա.Ա., Հովհաննիսյան Ս.Ա.** Չոր և սահմանային շփման պայմաններում աշխատող պլուսինային հակաշփական համաձուլվածքի կառուցվածքի և հատկությունների հետազոտումը // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր.- 2008.- Հատոր 5, №1.- էջ 74-79:
3. **Грановский Г.И., Грановский В.Г.** Резание металлов.- М.: Высшая школа, 1985.-304 с.
4. **Карапетян Г.Х.** Разработка и исследование технологии получения спеченных антифрикционных материалов, содержащих серу и селен, предназначенных для тяжело нагруженных узлов трения: Автореф. дис. ... канд. техн.наук. - Киев, 1975.- 28 с.
5. **Заболотный Л.В.** Распределение напряжений в антифрикционных композиционных материалах // Порошковая металлургия.-1979.- N 11.-С. 51-58.
6. **Крагельский И.В.** Трение и износ.-М.: Машиностроение, 1968.- 478с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.02.2009:

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ПЕТРОСЯН, А.С. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АРМИРОВАННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

В результате комплексных исследований разработан антифрикционный порошковый сплав нового класса на основе меди, армированный стальными волокнами, работающий в условиях сухого и граничного трений. В качестве твердой смазки использован дисульфид молибдена местного производства. Исследованы антифрикционные свойства разработанного сплава Cu+Ni+X18H9T+MoS₂. Изучены химический и фазовый составы вторичной структуры, которая является непрерывной и обладает высокой долговечностью.

Ключевые слова: медь, никель, стальное волокно, твердая смазка, порошковый сплав, сухое трение, граничное трение, вторичная структура, износ, коэффициент трения, прочность, твердость.

S.G. AGHBALYAN, A.A. PETROSYAN, A.S. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN RESEARCH OF PROPERTIES OF THE REINFORCED POWDER ALLOYS ON THE BASIS OF COPPER

As a result of complex researches the antifrictional powder alloy of a new class on the basis of the copper reinforced by steel fibres, working in the conditions of dry and boundary friction is developed. As firm greasing molybdenum disulfide of local manufacture is used. Antifrictional properties of developed alloy Cu+Ni+X18H9T+MoS₂ are investigated. Irradiating chemical and phase contents of secondary structure are studied. It is continuous and possesses high durability.

Keywords: copper, nickel, steel fibre, firm greasing, powder alloy, dry friction, boundary friction, secondary structure, deterioration, friction factor, durability, hardness.

Г.Р. ДРМЕЯН

РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

Приводятся экспериментальные и теоретические результаты исследования методом рентгенодифракционного муара полей деформаций, возникающих в блок-кристалле рентгеновского интерферометра, подвергнутого ионной имплантации, в зависимости от дозы облучения. Исследовано перераспределение напряжений, возникающих в этом блоке интерферометра при его бомбардировке.

Ключевые слова: наноструктура, муар, имплантация, поля деформаций.

Введение. Проблема дефектообразования и влияния дефектов на физико-химические свойства материалов является одной из центральных проблем физики твердого тела на протяжении многих лет. Особенно актуальны эти вопросы для физики полупроводников, т.к. структурные дефекты, наряду с примесями, в сильной степени влияют на электрические, фотоэлектрические и другие свойства полупроводниковых кристаллов.

Создание обобщенной теории дифракции рентгеновских лучей на неидеальных кристаллах открыло возможность детального теоретического и экспериментального исследования явлений динамического рассеяния рентгеновского излучения на упругодеформированных монокристаллах. Одним из наиболее чувствительных методов исследования микроструктуры вещества являются рентгеноинтерферометрические, позволяющие фиксировать малейшие искажения кристаллических решеток исследуемых образцов. Трудности, возникающие при расшифровке интерференционных картин, связаны в основном с отсутствием развитой теории рассеяния рентгеновских лучей в интерферометрических системах со структурно нарушенными кристаллами.

Известно [1-3], что при бомбардировке монокристаллов ионами аргона, неона, азота и углерода большой энергии (80 кэВ ... 3 мэВ) в них возникают радиационные нарушения, сводящиеся, в частности, к изменениям межплоскостных расстояний. Как замечено авторами указанных работ, для участков кристалла, в которые внедрены ионы, имеет место объемное расширение. В [4] указывается, что подобный эффект, т.е. образование дилатации (изменение межплоскостных расстояний), возникает и при создании на кристаллической пластинке температурного градиента, который также ведет к структурным нарушениям кристалла. В [5] показано, что дилатационный муар обнаруживается в случае, когда одна из работающих частей кремниевого рентгеновского интерферометра бомбардируется ионами аргона. В связи с этим интересно исследовать влияние внешнего воздействия (бомбардировки ионами аргона) на степень возникающих при этом структурных несовершенств с помощью изменения периода дилатационных муаровых картин, получаемых при использовании рентгеновского интерферометра, состоящего из трех кристаллических пластинок.

В работе [3] показано, что в случае ионной имплантации одного из блоков рентгеновского интерферометра можно наблюдать дилатационные муаровые полосы. В этой работе изучены поперечные деформации, вызываемые имплантированными в кремний ионами аргона с энергией 80 кэВ, однако отсутствует исходная топограмма, что не дает возможности отделить напряжения, внесенные при имплантации, от имевших место в исходном образце, а также не показана динамика изменения муаровых картин в зависимости от дозы облучения. Поэтому в настоящей работе приводятся экспериментальные и теоретические результаты исследования методом рентгенодифракционного муара полей деформаций, возникающих в кристалле-анализаторе рентгеновского интерферометра, подвергнутого ионной имплантации, в зависимости от дозы облучения. Исследовано также перераспределение напряжений, возникающих в этом блоке интерферометра при его бомбардировке.

Известно [6], что интерференционные картины, полученные от рентгеновских интерферометров, очень чувствительны к структурным нарушениям (дефектам) монокристаллов. Измеряя периоды интерференционных картин, можно с высокой точностью вычислить относительные деформации (дилатации порядка 10^{-8} и малые повороты-ротации порядка 10^{-3} угл. сек) кристаллических решеток облучаемых участков интерферометра с помощью выражений [7]

$$\Delta d / d = d / \Lambda_{\parallel}, \quad \varphi = d / \Lambda_{\perp},$$

где d - период решетки; φ - угол между дифракционными решетками; $\Lambda_{\parallel}$ и $\Lambda_{\perp}$ - периоды соответственно параллельного (дилатационного) муара и муара вращения (ротационного). Эти выражения используются для изучения поля деформаций, возникающих вокруг ростовой дислокации в кремниевом интерферометре [8].

В работе [9] при теоретических расчетах упругая анизотропия тонкой кремниевой пластинки учтена введением трех компонентов модуля Юнга и трех коэффициентов Пуассона. Сначала получены выражения для поперечных напряжений (σ_x и σ_y), затем – для компонентов деформации:

$$\varepsilon_x = \left| \frac{\Delta d_1}{d} \right| = \frac{d}{\Lambda'_D} = \frac{2\beta D}{t_0} \left[\frac{1}{1-\nu_x} - \frac{\nu_x}{1-\nu_y} \right]; \quad \varepsilon_y = \left| \frac{\Delta d_2}{d} \right| = \frac{d}{\Lambda''_D} = \frac{2\beta D}{t_0} \left[\frac{1}{1-\nu_y} - \frac{\nu_y}{1-\nu_x} \right],$$

где d - межплоскостное расстояние; Λ_D - период полос дилатационного муара; D - доза облучения $D = \int_{-t_0/2}^{t_0/2} \psi_D dz$; ψ_D - распределение дефектов, вызванных внедрением ионов;

β - температурный коэффициент расширения; ν_x и ν_y - соответствующие коэффициенты Пуассона; t_0 - толщина пластинки (т.е. толщина анализатора).

Предполагается, что имеем состояние плоского (одномерного) напряжения, т.е. $\sigma_z = 0$.

Так как ось X в нашем случае параллельна направлению $[1\bar{1}0]$, ось Y - направлению $[110]$, а ось Z - направлению $[001]$ (см. рис. 1), то согласно работе [10]:

$$E_x = 1,689 \cdot 10^{11} \frac{H}{M^2}, \quad \nu_x = 0,262, \quad E_y = 1,689 \cdot 10^{11} \frac{H}{M^2},$$

$$\nu_y = 0,0624, \quad E_z = 1,31 \cdot 10^{11} \frac{H}{M^2}, \quad \nu_z = 0,279.$$

Как видно из приведенных числовых значений, $E_x = E_y$. Это объясняется специальной конструкцией интерферометра: он изготовлен так, что поверхности его блоков параллельны двум эквивалентным взаимно перпендикулярным кристаллографическим направлениям $[1\bar{1}0]$ и $[110]$, вдоль которых модули Юнга равны друг другу, коэффициенты Пуассона разные [10].

Далее по предлагаемой нами методике [9] определены величины линейных сил, действующих на единицу длины границы имплантированного слоя в направлении, нормальном к этой границе, а также оценены максимальные локальные напряжения и вычислены величины набухания поверхности кристалла.

Результаты наших исследований стали основой для решения обратной задачи, а именно - восстановление полей механических напряжений в кристаллических блоках интерферометра с помощью расшифровки муаровых картин. Фактически рентгеновская муаровая картина является совокупностью изофазовых линий и обусловлена установившимися структурными нарушениями в блоках интерферометра. Однако если в одном из блоков интерферометра внести дефект определенного типа (например, дислокацию), то поле механических напряжений, возникающее вокруг данного дефекта, приведет к перераспределению фаз между наложенными волнами на входной поверхности анализатора, а изменение муаровой картины будет заключать в себе информацию о механических напряжениях. Следовательно, метод рентгеноинтерферометрического муара дает возможность прямого экспериментального изучения полей механических напряжений, созданных структурными дефектами кристаллической решетки.

Экспериментальная часть. Из высокосовершенного монокристалла кремния был изготовлен трехкристальный интерферометр, толщина каждого кристалла которого 1 мм (рис. 1). Топограммы были получены в камере КРС излучением $MoK\alpha$ от плоскостей (110). Сначала получена исходная интерферометрическая топограмма, т.е. до имплантации (рис. 2).

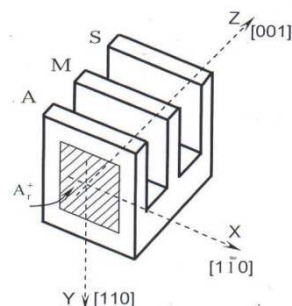


Рис. 1. Трехкристальный рентгеновский интерферометр. Область, подвергнутая ионной бомбардировке, заштрихована



Рис. 2. Исходная топограмма до имплантации

После получения исходной топограммы поверхность анализатора интерферометра подверглась имплантации ионами аргона с энергией 180 кэВ. Суммарная доза менялась в пределах $10^{14} \dots 10^{16}$ ион/см². После каждого акта облучения проводились съемки, в результате чего были получены топограммы, соответствующие различным дозам облучения (рис 3а-в).

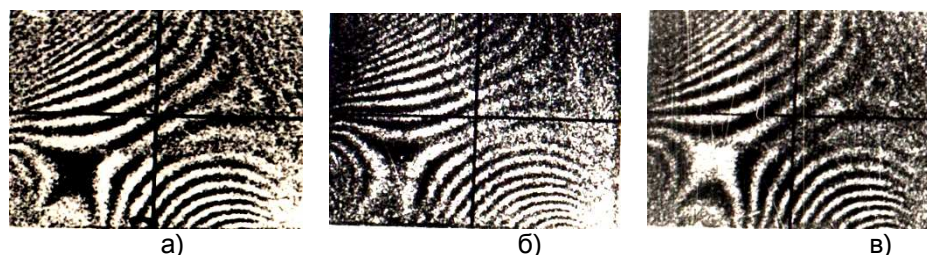


Рис. 3. Топограммы после ионной имплантации для отражения $(2\bar{2}0)$. Доза облучения: а - 10^{14} ион/см²; б - 10^{15} ион/см²; в - 10^{16} ион/см²

Обсуждение результатов. Как видно из топограмм, приведенных на рис. 3а-в, облучение ионами приводит к изменению муаровых полос. С увеличением дозы облучения период муаровых полос сначала уменьшается (деформация увеличивается), а затем увеличивается. Видно, что при имплантации возникают дислокации.

Исходя из интерферометрических топограмм, определены относительные деформации и интегральные напряжения в зависимости от дозы облучения, а также оценены максимальные локальные напряжения и глубина проникновения ионов. В результате расчетов для глубины проникновения ионов аргона с энергией 180 кэВ в кремний получено $\langle \Delta z \rangle = 0,18$ мкм, а максимальное локальное напряжение составляет примерно $10,21 \cdot 10^7$ Н/м².

Анализируя полученные топограммы, можно сделать вывод: в дилатационном муаре дислокация изображается в виде светлой дополнительной полосы или вилки для темных муаровых полос (рис. 3а,б). В смешанном муаре дислокация изображается двумя темными полосами на нижней части топограммы (см. рис. 3в).

Таким образом, можно утверждать, что рентгеновская интерферометрия может быть использована для изучения поперечных напряжений, вызванных ионной бомбардировкой кристаллов кремния. Наблюдаемые на топограмме дилатационные муаровые картины определяются поперечными напряжениями, возникающими на имплантируемой поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bonse U., Hart M., Schuttke G.H.** // Phys. Stat. Sol.-1969. -33. - P.361.
2. **Schuttke G.H., Brack K.** // Z. Naturforsch.- 1973.- 28f.- P.654.
3. **Gerward L.** // Z. Physik.- 1973.- 259.- P. 313.
4. **Дрмеян Г.Р.** // Кристаллография.-2005.- Т. 50, №3. - С. 407-410.
5. **Gerward L., Christiansen G., Lindegaard Andersen A.** // Phys. Lett.- 1972. - 39a, 63.
6. **Эйрамджян Ф.О., Безирганян П.А.** // Изв. АН АрмССР. Физика. – 1970. – 5. - С.453.
7. **Lang A.R.** // Nature. – 1968.- 220, 652.
8. **Christiansen G., Gerward L., Lindegaard Andersen A.** // J. Appl. Cryst.- 1971.- 4, 370.
9. **Drmeyan H.R.** // Applied Crystallography.- 2004.- 37.- P.585-588.
10. **Wortman J.J., Evans R.A.** // J. Appl. Phys.-1965.- 36.- P.153-158.

Гюмрийский государственный педагогический институт. Материал поступил в редакцию 17.11.2008.

Հ.Ռ.ԴՐՄԵՅԱՆ

ՄԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ՌԵՆՏԳԵՆԱԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶՈՓԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Բերված են Ռենտգենյան մուարի եղանակով ռենտգենյան ինտերֆերաչափի բլոկ-բյուրեղում իոնների լեզիրումով առաջացած դեֆորմացիաների դաշտերի հետազոտության տեսական և փորձարարական արդյունքները՝ ճառագայթման դոզայից կախված: Ուսումնասիրված է նաև ինտերֆերաչափի այդ բլոկում ուժակոծման հետևանքով առաջացած լարումների վերաբաշխումը:

Առանցքային բառեր. նանոկառուցվածք, մուար, իմպլանտացիա, դեֆորմացիաների դաշտ:

H.R. DRMEYAN

THE X-RAY INTERFEROMETRICAL INVESTIGATION OF SURFACE LAYERS OF SILICON CRYSTALS

The experimental and theoretical results of the investigation are given by the method of X-Ray diffraction of Moiré deformation fields, arising in the block-crystal of X-Ray interferometers, exposed to ion implantation depending on irradiation dose. The redistribution of stresses appearing in this block of interferometer during its bombardment is also investigated.

Keywords: nanostructure, Moiré, implantation, deformation fields.

М.А. СИРАКАНЯН, Г.Ц. ВАРДЕРЕСЯН, Н. К. ГАСПАРЯН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ

Проведено комплексное изучение сорбции ионов цезия на Co, Cu, Ni- ферроцианид модифицированных вспученных перлитах. Изучена динамика сорбции в статическом режиме. Показана высокая эффективность Cu-ферроцианид модифицированного перлита в сорбции этого радионуклида. Изучено влияние различных факторов на процесс сорбции. Исследована возможность локализации радионуклидов в сточных малоактивных водах ААЭС.

Ключевые слова: вспученный перлит, ферроцианид, сорбция, цезий.

Бурное развитие атомной энергетики вызывает накопление значительных количеств радиоактивных веществ, преимущественно в виде жидких отходов. Однако 30% от общего количества сточных вод АЭС составляют низкоактивные воды спецпрачечных, уровень радиоактивности которых на один-два порядка превышает санитарные нормы [1]. В АЭС спецпрачечные воды перед переработкой обычно объединяют с другими жидкими радиоактивными отходами, например, с душевыми [2]. Их суммарная активность и объем достигают больших величин, что определяет актуальность разработки эффективных сорбционных методов очистки от наиболее радиотоксичных долгоживущих нуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Применение органических смол для этой цели неэффективно ввиду засоленности (более 1...2 г/л) и присутствия поверхностно-активных и моющих веществ [2-4], попадающих в отходы из спецпрачечных. Для решения проблемы дезактивации таких отходов могут использоваться неорганические селективные сорбенты как природного [5], так и искусственного происхождения [3,6,7]. Наибольшее внимание исследователей привлекают синтетические неорганические сорбенты типа фосфатов и ферроцианидов (ФЦ) металлов ввиду их высокой селективности к долгоживущим радионуклидам ^{137}Cs и ^{90}Sr [6,7].

Однако традиционный гелевый метод синтеза указанных соединений не обеспечивает получения сорбентов в виде геометрически правильных, механически прочных сферических гранул, что затрудняет их использование для очистки сточных вод.

Одним из путей решения проблемы повышения эффективности использования ферроцианидных сорбентов является изготовление композиционных сорбционных материалов.

Ранее применялось осаждение ферроцианидов на пористых носителях, например силикагеля [2], синтетических ионообменных смолах [3,4], гранулирование с добавками цемента [5]. Однако во всех предложенных композициях содержание активного компонента остается сравнительно низким, что приводит к невысоким значениям удельной сорбционной емкости, а в ряде случаев - к ухудшению сорбционно-кинетических свойств полученных материалов.

Весьма перспективным является, с нашей точки зрения, вспученный перлит (ВП), модифицированный путем нанесения на его внутреннюю поверхность химических сорбентов, в частности ферроцианидов переходных металлов, обладающих высокой селективностью по отношению к ионам цезия. Отличительная особенность этих сорбентов – высокая плавучесть, химическая и радиационно-химическая устойчивость [6-8]. Кроме того, значительные сорбционные свойства ВП дополняются еще одним уникальным свойством – способностью необратимо поглощать радионуклиды.

В настоящей статье представлены сравнительные исследования сорбции ионов цезия на ВП, модифицированном ферроцианидами меди, кобальта и никеля. Конечной целью является использование этих композиционных сорбентов для дезактивации низкоактивных сточных вод АЭС РА.

Задача весьма актуальна, т.к. применение ВП в качестве матрицы обеспечивает не только технические преимущества, но и является эффективным экологическим решением с использованием местного, дешевого сорбента.

Экспериментальная часть. Модифицирование ВП осуществляли по известной методике путем последовательного ионообменного закрепления на поверхности матрицы ферроцианидного аниона, а затем катионов металлов (Ca, Ni, Co) с образованием композиционного ферроцианидного сорбента.

Исследования проводили в статических условиях из модельных растворов цезия. Для анализа статике межфазного распределения навески сорбентов в количестве один грамм приводили в контакт с раствором при заданных значениях pH, которые корректировали добавлением 1 моль/л растворов NaOH или HCl. Массовое соотношение твердой и жидкой фаз составляло 1:100. По достижении равновесия раствор отделяли от сорбента, а по результатам анализа фильтра рассчитывали количество поглощенного цезия в массовых процентах от исходного.

Зависимость степени извлечения миллиграммовых количеств цезия от времени разными обменниками показана на рис.1.

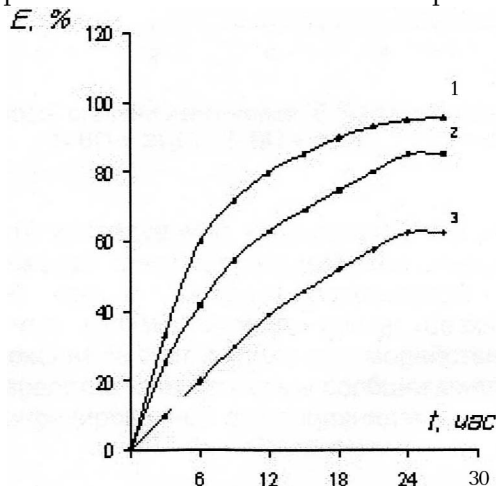


Рис.1. Зависимость степени извлечения цезия от времени на ВП, модифицированных ферроцианидами меди (1), никеля (2), кобальта (3)
(объем модельного раствора 100 мл, pH=7,3 ,
t= 22°C)

Анализ этих кривых показывает, что сорбент на основе ферроцианида меди отличается хорошей кинетикой сорбции. Так, этот сорбент за шесть часов поглощает примерно 60% Cs, а через 24 часа степень извлечения составляет примерно 95,5%.

Эффективность сорбции зависит и от времени перемешивания; уже через 10 часов поглощение составляет примерно 80%. Эти результаты указывают на диффузионный характер процесса, и, скорее всего, кинетика сорбции определяется диффузией ионов в пленке.

Сорбционная активность синтезированных сорбентов по отношению к катиону цезия существенно зависит от pH исходного раствора.

Многочисленные эксперименты показали, что композиционные ионообменники на основе ферроцианидов эффективно поглощают Cs из растворов различного состава в широком интервале pH в статическом режиме. При этом предполагалось, что в условиях низкого значения pH раствора, т.е. в присутствии высоких концентраций ионов водорода, должно происходить вытеснение ионов цезия с поверхности сорбента, и наоборот, при нейтральных и слабощелочных условиях должно происходить максимальное связывание.

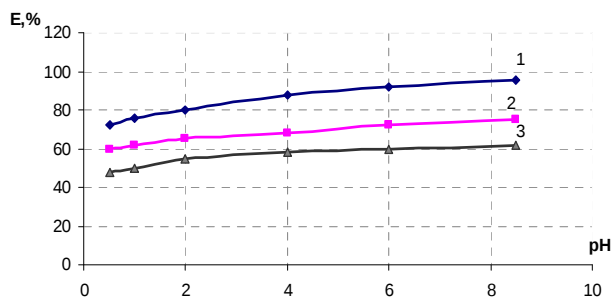


Рис. 2. Зависимость степени извлечения (E, %) от pH модельного раствора цезия:
1- ВП + ФЦCu; 2- ВП + ФЦNi; 3 - ВП + ФЦCo

В результате исследований установлено, что емкость композиционного сорбента, содержащего ферроцианид меди, по отношению к цезию в области pH 9...10 более чем в 1,2 раза повышается. Последние результаты подтверждают, что взаимодействие ионов цезия с синтезированными сорбентами происходит за счет ионного взаимодействия.

На рис.3 представлены изотермы сорбции миллиграммовых количеств цезия на ВП, модифицированных ферроцианидами меди, никеля и кобальта.

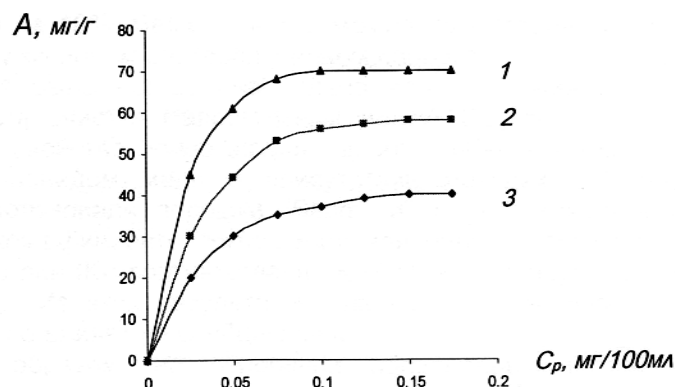


Рис. 3. Изотермы сорбции цезия с ВП, модифицированными ферроцианидами меди (II), никеля(II), кобальта(III) (объем раствора 100 мл, pH=7,3, $t=22^{\circ}\text{C}$)

Как видно из полученных результатов, на всех изотермах отмечается резкий подъем в области малых концентраций цезия и предел насыщения, который позволяет оценить статическую емкость сорбентов в выбранных условиях. Статическая емкость сорбентов по цезию менялась от нескольких миллиграммов до 60...70 мг/г модифицированных ВП. Наиболее высокой степенью сорбции обладают образцы на основе ферроцианидов меди и никеля, их емкость по цезию значительно выше, чем в случае сорбента на основе ферроцианида кобальта.

Из экспериментальных данных рассчитаны также коэффициенты распределения катионов цезия, которые представлены в табл.1.

Таблица 1

Коэффициенты распределения (K_d) и степень извлечения (E) иона цезия на разных сорбентах

Сорбент	K_d , мл/г	E , %
ВП + ферроцианид кобальта	$1,33 \cdot 10^3$	62,5
ВП + ферроцианид меди	$1,45 \cdot 10^3$	95,5
ВП + ферроцианид никеля	$1,36 \cdot 10^3$	85,0

Из представленных данных видно, что коэффициенты распределения цезия на разных модифицированных сорбентах не различаются, несмотря на то, что обмен между ионами цезия и ионами Me (II) сорбента протекает с разными скоростями.

Изучена сорбционная способность сорбентов в солевых системах, в частности, в растворе хлорида аммония. Установлено, что с увеличением концентрации электролита наблюдается снижение величины коэффициента распределения K_d . При содержании в системе хлорида аммония концентраций 50...100 мг/л степень извлечения цезия на вышеуказанном сорбенте уменьшается на 10%. Селективность можно рассматривать как конкурентную борьбу между катионом раствора и ионом сорбента.

Так как была поставлена задача использования модифицированных сорбентов для очистки малоактивных вод ААЭС, то исследовалось также сорбционное свойство более эффективного сорбента – ВП, модифицированного ферроцианидом меди в присутствии моющих средств. В качестве такового использовали порошки “Барф” и “Бинго” в количестве 100 мг/л. Отношение коэффициента поглощения при наличии моющих средств (K_2) и при их отсутствии K_1 – соответственно $K_2/K_1=0,99$ в присутствии “Барфа” и 0,85 – для “Бинго”. Из этих результатов следует, что наличие в растворе ПАВ существенно не влияет на сорбцию цезия.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что при контакте гранул ВП, модифицированного ферроцианидами переходных металлов, в частности меди, никеля и кобальта, происходит переход радиоцезия в гранулы. Во времени идет направленная диффузионно-фильтрационная миграция радиоцезия с поглощением на гранулах перлита.

Полученные данные позволяют предположить, что ВП, модифицированный ферроцианидом меди, обладая хорошими сорбционными параметрами и высокой физико-химической устойчивостью, весьма технологичен и может использоваться для очистки и захоронения радиоактивных отходов.

Результаты исследования опробованы на сточных трапных водах ААЭС на укрупненной установке по следующей схеме (рис.4). Модифицированный вспученный перлит загружали в подготовленную сетчатую корзину.

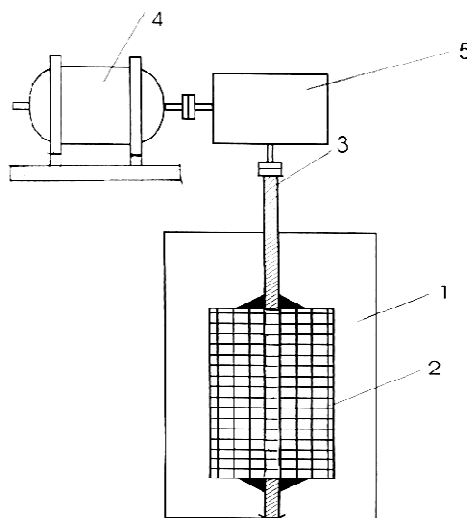


Рис. 4. Схема установки очистки сточных вод: 1- емкость, 2- наполненная сорбентом сетчатая корзина, 3-стержень, 4- двигатель, 5-регулятор скорости

Исследуемые воды объемами 30 л различных активностей и различного химического состава контактировали в статических условиях с модифицированным ВП. Вращение корзины с 100 г сорбентом проводили со скоростью 60 об/мин. Селективность извлечения контролировали через каждые 3 часа путем измерения активности воды относительно исходных данных. Результаты испытаний представлены в табл. 2 и в виде кривых на рис.5.

Общий коэффициент очистки определяется по формуле

$$K_{\text{оч.общ}} = A_{i, \text{исх}} / A_{i, \text{очищ}},$$

где $A_{i, \text{исх}}$ – активность i -го радионуклида в исходной загрязненной воде; $A_{i, \text{очищ}}$ – активность i -го радионуклида в очищенной воде.

Таблица 2

Результаты спектрометрических анализов малоактивных вод ААЭС сорбционным методом

Но- мер об- раз- ца	Химический состав исследуемых вод	Селективная активность в исходных растворах ^{137}Cs , Бк/л	Селективная активность ^{137}Cs после очистки, Бк/л	Степень очистки, %	Коэф. очистки
1	$\rho = 1 \text{ г/см}^3$; NH_4^+ - 35,0 мг/л; BO_3^{3-} - 3,7 г/л; Cl^- - 220 г/л; солесод.-1,9 г/л; рН = 10,2	22600	580	97,5	$0,39 \cdot 10^2$
2	$\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$; NH_4^+ - 20 мг/л; BO_3^{3-} - 4,6 г/л; Cl^- - 45 мг/л; солесод.-0,12 г/л; рН = 10,1	12650	960	92,4	$0,13 \cdot 10^2$
3	$\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$; NH_4^+ - 28 мг/л; BO_3^{3-} - 2,4 г/л; Cl^- - 32,0 мг/л; солесод.-0,29 г/л; рН = 10,9.	19800	1100	94,4	$0,18 \cdot 10^2$
4	$\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$; NH_4^+ - 7,8 мг/л; BO_3^{3-} - 2,4 г/л; Cl^- - 24 мг/л; солесод.-0,28 г/л; рН = 9,9	22000	следы	99,8	-
5	$\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$; NH_4^+ - 10,5 мг/л; BO_3^{3-} - 3,2 г/л; Cl^- - 40 мг/л; солесод.-0,18 г/л; рН = 10,0	22500	следы	99,8	-

На рис. 5 представлены кривые изменения активностей различных сточных вод ААЭС.

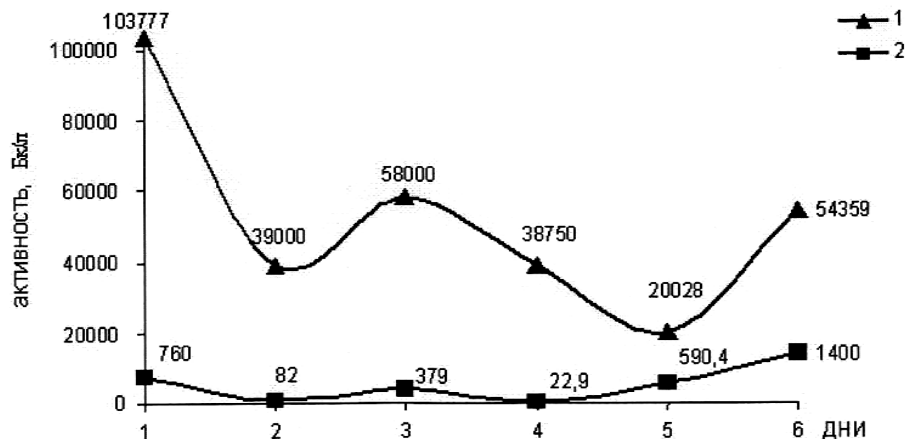


Рис. 5. Изменение активности различных сточных вод ААЭС на вспученном перлите, модифицированном ферроцианидом меди:
1- активность исходных сточных вод, 2- активность сточных вод после дезактивации

Выводы. Композиционный материал на основе ВП, модифицированного ферроцианидом меди, можно рассматривать как достаточно перспективный в решении проблем обращения с жидкими радиоактивными отходами низких уровней загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлик О., Фридрих В., Рети Д. Исследование обезвреживания жидких, твердых и газообразных радиоактивных отходов и дезактивации загрязненных поверхностей// Материалы IV научн. тех. конф. СЭВ (Москва, 22-23 дек., 1976). – М.:Атомиздат, 1978.- Вып. 1.- С. 45.
2. Барановский В.И. и др. // Радиохимия. -1967.- 6,698.
3. Казаков Е.В., Карпова И.Ф. // Вести ЛГУ. -1967.- 22,151.
4. Покровский С.С. и др. Тезисы докладов совещания по экстракции и сорбции редких щелочных металлов.- Новосибирск, 1976.- С. 32.
5. Рогинский С.З. и др. // Радиохимия. 1960. - 2,438.
6. Suss M. // Radiochim Acta.- 1981.-Vol. 29, N1-12.- P. 33-40.
7. Lee E.F.T., Stree M. // J. Chem Technol. Biotechnol. -1982.- Vol A 33, N7. - P. 333-338.
8. Данилин Л.Д., Дрожжин В.С. // Радиохимия.- 2007.- Т. 49, N 3.- С. 283-286.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 07.02.2009.

Մ.Ա. ՍԻՐԱԿԱՆՅԱՆ, Գ.Ց. ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ, Ն.Կ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ

**ՄՈԴԻՖԻԿԱՑՎԱԾ ՓՔԵՑՎԱԾ ՊԵՌԼԻՏԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ
ՌԱԴԻՈՆՈՒԿԼԻԴԵՐԻՑ ԱՊԱԱԿՏԻՎԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅՈՒՄ**

Իրականացվել է փքեցված պեռլիտի պղնձի, նիկելի և կոբալտի ֆերոցիանիդներով մոդիֆիկացված սորբենտներով կայուն ցեզիումի նկատմամբ սորբցիոն հատկությունների համալիր ուսումնասիրություն: Սորբման գործընթացն իրականացվել է ստատիկական պայմաններում: Հաստատվել է սորբման գործընթացի վրա տարբեր գործոնների ազդեցությունը: Որոշվել է, որ փքուն պեռլիտը՝ մոդիֆիկացված Cu-ֆերոցիանիդով կոմպոզիցիոն սորբենտը, այդ նուկլիդի նկատմամբ ցուցաբերում է առավել մեծ սորբային հատկություն: Մինթեզված մոդիֆիկացված սորբենտները փորձարկվել են ՀԱԷԿ-ի ցածր ակտիվությամբ հոսքային ջրերի ապաակտիվացման գործընթացում:

Առանցքային բառեր. փքեցված պեռլիտ (ՓՊ), ֆերոցիանիդ (ՖՑ), սորբում, ցեզիում:

M.A. SIRAKANYAN, G.C. VARDERESYAN, N.K. GASPARYAN.

**MODIFIED SINTERED PERLITE APPLICATION FOR THE RADIONUCLIDE
LOCALIZATION**

The sorption of cesium ions on Co, Cu, Ni-ferrocyanide sintered perlite is investigated. The sorption dynamics in steady-state regime is studied. As it was shown, modified Cu-ferrocyanide is an effective radionuclide trapper. The impact of various factors on the rate of sorption is investigated. The possible radionuclide localization in sewing waters of Armenian Nuclear Power Station is shown.

Keywords: sintered perlite (SP), ferrocyanide (FC), sorption, cesium.

Ս.Ո. ՎԱՐՄԱՆՅԱՆ

ԿԱՐԾՐ ՀԱՄԱԶՈՒԼ ՎԱԾՔԵ ԳՈՐԾԻՔԱՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ՏԻՏԱՆԻ ԿԱՐԲԻԴԻ ԵՎ ԱԶՈՏԻ ՓՈԽԱԶԴՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Հետազոտված է տիտանի կարբիդի և ազոտի փոխազդման գործընթացը: Առաջարկված է պաշտպանիչ զազային միջավայրում կարծր համաձուլվածքե գործիքանյութերի ջերմաքիմիական մշակման տեխնոլոգիա: Ցույց է տրված, որ կարբոնիտրիդե մաշակայուն շերտ ունեցող գործիքների մաշակայունությունը սովորականների նկատմամբ ավելանում է 1,5...1,6 անգամ, իսկ F_{22} -ի նկատմամբ՝ 1,8...1,9 անգամ:

Առանցքային բառեր. կարծր համաձուլվածք, տիտանի կարբիդ, ազոտ, էնդոգազ, պաշտպանիչ միջավայր, կարբոնիտրիդ, գործիք, մաշակայունություն, ֆրեզ:

Տիտանավոլֆրամային կարծր համաձուլվածքները արտադրության մեջ մեծ կիրառություն ունեցող ժամանակակից գործիքային նյութերից ամենաարդյունավետն են: Վերջին տարիներին կատարվել են մի շարք հետազոտություններ՝ կապված կարծր համաձուլվածքների ստացման, կառուցվածքային և մետաղաբանական ուսումնասիրությունների, տեխնոլոգիական գործընթացների կատարելագործման և որակական հատկանիշների բարձրացման հետ [1]: Սակայն առանձին կառուցվածքների ձևավորման, եռակալման գործընթացների, ինչպես նաև հատկությունների հետ կապված որոշ հարցեր կարոտ են խորը ուսումնասիրման:

Ներկայացվող աշխատանքում խնդիր է դրվել տիտանի կարբիդի հետ ազոտի միացման և տիտանավոլֆրամային կարծր համաձուլվածքների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների բարձրացման, ինչպես նաև թիթեղիկների մակերևութային շերտերում կարբոնիտրիդի ձևով մաշակայուն շերտերի ստացման համար հետազոտել տիտանի կարբիդների տարբեր բաղադրությունները, ազոտի հետ միացման մեխանիզմը, կապված ջերմաստիճանի, սարքավորումների, բաղադրությունների և մշակման մի շարք ռեժիմների փոփոխությունների և լավարկման հետ: Կատարված հետազոտությունների արդյունքում անհրաժեշտություն է առաջացել որոշել կարծր համաձուլվածքների մակերևութային կարբոնիտրիդե շերտ ունեցող գործիքների մաշակայունությունը և երկարակեցությունը:

Ti-C և Ti-N համակարգերում տիտանի կարբիդը և տիտանի նիտրիդը միակ կայուն ֆազերն են: Ti-C համակարգում միաֆազ տիրույթը տիտանի կարբիդի վանդակի հետ ձգտում է 25...30...50 ատոմային տոկոսի, ընդ որում՝ ածխածնի քանակի մեծացման հետ վանդակի պարամետրն աճում է 4,25 - ից մինչև 4,32 $\text{\AA}$:

Կարծր համաձուլվածքների կառուցվածքների, և այդ թվում TiN կառուցվածքի վերաբերյալ ուսումնասիրություններում [2] որոշվել է վանդակի պարամետրը՝ 4,23 $\text{\AA}$: Ցույց է տրված, որ ազոտը կարող է լուծվել TiN-ի մեջ, որն ուղեկցվում է պարամետրի փոքրացմամբ: Ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց՝ նիտրիդի բաղադրությունը

մոտենում է TiN բանաձևին: Տիտանի նիտրիդը և տիտանի կարբիդն առաջացնում են անընդհատ պինդ լուծույթներ [3] :

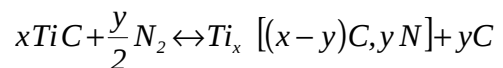
Հայտնի են TiC-ի և TiN-ի ջերմունակության և ջերմապահպանման մասին տվյալներ բարձր և ցածր ջերմաստիճաններում [4]: Արտադրությունում TiC-ն ստացվում է եռակալման ճանապարհով, 1900...2200°C ջերմաստիճանում, Ti-ի երկօքսիդից և մրից քարածխա-խողովակային վառարաններում, ջրածնի միջավայրում: Այդ եղանակով ստացված կարբիդների բաղադրության մեջ կապված ածխածինը տատանվում է 17,5...19 %, սովորաբար չի հասնում 20 %-ի և բաղադրությունը համապատասխանում է TiC ֆորմուլային:

Տիտանի կարբիդի բյուրեղային վանդակ չմտած ածխածնի ատոմները խառնվում են թթվածնի և ազոտի ատոմների հետ. այսպիսով, կարբոնացված արգասիքը Ti (C, O, N) բաղադրությամբ պինդ լուծույթ է, որտեղ ներկայացված են NaCl տիպի TiC, TiN և TiO բյուրեղային միանման վանդակներ՝ հետևյալ պարամետրերով. TiC – 4,32 ժ, TiN – 4,23 ժ:

Տիտանի կարբիդում ազոտի առկայությունը բացատրվում է քարածխա-խողովակային վառարանների լրիվ հերմետիկացման դժվարությամբ, ինչի հետևանքով տեղի է ունենում ինչպես կարբիդի նիտրացում, այնպես էլ նրա ածխածնազրկում:

Քարածխա-խողովակային վառարաններում, ջրածնի և ազոտի խառնուրդի, ինչպես նաև մաքուր ազոտի միջավայրերում, 1200...1800°C ջերմաստիճանային միջակայքում տիտանի կարբիդի ածխածնազրկման գործընթացի նախնական հետազոտությունները ցույց են տվել, որ բարձր ջերմաստիճաններում (1800°C և բարձր) օդի ներծծման ժամանակ առավելապես գերակշռում է ազոտացման գործընթացը, իսկ օքսիդացումը գործնականորեն չի նկատվում: 1200°C ջերմաստիճանում, ընդհակառակն, գերակշռում է օքսիդացման գործընթացը, բացակայում է ազոտացումը:

Օքսիդացման և ազոտացման միաժամանակյա գործընթացներ են ընթանում 1400°C ջերմաստիճանում: Ըստ դիտարկման, եթե մեծ է կարբիդի պահման տևողությունը, վառարանում տեղի կունենա որոշ քանակությամբ թթվածնի արտամղում ազոտով: Օքսիդացման և ազոտացման փորձի միևնույն ժամանակամիջոցում ազոտի բացարձակ պարունակությունը կարբիդում 1800°C ջերմաստիճանում լինում է ավելի շատ, քան 1400°C-ում: Ազոտի հետ TiC փոխազդեցության ռեակցիան $Ti(C,N)$ պինդ լուծույթի առաջացումով արտահայտվում է



հավասարումով, որի դեպքում ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը որոշվում է ոչ միայն գազային ֆազերի բաղադրիչների պարզիալ ճնշմամբ, այլ նաև ըստ պինդ ֆազերի բաղադրության՝ $K = P_{N_2}[TiC] / [TiN]$, որտեղ $[TiC]$ -ն և $[TiN]$ -ն Ti (C,N) պինդ լուծույթում TiC-ի և TiN-ի մոլյար կոնցենտրացիաներն են:

Հաստատուն ջերմաստիճանում ազոտի ճնշման յուրաքանչյուր արժեքին պետք է համապատասխանի $Ti(C,N)$ պինդ լուծույթի որոշակի բաղադրություն: Որոշակի ջերմաստիճանում և առաջադրված ճնշման դեպքում քիմիական վերլուծությամբ վերահսկվում է պինդ ֆազի բաղադրության փոփոխությունը մինչև հավասարակշիռ վիճակին հասնելը:

N + C_{կապվ} գումարի ատոմային տոկոսը, որպես կանոն, 49...50 % է: Ավելի ցածր ջերմաստիճանում (1100...1500°C) այդ գումարի տոկոսը կազմում է 50 % -ից ցածր, հատկապես 1100°C-ում, իսկ 1800°C-ում գումարը, որպես կանոն, կազմում է 50 ատոմային

տոկոս, այսինքն՝ $Ti_{\text{ստոմ}}: (C + N)_{\text{ստոմ}} = 1:1$: Մա, ամենայն հավանականությամբ, կապված է ավելի ցածր ջերմաստիճաններում տիտանային ֆազի վանդակում առկա որոշակի քանակությամբ դատարկ տեղերի հետ, որոնք լրացված չեն ածխածնով և ագոտով: 1800°C - ում կատարվում է այդ դատարկ տեղերի լրացում:

Ուշադրության է արժանի այն փաստը, որ ագոտի և նրա կողմից կարբիդի վանդակից դուրս մղված ազատ ածխածնի պարունակությունները համարժեք չեն, ինչը մեծանում է 1100°C -ից մինչև 1800°C ջերմաստիճանի անցման ժամանակ: Հնարավոր է, որ ազատ ածխածինը, որն անջատվում է ակտիվ վիճակով, մասամբ պակասում է՝ նստեղով գրաֆիտե տաքացուցչի պատերին և գրաֆիտե դարակներին՝ դասավորվելով գրաֆիտի բյուրեղային վանդակի մոտ:

Տեսական հետազոտությունների հիման վրա կարծր համաձուլվածքները ենթարկվել են կարբոնիտրացման՝ պաշտպանիչ գազային միջավայրում: Միջավայրը ստացվում է ՅՄ-60 MO1 սարքի օգնությամբ, որտեղ բնական գազը տրվում է սարքին, մշակվում և ստացվում է էնդոգազ ($\text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2$), որը մատուցվում է վառարան: Ագոտի քանակությունը գազային միջավայրում տատանվում է 40...60, որի փոփոխությունն իրականացվում է մատուցվող օդի քանակության փոփոխմամբ:

Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների՝ վակուումային վառարանում ջերմամշակման նպատակն է ճշգրիտ բացահայտել կարբոնիտրիդե մաշակայուն շերտի ազդեցությունը գործիքների մաշակայունության վրա՝ բացառելով ջերմաքիմիական մշակման ընթացքում ներքին լարումներից մաշակայունության նվազման ազդեցությունը:

Աղյուսակ 1

Տիտանավոլֆրամային կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ջերմաքիմիական մշակման ռեժիմները

N	Ջերմամշակման եղանակը	Թիթեղիկի տաքացման արագությունը, $\text{աստ} / \text{վրկ}$	Թիթեղիկի սառեցման արագությունը, $\text{աստ} / \text{վրկ}$	Տաքացման առավելագույն ջերմաստիճանը, $^{\circ}\text{C}$
1.	Պաշտպանիչ գազային միջավայր ունեցող խցային վառարանում	1,2...1,4	0,35...0,4	1000...1200
2.	ՇԴԲ 23/15-2 մակնիշի վակուումային վառարանում	1,2...1,4	0,35...0,4	1000...1200
3.	Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ջերմամշակում ԲՀՀ-ով	30...50	օդում (~ 25...30)	1000...1200

Ուսումնասիրվել են տիտանավոլֆրամային կարծր համաձուլվածքե նմուշի կառուցվածքը (նկ.1), որից երևում է, որ հետազոտվող կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկներում կարբիդները դասավորված են հավասարաչափ ձևով, կարբիդների չափերը տատանվում են 2...5 մկմ սահմաններում, իսկ կոբալտինը՝ 10...12 մկմ միջակայքում:



Նկ.1 Մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե Ti5K6 թիթեղիկի մակերևույթի կառուցվածքը, $\times 5000$

Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկները տարբեր եղանակներով ենթարկելով ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման կատարվել են հետազոտություններ, որոշվել միկրոկարծրություններն ու մակերևութային խորդուբորդությունները: Պաշտպանիչ գազային միջավայրում ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված նմուշների համար կատարվել են ռենտգեն հետազոտություններ և բացահայտել $[Ti(C,N)]$ կարբոնիտրիդի մաշակայուն շերտի առկայությունը նմուշների մակերևութային շերտերում:

Հետազոտությունների արդյունքում բացահայտված է, որ ազոտը, ածխածինը, տվյալ դեպքում նաև թթվածինը նպաստում են γ' և ε (օքսիկարբո) նիտրիդների առաջացմանը: Դիֆուզիոն տարրերի կոնցենտրացիայից կախված՝ կարող են առաջանալ նաև կարբիդներ և օքսիդներ: Միաժամանակ ածխածինը կամ հիմնական նյութի այլ լեգիրող տարրեր կարող են ազդեցություն ունենալ միացման շերտի կառուցվածքի վրա: Ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների կառուցվածքների ուսումնասիրություններից պարզվել է, որ իրականում ոչ առանձին տարրերը (ազոտ, ածխածին), ոչ էլ առկա այլ ֆազեր համասեռ չեն բաշխվում: Իրական անհամասեռությունները կախված ազոտացման և կարբոնիտրացման պայմաններից, կարող են տարբեր լինել:

Կարբոնիտրացման ենթարկված դետալների համար կատարվել են ռենտգենյան հետազոտություններ (նկ. 2), որի իրականացման համար օգտվել ենք [Ковба Л.М. Рентгенофазовый анализ. М.: Изд. Моск. 1976 -232 с.82] գիտական աղբյուրում տրված մեթոդիկայից: Ռենտգենագրաֆիկական վերլուծություններն իրականացվել են YPC-50 ИМ դիֆրակտոմետրի վրա՝ երկաթի $K_{\alpha\beta}$ ճառագայթներով: Հետազոտվող նմուշը լուսակայման ժամանակ պտտվում է իր հարթության մեջ՝ $n=30$ պտ/րոպ արագությամբ: Ջերմաքիմիական մշակման ժամանակ առաջացող նոր ֆազերը հիմնականում կենտրոնացված են միացման շերտի և հիմնական նյութի սահմանային տիրույթում, ինչի շնորհիվ մեծանում են մաշակայունությունը և կոռոզիակայունությունը:

Որոշվել են նմուշների մակերևութային խորդուբորդությունների մեծությունները նախնական նմուշների և մշակված, հայելանման մակերևույթ ունեցող թիթեղիկների համար (նկ. 3): Պարզվել է, որ սովորական չմշակված թիթեղիկների (նկ. 3 դ) մակերևութային խորդուբորդությունների մեծությունները 2...3 կարգի սահմաններում գերազանցում են ջերմաքիմիական եղանակով մշակվածների համապատասխան մեծությունները (նկ. 3 գ): Հայելանման նմուշների (նկ. 3 ա) խորդուբորդությունների արժեքները ջերմաքիմիական մշակումից հետո (նկ. 3 բ), ընդհակառակն, մեծանում են

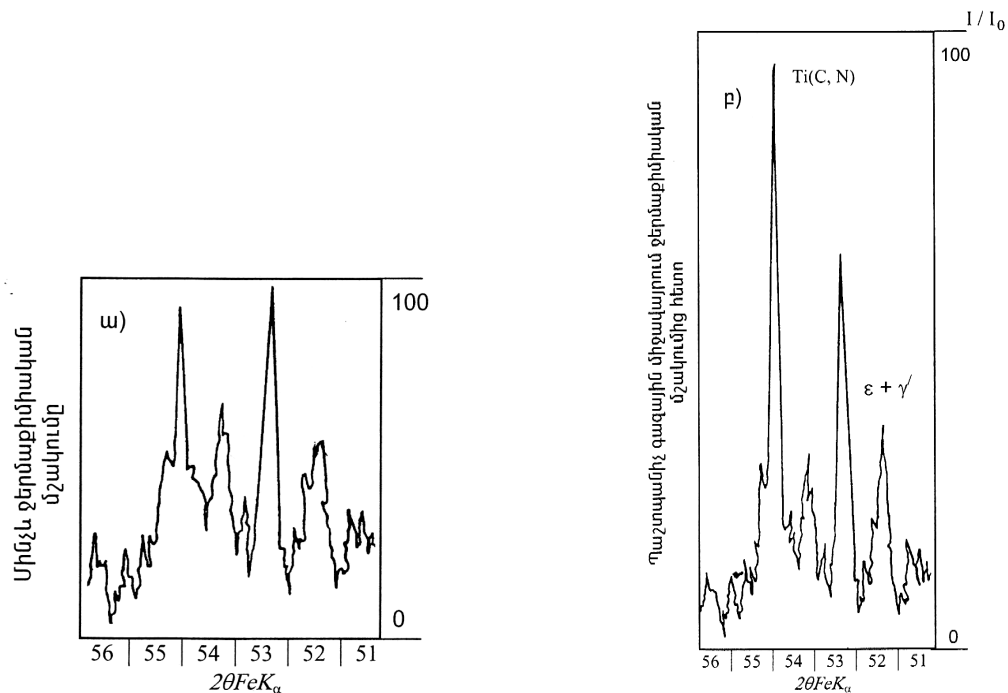
1...2 կարգով, որը հիմնավորվում է ջերմաքիմիական մշակման ընթացքում գոյացող նոր ֆազերի, այդ թվում՝ կարբոնիտրիդի անհավասարաչափ բաշխվածությամբ:

Աղյուսակ 2

Տաքացման ջերմաստիճանի ազդեցությունը մաշակայուն շերտի հաստության վրա

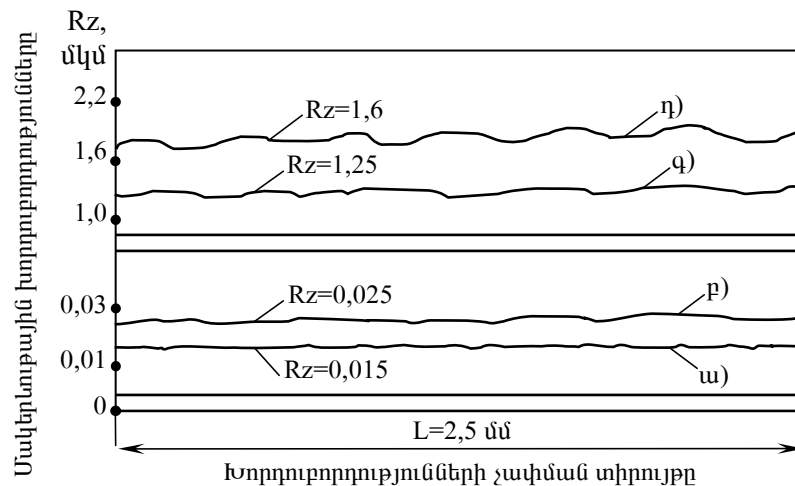
№	Տաքացման ջերմաստիճանը, °C	Տրված ջերմաստիճանում պահման տևողությունը, րոպ					
		30	35	40	45	50	55
		Կարբոնիտրիդե մաշակայուն շերտի հաստությունը, մկմ					
1	1000	—	3 ... 5	4 ... 5	4 ... 7	5... 8	7... 9
2	1050	3 ... 4	4 ... 5	6 ... 8	5... 8	6...10	8 ... 11
3	1100	3 ... 5	4 ... 6	6 ... 8	7... 9	8...11	9 ... 11
4	1150	4 ... 6	5 ... 7	7 ... 9	8...10	9...11	10 ... 12
5	1200	4 ... 7	6 ... 8	7 ... 10	9 ... 10	10...11	11 ... 12

Որոշվել են նմուշների միկրոկարծրությունները: Բացահայտվել է, որ կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների միկրոկարծրությունը սովորական թիթեղիկների նկատմամբ ավելանում է մեկուկես անգամ, որը և նախապայման է ստեղծում կարբոնիտրիդե [Ti(C,N)] շերտով համակցված կարծր համաձուլվածքե գործիքանյութերի մաշակայունության բարձրացման համար:



Նկ.2. Ռենտգենագրամ: կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկ Ti15K6. ա - ջերմաքիմիական մշակումից առաջ ; բ - ջերմաքիմիական մշակումից հետո

Կարևոր նշանակություն ունի տաքացման ջերմաստիճանի ազդեցությունը մաշակայուն շերտի հաստության վրա: Տաքացման ջերմաստիճանը $1000...1200^{\circ}\text{C}$ փոփոխելիս կարբոնիտրիդե մաշակայուն շերտի հաստությունը փոփոխվում է ~ 10 մկմ - ի սահմաններում: Գիտափորձնական աշխատանքների համաձայն՝ զազային միջավայրում ազոտի քանակության ավելացմանը զուգընթաց, շերտի հաստությունը մեծանում է պարաբոլի տեսքով:

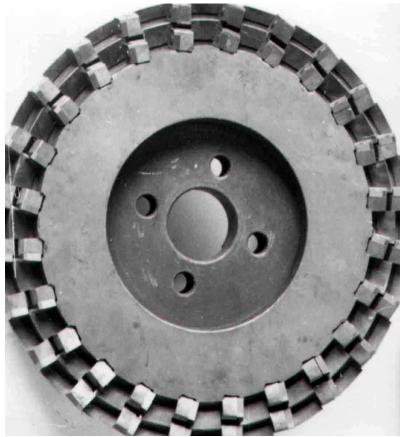


Նկ.3. Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևութային խորդուբորդությունները.
ա – հղկված, ողորկված և փայլեցված հայելանման փորձանմուշի մակերևութային խորդուբորդությունները ($Rz=0,015$ մկմ),
բ – 1 փորձանմուշի մակերևութային խորդուբորդությունները ջերմաքիմիական մշակումից հետո ($Rz=0,025$ մկմ),
գ – սովորական 4 փորձանմուշի մակերևութային խորդուբորդությունները ջերմաքիմիական մշակումից հետո ($Rz=1,25$ մկմ),
դ – սովորական, գործարանային փորձանմուշի մակերևութային խորդուբորդությունները առանց ջերմաքիմիական մշակման ($Rz=1,6$ մկմ)

Կարբոնիտրիդի մաշակայուն շերտի որակական հատկանշները բացահայտելու նպատակով ընտրվել և փորձարկվել են 150 մմ տրամագծով ճակատային չորս ֆրեզներ, որոնցից յուրաքանչյուրի վրա, երկու շարքով, մեխանիկական ձևով հավաքվել է $10 \times 10 \times 4$ չափի քառակուսի 48 թիթեղիկներ (նկ.4), ընդ որում՝ մաշակայունության ցուցանիշների համեմատության համար մեկ ֆրեզի թիթեղիկները եղել են գործարանային, երկու ֆրեզների թիթեղիկները ենթարկվել են ջերմային մշակման (համապատասխանաբար՝ ԲՀՀ-ով և վակուումում), իսկ չորրորդը ենթարկվել է կարբոնիտրացման՝ էնդոգազի միջավայրում:

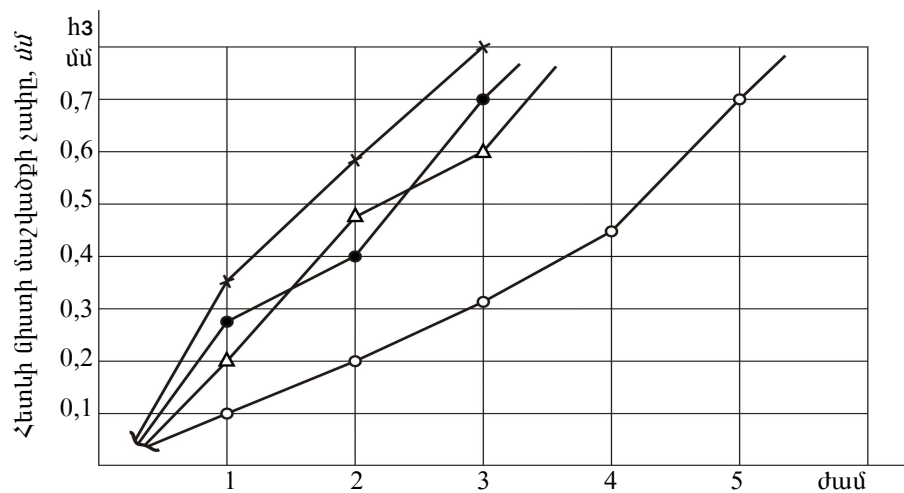
Մեխանիկական փորձարկումների արդյունքներից պարզվել է, որ առավել բարձր մաշակայունությամբ են օժտված պաշտպանիչ զազային միջավայրում ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված կարծր համաձուլվածքե ճակատային ֆրեզի թիթեղիկները, որոնց մաշակայունությունը, ԲՀՀ-ով տաքացված թիթեղիկների համեմատ բարձրացել է 1,8...1,9 անգամ, իսկ սովորական, չջերմամշակված թիթեղիկների նկատմամբ՝ 1,5...1,6 անգամ:

Վակուումում ջերմամշակված թիթեղիկների մաշակայունությունը ԲՀՀ-ով մշակվածների նկատմամբ բարձրացել է 1,2...1,3 անգամ (նկ. 5):



Նկ.4. Պաշտպանիչ գազային միջավայրում ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված քառանկյուն երկշարք թիթեղիկներով մեխանիկական հավաքովի ճակատային ֆրեզ:

Թիթեղիկ – T15K6,
միջավայրը՝ էնդոգազ ($\text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2$),
տաքացման ջերմաստիճանը – 1150°C ,
մաշակայուն շերտը՝ կարբոնիտրիդ՝ $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$,
ֆրեզի աստամների թիվը – 48,
 $V=80$ մ/րոպ, $S=0,1$ մմ/պտ, $t=1,5$ մմ



Նկ.5. Ճակատային ֆրեզի մաշակայունության կախվածությունը թիթեղիկի հետևի նիստի մաշվածքի չափից

×—× ԲՀՀ-ով ջերմամշակված,

●—● սովորական, առանց ջերմամշակման,

Δ—Δ վակուումային վառարանում ջերմամշակված,

○—○ պաշտպանիչ գազային միջավայրում ջերմամշակված թիթեղիկ,

$V = 80$ մ/րոպ, $S = 0,1$ մմ/պտ, $t = 1,5$ մմ

Այսպիսով, տիտանի կարբիդի հետ ազոտի փոխազդման ռեակցիայի և կարծր համաձուլվածքե գործիքանյութերի ջերմաքիմիական մշակման գործընթացի հետազոտումներից կարելի է կատարել հետևյալ եզրահանգումները.

1. Տիտանի կարբիդի ազոտացման ուսումնասիրվող ռեակցիայի յուրահատկությունը $1100...1800^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային միջակայքում $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ պինդ լուծույթի առաջացումն է, որի հետևանքով ռեակցիայի հավասարակշռությունը որոշվում է ինչպես ըստ ազոտի ճնշման, այնպես էլ պինդ լուծույթի բաղադրությամբ:
2. Տարբեր ջերմաստիճանների և ճնշումների դեպքում պինդ լուծույթում ազոտի հավասարակշիռ կոնցենտրացիաների հաշվարկը ցույց է տալիս, որ ցածր ճնշման դեպքում ($< 0,01$ մթն) և $1800...1200^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային միջակայքում ազոտի պարունակությունը տիտանի կարբիդում չպետք է գերազանցի տոկոսի տասնորդական մասը: Ազոտի պարունակության իրական արժեքը կարբիդում տարբերվում է հաշվարկայինից. ցածր ճնշման դեպքում ($< 0,01$ մթն) մեծանում է, իսկ երբ $> 0,01$ մթն՝ փոքրանում է:
3. Տիտանի կարբիդի ազոտացման աստիճանը՝ տրված ճնշման դեպքում փոքրանում է՝ ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց: 1500°C ջերմաստիճանում լրիվ նիտրացման համար անհրաժեշտ է կիրառել 1 մթն-ից ավելի ճնշում:
4. Գիտափորձական հետազոտությամբ բացահայտված է, որ էնդոգազի պաշտպանիչ միջավայրում ջերմաքիմիական մշակման արդյունքում, կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևութի վրա առաջանում է կարբոնիտրիդե $[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$ մաշակայուն շերտ:
5. Մետաղահատ գործիքների վրա գոյություն ունեցող կարբոնիտրիդե շերտն օժանդակում է գործիքների մաշակայունության բարձրացմանը FZ2 -ի նկատմամբ՝ 1,7...1,8 անգամ, իսկ սովորական չջերմամշակված թիթեղիկների նկատմամբ՝ ավելի քան 1,7...1,85 անգամ:
6. Կատարված մեխանիկական փորձարկումներից ստացված արդյունքների հիման վրա հիմնավորվել է կարբոնիտրիդե $[\text{Ti}(\text{C},\text{N})]$ շերտ ունեցող կարծր համաձուլվածքե մետաղահատ գործիքների մաշակայունության բարձրացումը և այն արտադրական պայմաններում կիրառելու նպատակահարմարությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Формирование однофазного слоя нитрида при контролируемом азотировании в газовой среде / **Й. Михальски, Й. Тасиковски, П. Вах** и др. // МиТОМ. - 2005. - № 11(605). - С. 35-38.
2. Порошковая металлургия на пороге 3000-летия / Под ред. **Н.В. Манукяна**. - Ереван: Тигран Мец, 2000.- 208 с.
3. Твердосплавные инструменты с нитридотитановыми износостойкими покрытиями / **А.С. Верещека** и др. // Станки и инструмент. - 1976. - №6. - С. 18-20.
4. **Карапетян К.Г., Алаян А.А., Овсепян Г.С.** Применение методов стереометрической металлографии при решении конкретных металловедческих задач // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2007. - Т. 60, № 1. - С.40-44.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.07.2009.

С.В. ВАРДАНЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАРБИДА ТИТАНА С АЗОТОМ В
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Проведено исследование процессов взаимодействия карбида титана с азотом. Предложена технология для химико-термической обработки твердосплавных инструментальных материалов в защитной газовой среде. Показано, что износостойкость инструментов с износостойким карбонитридовым слоем увеличивается в 1,6...1,7 раза по сравнению с обычными и в 2,2...2,3 раза - по сравнению с ТВЧ.

Ключевые слова: твердый сплав, карбид титана, азот, эндогаз, защитная среда, карбонитрид, инструмент, износостойкость, фреза.

S.V. VARDANYAN

**RESEARCH OF INTERACTION PROCESSES BETWEEN TITANIUM CARBIDE
AND NITROGEN IN HIGH-ALLOY TOOL MATERIALS**

The processes of interaction between titanium carbide and nitrogen in high-alloy tool materials are discussed. The technology of thermo-chemical processing of high-alloy tool materials on the protective gas is proposed. The wear resistance of tools with carbonitride layer is increasing 1.6...1.7 times as compared with common, and 2.2...2.3 times - with HFC (induction hardening).

Keywords: high-alloy, titanium carbide, nitrogen, endogas, protective gas, carbonitride, tool, wear resistance, milling cutter.

L.YE. SARGSYAN, D.L. TOVMASYAN, M. KH. MOATASEM

PERFECTION OF POLYMETALLIC ORE FLOTATION CYCLE TO OBTAIN AN EFFECTIVE CONCENTRATE FOR RECOVERY OF METALS

A perfectible bulk flotation simplified technology was developed to produce initially a collective polymetallic concentrate for further treatment by a "sulphatization roasting → 2-step leaching → metal cementation" method to recover all valuable metals besides the noble metals, and after this, recover gold and silver from the base metal leaching residuum by cyanide leaching and following electrowinning. It has been showed that all gold bearing sulphides copper, zinc, lead and iron were successfully passed from polymetallic ore into collective concentrate which is a pleasurable perspective for complex and effective recovery of all valuable metals contained.

Keywords: flotation, sulphide, polymetallic concentrate, pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, reagent regime.

Recently the mineralogical structure and interrelation of minerals in Shahumian gold-bearing copper–zinc–lead polymetallic ores have been studied using X-Ray and microscopic methods to estimate the recoverabilities of valuable metals, and it was shown that the gold (as well as silver) is intimately associated with the sulphides as fine unliberated grains. Majority of gold occurred in sulphide minerals grains, which must be decomposed in order to let gold to be recovered. And some minerals are so much intergrown with each other (especially, sphalerite with chalcopyrite and chalcopyrite with galena) that it is quite impossible to separate them in convenient industrial milling and flotation processes.

On the other hand, in the processes of selective mineral flotation there are many technological losses of valuable metals (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, others), since it is very difficult to separate one sulphide mineral from others especially galena (PbS) from sphalerite (ZnS) or chalcopyrite (CuFeS₂).

Due to intergrowth of minerals, the Kapan Processing Plant a long time cannot produce separate copper, zinc and lead concentrates and at present it produces only individual Zn-concentrate and complex Cu-Pb-Au-concentrate (see technological scheme in Fig. 1) using: as an activator - copper sulphate CuSO₄·5H₂O (600 g/t consumption) and sodium sulphide Na₂S (50 g/t); lime CaO (8000 g/t) as pH modifier; a complex collector containing izobutyl xanthate – 55 % (50 g/t), amyl xanthate – 15 % (15 g/t) and aerophine 3418A – 30 % (24 g/t); dowfroth and nasfroth frothers (70 g/t); zinc sulphate ZnSO₄·7H₂O (2500 g/t) as a depressor for sphalerite.

According to Mill assays, both concentrates apart from main metals contain a significant amount of byproduct metals. For example, zinc concentrate (55...58 % Zn) contains about 1.5 % Cu, 1.1 % Pb, 2.0 % Fe, 8 g/t Au and 150...200 g/t Ag; in copper concentrate (22...26 % Cu) about 0.7 % Zn, 0.1 % Pb, 30.0 % Fe, 1.5...3.2 g/t Au, 50...100 g/t Ag; and in copper-gold concentrate (20...22 % Cu) about 6.0 % Zn, 6.0 % Pb, 25.0 % Fe, 80...120 g/t Au and 1500...2000 g/t Ag are available.

The amounts of copper, zinc, lead and other non-ferrous metals as well as iron in ores are so high that it is not profitable to use the direct cyanide leaching technology (without flotation) to recover initially gold and silver, because of ability of corresponding minerals also to dissolve in dilute alkaline cyanide solutions, and their reactions may

consume cyanide salt (NaCN) and oxygen, as well as produce a variety of solution species which can reduce the efficiency of gold leaching and subsequent recovery processes.

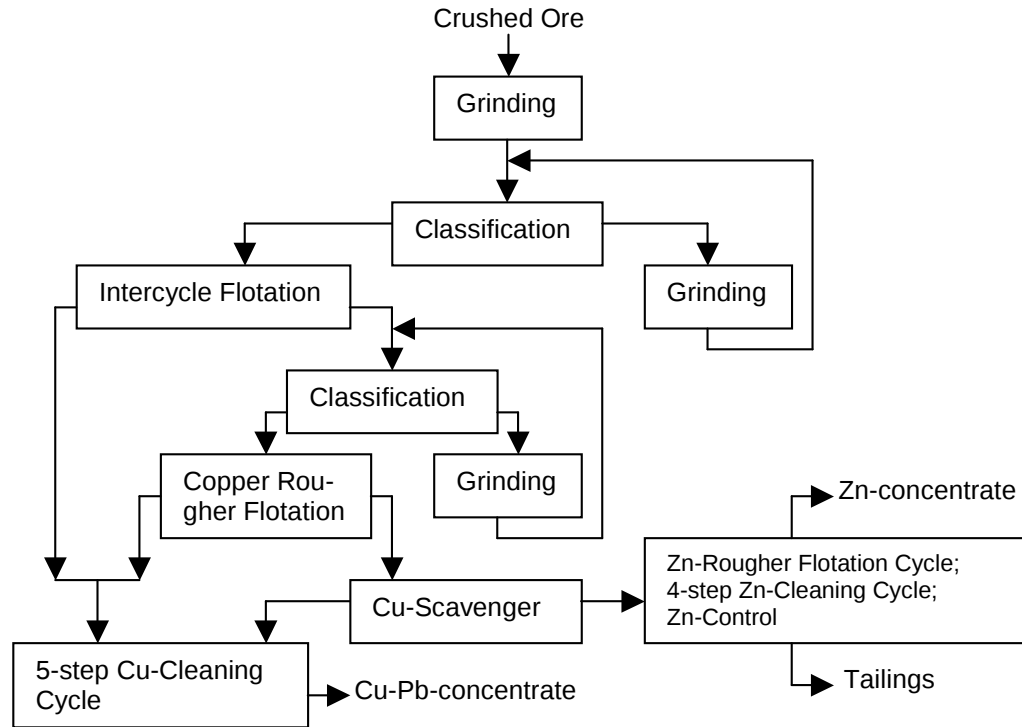


Fig. 1. Simplified Flow-Sheet of the Commercial Polymetallic Ore Flotation Cycle
(by the Technological Instruction of Kapan Processing Plant, 2009)

Taking into account above mentioned disadvantages of selective sulphide flotation method, a perfectible technology was developed (Fig. 2) to produce initially a collective polymetallic concentrate (containing all valuable minerals, including gold and silver) which will be treated then by a “sulphatization roasting → 2-step leaching → metal cementation” method to recover all valuable metals, apart from gold and silver, and after this, recover the noble metals from the base metal leaching residuum by cyanide leaching and following electrowinning.

According to this technology, flotation is used as a pre-concentration method to allow more expensive refractory ore treatment to be performed on a smaller fraction of the mineral. Under these conditions, the flotation circuit is operated to recover all the minerals containing gold, i.e. bulk flotation. Conditions do not necessarily have to be optimized for free gold recovery since this is readily recovered with other floatable minerals (i.e. sulphides).

In general, the mineral's behavior during froth flotation is controlled by its surface properties and these are a function of its chemistry, structure and the surface species formed by reactions during processing [1].

Gold is naturally floatable in industrial systems [2], which means that it can be recovered without collector addition [3,4]. This is due to the adsorption of hydrocarbons (and

other reactions) depending on gold metallic properties, particularly, its high electrical conductivity, which allows surface electrochemical reactions occurring catalytically and selectively.

Gold hydrophobicity is enhanced by the addition of flotation collectors such as xanthates, dithiophosphates (DTP) and mercaptobenzothiolates (MBT), as used in sulphide mineral flotation (usually 25...75 g/t collector concentration is used).

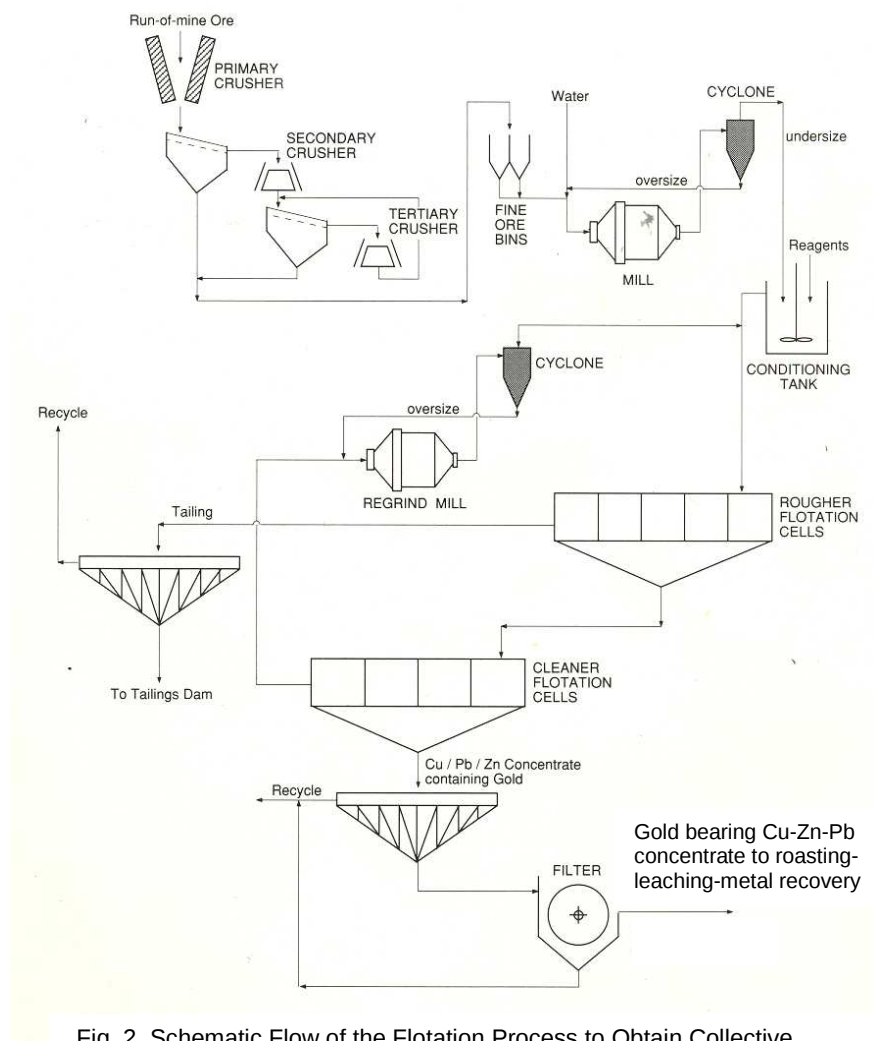
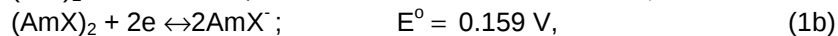
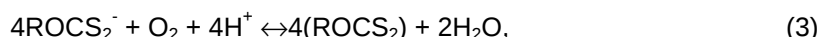


Fig. 2. Schematic Flow of the Flotation Process to Obtain Collective Gold-bearing Cu - Zn - Pb Collective Concentrate

The mechanism by which gold hydrophobicity is enhanced is similar to that of certain sulphides, e.g. pyrite [2]. Xanthate ions are oxidized on the gold surface to form the neutral dimer dixanthogen:



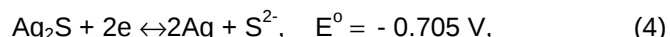
where Et and Am indicate ethyl (C2) and amyl (C5) alkyl groups. The non-polar liquid, dixanthogen forms oily surfaces rendering them hydrophobic. The oxidation of xanthate ions in bulk solution is very slow:



where R is a hydrocarbon chain (for sodium ethyl xanthate $\text{R}=\text{C}_2\text{H}_5\text{OCS}_2\text{Na}$). The equation (3) demonstrates that the conducting surface of gold or semi-conducting minerals (e.g. chalcopyrite, sphalerite and galena) is required for dixanthogen formation.

Oxide and silicate minerals are not electrical conductors and cannot sustain redox couples described by equations (1) and (2). Hence the collecting action of the reagent is very selective for gold and sulphides which means that reagent additions are typically low.

Impurities in gold (usually Ag and Cu) are more reactive than gold and can form hydrophilic surface phases. Molar volume increases associated with reactions of these impurities forming coatings on gold, e.g. Ag_2S formation:



which has a molar volume change of 183 %. Conversely, the hydrophobicity of native gold increases if silver is leached from the surface regions [5], since this reduces the hydrophilic portion of the metal surface.

Also, it is very well known that the flotation behavior of a sulphide mineral, when it is mixed with other sulphide minerals in an ore, can be substantially different from that predicted by single mineral. The reasons suggested for this behavior are attributed to galvanic interactions between sulphide minerals [6,7].

The flotation of copper sulphides, e.g. chalcopyrite (CuFeS_2), bornite (Cu_5FeS_4), chalcocite (Cu_2S) and covellite (CuS), is relatively straightforward with thiol collectors, and differs from gold-pyrite-arsenopyrite flotation because a Cu-xanthate compound is formed, which renders the copper minerals hydrophobic. In the case of chalcopyrite flotation dixanthogen is also present [2].

Chalcopyrite is floated with ethyl xanthate over a wide pH range (4...11) due to the stability of cuprous xanthate. It can only be depressed at $\text{pH} > 11\text{...}12$, unless cyanide or sulphide are added. Flotation is also possible with dithiophosphates and the whole range of xanthates (sodium aerofloat, methyl, ethyl, butyl and amyl xanthates [2]). Data on copper minerals, galena (PbS) and sphalerite (ZnS) flotation for base metal recovery are available in review [8]. The successful activation and flotation of sphalerite in complex Pb / Zn and Cu / Zn ores is shown in [9].

Since in our case gold is associated also with pyrite (FeS_2), mainly in a locked shape, this type of mineral association has to be flotation concentrated. Pyrite tends to oxidize in air which affects its surface properties and flotation behavior. In the presence of xanthate collectors in oxygenated solutions, the pyrite surface is rendered hydrophobic by the formation of dixanthogen, through the same electrochemical mechanism as that for gold.

Gold telluride minerals are not as natural hydrophobic as clean native gold, but are at least as floatable as most sulphide minerals [2]. But tellurides, and galena (PbS) as well, in polymetallic ore are everywhere associated with chalcopyrite and sphalerite grains, so they eyewitness that, they can be floated together with these minerals.

Therefore, it is well-grounded that in order to reach an effectively joint flotation of gold with copper, zinc and lead sulphide minerals and pyrite as well from polymetallic ore-pulp, the following changes are carried out in the commercial flotation reagent composition:

- *Zinc sulphate ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) (16 %) was excluded* from the reagent complex since it is used in commercial (working) flotation technology as a depressant for sphalerite (ZnS), but sphalerite will not to be depressed in our case;
- *Lime (CaO) was excluded* from the reagent complex since it depresses gold and iron sulphides, as well as lead, marmatitic zinc and certain minerals if excess used that is not necessary [10], and in it's exchange a *soda (Na_2CO_3) ash* as a *pH-modifier* was added to reagent complex (250...1500 g/t) which assists flotation of precious metals and sulphides, by acting as gangue slime dispersant [10];
- In exchange of *isobutyl xanthate* (in Complex Collector) was proposed to apply *methyl xanthate* to which are simultaneously response chalcopyrie, sphalerite, galena and pyrite, as well as borite, covellite and chalcocite in the presence of activators [2].

Taking into account these changes the better reagent regime is recommended for gold bearing collective Cu – Zn - Pb concentrate flotation technology (see Fig. 2):

- To the 1-st milling cycle (into ball mill) - *Soda (Na_2CO_3) ash (300 g/t) + Sodium sulphide (Na_2S , 50 g/t) / pH = 7...8;*
- To the rougher flotation cycle (into conditioning tank) – *Complex collector* (20 g/t) + Copper sulphate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 600 g/t) + Pine-oil T-66 (30 g/t) / pH = 8...9, 10 minutes duration;*
- To the cleaner flotation cycle - *Complex collector* (10 g/t) + Copper sulphate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 450 g/t) + Pine-oil T-66 (15 g/t) / pH = 8...9; 15 minutes duration,*

where Complex collector* = Methyl xanthate (55 %) + Amyl xanthate (15 %) + Aerofine 3418A (35 %). In industrial applications, abovementioned concentrations might be corrected.

It is seen from the illustrated diffractogram (Fig. 3) and qualitative estimate, that gold bearing copper, zinc, lead and iron sulphide minerals were successfully passed from polymetallic ore into collective concentrate which is a pleasurable and suitable perspective for complex and simultaneously effective recovery of all valuable metals contained intergrown gold and silver.

By the data of silicate-chemical and mineralogical analysis an experimental sample of collective concentrate (14.5% Cu, 8.25% Zn, 9.32% Pb, 23.41% Fe, 0.21% Cd, 32.36% S; 17,5 g/t Au; 241.8 g/t Ag) assayed at the Chemical laboratory of Kapan Processing Plant using above recommended technological principle and corresponding reagent regime has the following main mineral composition (%): 12.31 ZnS, 22.92 FeS₂; 42.64 CuFeS₂; 10.96 PbS; 0.26 CdS; 4.84 SiO₂; 2.56 Al₂O₃; and (CaO + MgO) the rest. This is a quite satisfied result for high flotation grade to be guaranteed.

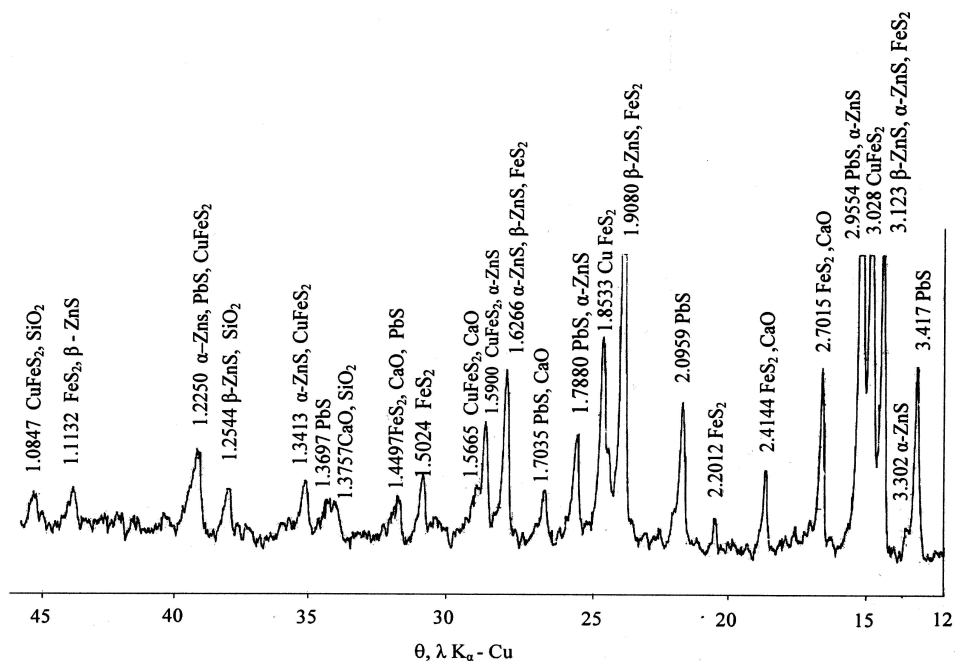


Fig. 3. Diffractogram of the gold-bearing collective polymetallic concentrate

REFERENCES

1. **Mustafa S., Hamid A., Naeem A., Murtaza S.** Upgradation of Chalcopyrite Ore by Flotation // Jour. Chem. Soc. Pak.- 2005.- V. 27, No 2.- P. 115-123.
2. **Marsden J., House I.** The Chemistry of Gold Extraction. Ellis Horwood Limited.- Chichester (England), 1992.- 597 p.
3. **King R.P.** Principles of Flotation. S. Afr. Inst. Min. Metall.- Johannesburg.- 1982.- 268 p.
4. Bath M.D., Duncan A.J., Rudolph E.R. Some factors effecting gold recovery by gravity concentration // J. S. Afr. Inst. Min. Metall.- 1973.- V. 73 (11).- P. 363.
5. Wenqian W., Poling G.W. Methods for recovering fine placer gold // Can. Inst. Min. Metall. Bull. - 1983.- V. 76 (860).- P. 47.
6. **Nakazawa H., Iwasaki I.** Effect of pyrite-pyrrhotite contact on their floatabilities // Miner. Metall. Process.- 1985.- N 2.- P. 206-211.
7. **Ekmekci Z., Demirel H.** Effects of galvanic interaction on collectorless flotation behavior of chalcopyrite and pyrite // Int. J. Miner. Process.- 1997.-N 52.- P. 31-48.
8. **Forsberg E.** Sulphide Mineral Flotation – Developments in Mineral Processing.- Vol. 9.-Elsevier.- Amsterdam, 1988.-270 p.
9. **Ekmekci Z., Aslan A., Hassoy H.** Effects of EDTA on selective flotation of sulphide minerals // Physicochemical Problems of Mineral Processing.- 2004.-38.-P. 79-94.
10. Mining Chemicals Handbook American Cyanamid Co.- 1982.- 178 p.

SEUA. The material is received 07.02.2009.

Լ.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Դ.Լ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ, Մ.Խ. ՄՈԱՏԱՍԵՄ

ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՖԼՈՏԱՅՄԱՆ ՑԻԿԼԻ ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄԸ՝ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԱՐԶՈՒՆԱՎԵՏ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ՍՏԱՑՄԱՍԲ

Մշակված է կատարելագործված ծավալային ֆլոտացման պարզեցված տեխնոլոգիա՝ նախապես միասնական բազմամետաղային խտանյութի ստացումով, որն այնուհետ պետք է վերամշակվի «սուլֆատացնող բովում → երկփուլ տարրալուծում → մետաղների նստեցում» մեթոդով, ազնիվ մետաղներից բացի, բոլոր մյուս արժեքավոր մետաղների կորզման և դրա սորախցուկի հետագա ցիանիդային տարրալուծման ու էլեկտրակորզման ճանապարհով ոսկու և արծաթի ստացման համար: Ցույց է տրված, որ ոսկետար պղնձի, ցինկի, կապարի և երկաթի բոլոր սուլֆիդները բազմամետաղային հանքաքարից հաջողությամբ անցնում են դեպի միասնական խտանյութ, ինչն արդյունավետ նախադրյալ է նրանում առկա բոլոր արժեքավոր մետաղների համալիր կորզման համար:

Առանցքային բառեր. ֆլոտացում, սուլֆիդ, բազմամետաղային խտանյութ, պիրիտ, խալկոպիրիտ, սֆալերիտ, գալենիտ, ազդանյութային ռեժիմ:

Л.Е. САРГСЯН, Д.Л. ТОВМАСЯН, М.Х. МОАТАСЕМ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ФЛОТАЦИОННОГО ЦИКЛА С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭФФЕКТИВНОГО КОНЦЕНТРАТА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Разработана усовершенствованная технология упрощенной объемной флотации с предварительным получением полиметаллического концентрата, который впоследствии должен обрабатываться методом “сульфатизирующий обжиг → двустадийное выщелачивание → цементация металлов” для извлечения всех ценных металлов, кроме благородных, с последующим цианированием кека выщелачивания и электроизвлечением золота и серебра. Показано, что все золотосодержащие сульфиды меди, цинка, свинца и железа из полиметаллической руды успешно переходят в коллективный концентрат, что является хорошей предпосылкой для комплексного и эффективного извлечения содержащих в нем всех ценных металлов.

Ключевые слова: флотация, сульфид, полиметаллический концентрат, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, реагентный режим.

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

**ՔՐՈՄԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ԶԵՎԱՓՈԽՄԱՆ ՀԱՐՑԵՐԸ
ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎԱՑՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՈՒՄ**

Բերված են լաբորատոր հետազոտություններ քլորիդների առկայությամբ մեխանաքիմիական և ջերմային ակտիվացման միջոցով քրոմիտների հարստացման ու քրոմիտային խտանյութի ստացման ուղղությամբ: Միաժամանակ քննարկվում են քրոմիտների կրած կառուցվածքային ձևափոխություններն այդ գործընթացում: Ստացված փորձարարական տվյալները հաստատագրվել են սկանացնող մանրադիտակային և ռենտգենաֆազ վերլուծության եղանակներով:

Առանցքային բառեր. ձևափոխում, ջերմային և մեխանաքիմիական ակտիվացում, էլեկտրոնային մանրադիտակ, քրոմիտ:

Աշխատանքի նպատակն է՝ կատարել քրոմիտների հարստացման աշխատանքներ և ստանալ Cr_2O_3 -ի՝ հնարավորինս բարձր պարունակությամբ խտանյութ, որը կծառայի որպես հումք՝ մետալուրգիական եղանակով մետաղական քրոմ ստանալու համար: Քննարկվում են նաև քրոմիտների ձևափոխման հարցերն այդ գործընթացում: Այդ նպատակով ուսումնասիրությունները կատարվել են երկու ուղղությամբ՝ մեխանաքիմիական և ջերմային ակտիվացմամբ, քլորիդների (NaCl , CaCl_2 , NH_4Cl) առկայությամբ և առանց քլորիդների: Հայտնի է [1-5], որ քրոմիտները քլորիդների առկայությամբ թրծելիս ընտրողաբար քլորացվում են երկաթի և մագնեզիումի օքսիդները: Ջերմաստիճանից կախված՝ առաջացած քլորիդները կարող են կամ ցնդելով հեռանալ, կամ էլ մնալ փորձի արդյունքում առաջացած արգասիքում: Քանի որ երկաթի և մագնեզիումի քլորիդները լավ լուծվում են ջրում, լվանալով կարելի է լրիվ կամ մասամբ հեռացնել վերջիններս և ստանալ Cr_2O_3 -ի բարձր պարունակությամբ խտանյութ:

Աշխատանքի նպատակն է՝ հետազոտել առանց քլորիդների և քլորիդների առկայությամբ Տապասարի քրոմիտների հարստացման գործընթացը՝ քրոմիտները մեխանաքիմիական և ջերմային ակտիվացման ենթարկելիս, ինչպես նաև քննարկել կառուցվածքի ձևափոխման հարցերն այդ գործընթացում:

Աղյուսակ 1-ում բերված են Տապասարի քրոմիտների քիմիական վերլուծության արդյունքները:

Աղյուսակ 1

Տապասարի քրոմիտների քիմիական վերլուծության տվյալները, %

Cr_2O_3	$\text{FeO}_{\text{ընդ}}$	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	SiO_2	CaO	$\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$
52,68	13,64	10,95	2,99	5,88	20,38	5,06	2,36	3,86

Մեխանաքիմիական ակտիվացման փորձերը կատարվել են M-30 տիպի թրթռաղացում, որում մանրացվող գնդերի ծանրության ուժը փոխարինված է

կենտրոնախույս ուժով, որը թույլ է տալիս թմբուկի պտտման արագությունը մեծացնելով ինտենսիվացնել մանրացումը: Աղացն ունի 2 պողպատյա թմբուկներ, յուրաքանչյուրը 600 *սմ*² ծավալով: Մանրացվող գնդերի զանգվածը յուրաքանչյուր թմբուկում կազմել է 1750 *գ*, իսկ փորձանմուշի զանգվածը՝ 50 *գ*: Մանրացումը կատարվել է օդում, 60, 90 և 120 *րոպե* տևողությամբ: Նույն տևողությամբ 2 հակադիր թմբուկներից յուրաքանչյուրում կատարվել է չոր մանրացում:

Քրոմիտների ջերմային մշակման փորձերը կատարվել են մուֆելային վառարանում. կվարցե հալքանոթի մեջ լցված փորձանմուշը տեղավորվել է վառարանում՝ ըստ անհրաժեշտ ժամանակների: Փորձերից հետո ստացված փորձանմուշները լվացվել են 50 *մլ* ջրում՝ պինդ-հեղուկ 1:1 հարաբերության պայմաններում: Ստացվող զանգվածը երկու դեպքերում էլ ֆիլտրվել է Բյուխների ձագարով և չոր ֆիլտրատում որոշվել տարրերի բաշխումը զանգվածային տոկոսներով՝ ռենտգենաֆազային և միկրոռենտգենասպեկտրալ միկրովերլուծու-թյան եղանակներով:

Փորձերի արդյունքները ենթարկել են մանրադիտակային ուսումնասիրության: Օգտագործվել է (SEM) VEGA TS 5130 MM, Tescan, Czech Republic, Microanalysis Sistem INCA Energy 300, Oxford Instruments, UK 7 մակնիշի սկանացնող էլեկտրոնային մանրադիտակ, Energi Dispersive X-ray միկրոանալիզատոր: Ռենտգենաֆազ վերլուծությունը կատարվել է DRON-3 ռենտգենագրի օգնությամբ՝ օգտագործելով $\text{CuK}\alpha$ ճառագայթներ և Ni -ի ֆիլտր, հետևյալ ռեժիմով. լարումը՝ 25 կվ, հոսանքը՝ 10 *մԱ*, գրանցման արագությունը՝ 420 *մմ.ժամ*⁻¹:

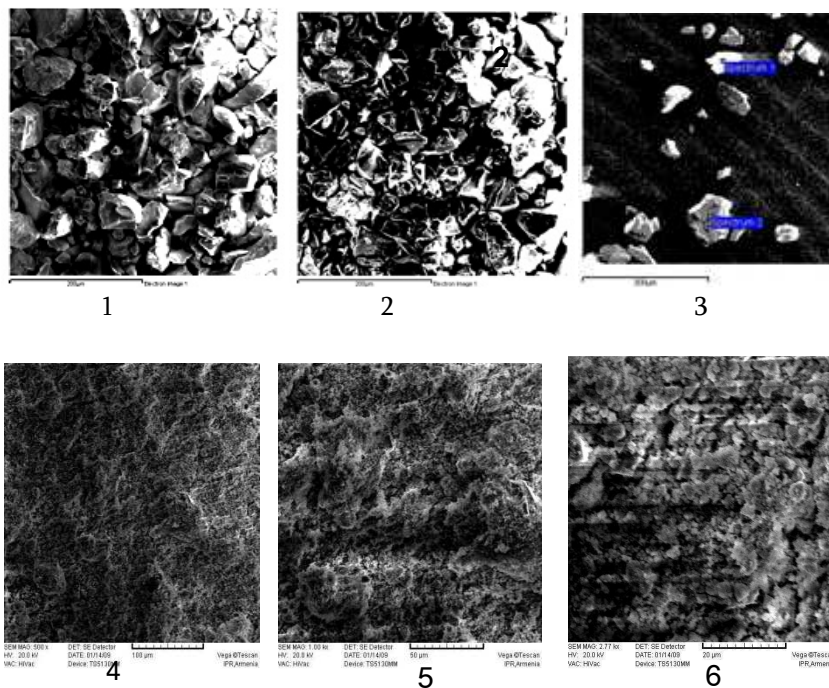
Առաջին խմբաքանակի փորձերում ուսումնասիրվել են ելանյութ քրոմիտի և քրոմիտի 120 *րոպե* տևողությամբ չոր մանրացման արդյունքները: Յուրաքանչյուր փորձանմուշում որոշվել է տարրերի զանգվածային բաժինը՝ տոկոսներով, ըստ նկ.1-ում պատկերված հատվածների: Համեմատելի տվյալներ ստանալու նպատակով մանրադիտակային պատկերների խոշորացումը կատարվել է 200 (1,4), 400(2,5) և 1000(3,6) անգամ:

Վերլուծության արդյունքները ներկայացված են աղյ.2-ում և նկ.1-ում:

Ինչպես երևում է աղյուսակային տվյալներից՝ 120 *րոպե* մեխանաքիմիապես մանրացված քրոմիտում զգալի բարձրացել են Cr_2O_3 -ի, FeO-ի և նվազել՝ MgO-ի զանգվածային բաժինները: Ըստ երևույթին, մեխանաքիմիական մանրացումը նպաստում է շպինելների՝ մասնավորապես մագնիոքրոմիտի (MgCr_2O_4) քայքայ-մանն ընդհուպ մինչև ազատ MgO-ի, որն ավելի արտահայտված հիմնային օքսիդ է, քան FeO-ն, լուծվում է ջրում և հեռանում լվացվող ջրերի հետ: Մյուս տարրերի զանգվածային բաժիններն առանձնապես մեծ փոփոխության չեն ենթարկվում: Նկ.1-ից երևում է որ, մեխանաքիմիական մանրացման շնորհիվ ստացվում են մանրադիսպերս կառուցվածքներ (նկ.1-6):

Փորձանմուշներում տարրերի զանգվածային բաշխումը (%)

Փորձանմուշներ		Փորձանմուշներում տարրերի զանգվածային բաշխումը (%)							
		Mg/ MgO	Cl	Al	Si	Ca	Cr / Cr ₂ O ₃	Fe/ FeO	O
Ելանյութ քրոմիտ	Նվազ.	11,83/ 19,72	-	4,44	4,82	0,74	32,14/ 46,92	8,58/ 11,07	37,43
	Առավ.	12,23/ 20,38	-	3,14	2,36	1,69	36,08/ 52,68	10,60/ 13,64	24,14
120 ընդ մանրացված քրոմիտ	Նվազ.	7,44/ 12,40	-	4,58	0,71	0,20	37,73/ 55,09	10,08/ 12,96	27,64
	Առավ.	8,99/ 14,97	5,95	2,23	0,17	0,58	44,60/ 65,12	13,00/ 16,72	36,34



Նկ. 1. Ելանյութ (1,2,3) և 120 ընդ մանրացված (4,5,6) քրոմիտների մանրադիտակային պատկերները 200 (1,4), 400(2,5) և 1000(3,6) անգամ խոշորացված

Հաջորդ խմբաքանակի փորձերում մեխանաքիմիական մանրացումը և ջերմային մշակումը կատարվել է քլորիդների (NaCl , CaCl_2 , NH_4Cl) առկայությամբ՝ երկաթի և մագնեզիումի օքսիդների ամբողջովին քլորացման համար տեսականորեն հաշվված քանակներին համապատասխան: Քրոմիտների քլորացումը NH_4Cl -ի առկայությամբ առանձնապես արդյունավետ չէր, չնայած վերջինս պարունակում է և՛ վերականգնիչ (NH_3), և՛ քլորացնող (HCl) նյութ: Ըստ երևույթին՝ NH_4Cl -ը վառարան մտցնելիս անմիջապես քայքայվում է՝ առաջացնելով ցնդող արգասիքներ (NH_3 , HCl), որոնք չեն հասցնում արդյունավետ փոխազդել քրոմիտի հետ: Այդ պատճառով հետագա փորձերում NH_4Cl -ի առկայությամբ քլորացումը չի քննարկվում:

Ուսումնասիրվել են քրոմիտների՝ առանց քլորիդների և NaCl -ի, CaCl_2 -ի առկայությամբ 1000°C 60 րոպե թրծման արդյունքները, որոնք ներկայացված են նկ. 2-ում և աղյ. 3-ում:

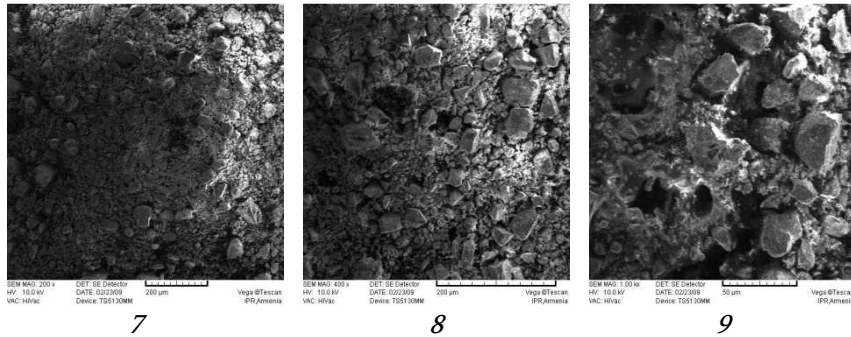
Աղյուսակ 3
Փորձանմուշներում տարրերի զանգվածային բաշխումը (%)

Քրոմիտ թրծված 60 րոպե, 1000°C	Փորձանմուշներում տարրերի զանգվածային բաշխումը (%)								
	Mg/ MgO	Cl	Al	Si	Ca	Cr / Cr ₂ O ₃	Fe/ FeO	O	Na
Առանց քլորիդ ների	10,57/ 17,61	-	5,84	3,55	0,74	32,61/ 47,62	10,06/ 12,94	34,75	
NaCl -ի առկա- յությամբ	6,40/ 10,66		5,28	3,26	0,28	35,66/ 52,07	8,60/ 11,06	40,92	1,19
CaCl_2 ի առկա- յությամբ	5,84/ 9,73	4,97	5,27	3,64	11,97	18,24/ 26,63	9,70/ 12,47	43,35	-

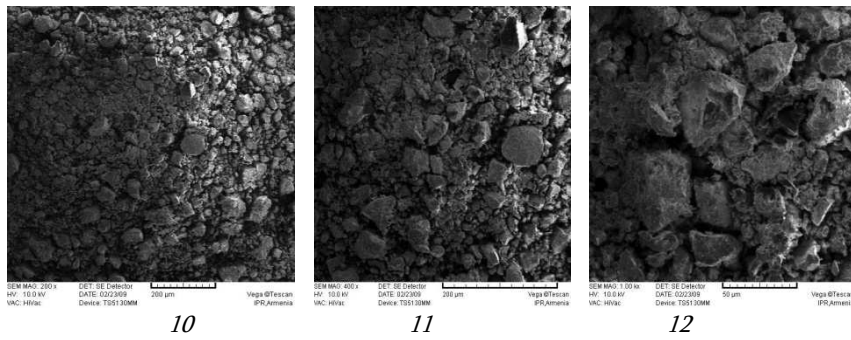
Ինչպես երևում է աղյ. 3-ի տվյալներից, քրոմիտները 1000°C ջերմաստիճանում թրծելիս Cr_2O_3 -ի զանգվածային բաժինը որոշ չափով (47,62%) մեծացել է, սակայն ելանյութի հետ համեմատած համարյա չեն փոխվել երկաթի (12,94%) և մագնեզիումի (17,61%) զանգվածային բաժինները: Քրոմի պարունակության նշանակալի աճ է նկատվում քլորիդների, առանձնապես NaCl -ի առկայությամբ թրծելիս (52,07%): Պետք է նշել, որ CaCl_2 -ի առկայությամբ թրծելիս նկատվել է երկաթի և մագնեզիումի քլորիդների մասնակի ցնդման երևույթ, ինչը հանգեցրել է Cr_2O_3 -ի քանակի նվազման (26,63%): Քրոմիտային հանքանյութերը քլորացնող նյութերի առկայությամբ թրծելիս քրոմիտից ընտրողաբար քլորացվում են միայն երկաթի և մագնեզիումի օքսիդները, որոնց կորզումը լվացումից հետո հանգեցնում է հանքանյութում Cr_2O_3 -ի քանակի մեծացման: Նկ. 2-ում բերված են առանց քլորիդների (7,8,9), NaCl -ի (10,11,12) և CaCl_2 -ի առկայությամբ (13,14,15) 1000°C 60 րոպե թրծված փորձանմուշների մանրադիտակային պատկերները:

Ինչպես երևում է բերված պատկերներից, մինչև 1000°C ջերմաստիճանում 60րոպե թրծման արդյունքում ստացված պատկերներն առանց քլորիդների և քլորիդների առկայությամբ առանձնապես խորը կառուցվածքային փոփոխության չեն ենթարկվել:

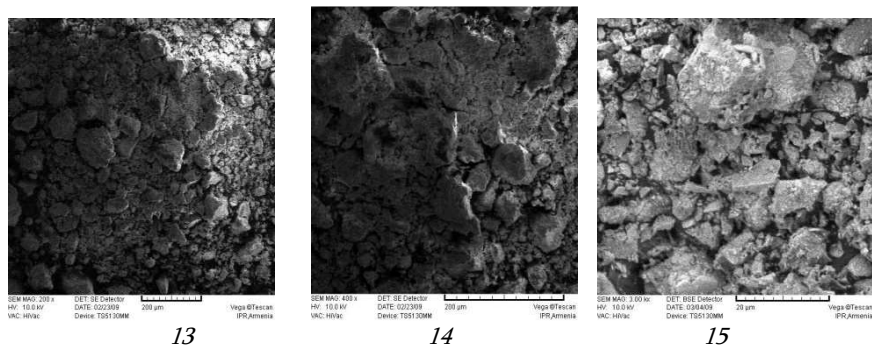
Թրծված 1000°C-ում 60 րոպե



NaCl –ով թրծված 1000° C ջերմաստիճանում 60 րոպե (200,400,1000)



CaCl₂ –ով թրծված 1000° C ջերմաստիճանում 60 րոպե (200,400,1000)



Նկ.2. Քրոմիտների առանց քլորիդների առկայության (7,8,9), NaCl –ով (10,11,12) և CaCl₂–ով (13,14,15) 1000° C ջերմաստիճանում 60 րոպե տևողությամբ թրծված փորձանմուշների մանրադիտակային պատկերները

Ուսումնասիրվել է նաև քրոմիտն առանց քլորիդների և քլորիդների առկայությամբ 120 րոպե մեխանաքիմիապես մանրացված փորձանմուշներում տարրերի զանգվածային բաշխումը, %: Վերլուծության արդյունքները ներկայացված են աղ. 4-ում:

Աղյուսակ 4

Փորձանմուշներում տարրերի զանգվածային բաշխումը, %

Փորձանմուշներ		Փորձանմուշներում տարրերի զանգվածային բաշխումը (%)								
		Mg/ MgO	Cl	Al	Si	Ca	Cr / Cr ₂ O ₃	Fe/ FeO	O	Na
120 րոպե ման- րաց- ված	Առանց քլորիդների	8,99/ 14,97	-	2,23	0,17	0, 58	44,60/ 65,12	13,00/ 16,72	27,64	-
	NaCl-ի առկայու- թյամբ	4,44/ 7,39	-	4,47	2,68	0,50	43,67/ 63,76	2,85/ 3,66	41,37	0.01
	CaCl ₂ -ի առկայու- թյամբ	4,67/ 7,78	0,39	4,05	3,13	0,98	42,12/ 61,50	3,30/ 4,24	41,12	-

Աղ. 4-ի տվյալներից երևում է, որ քրոմիտների մեխանաքիմիական մանրացումն ավելի արդյունավետ է և զգալիորեն բարձրացնում է Cr₂O₃-ի զանգվածային բաժինը խտանյութում. NaCl-ի առկայությամբ մանրացնելիս Cr₂O₃-ի զանգվածային բաժինը հասնում է 63,76%-ի, իսկ CaCl₂-ի առկայությամբ՝ 61,50%-ի: Զգալիորեն նվազում են նաև երկաթի (3,66...4,24%) և մագնեզիումի (7,39...7,78%) օքսիդների զանգվածային բաժինները ստացված խտանյութում: Եթե այդ տվյալները համեմատենք թրծման գործընթացում ստացված տվյալների հետ, ապա կարելի է նկատել, որ մեխանաքիմիական մանրացումն ավելի արդյունավետ գործընթաց է, քան թրծումը: Այսինքն՝ բարձր ջերմաստիճաններում ջերմային մշակմամբ ընթանող գործընթացները պակաս արդյունավետ են, քան մեխանա-քիմիական գործընթացները:

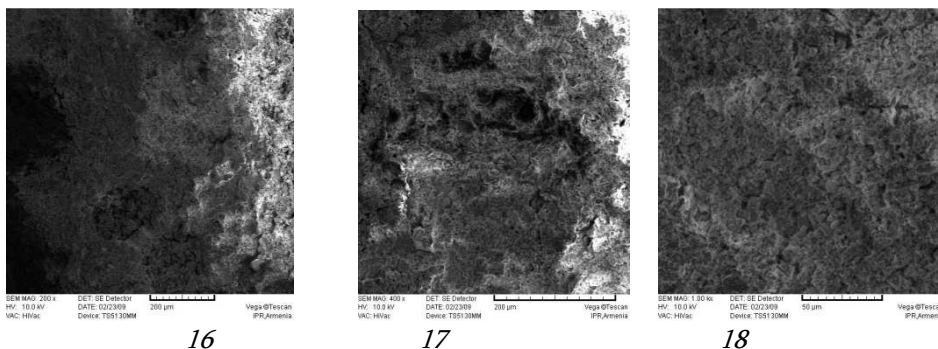
Ներկայումս այն կարծիքն է հաստատված [6-8], որ աղացներում մեխանիկական մանրացման արդյունքում պինդ նյութերի մեխանիկական ակտիվացումը կապված է ոչ միայն նյութի մանրացման աստիճանի և մակերևութային էներգիայի մեծացման, այլև լարումների դաշտի ռելաքսացիաների և բյուրեղային ցանցում խտտորումների առաջացման հետ: Լարումների դաշտի ռելաքսացիաների շնորհիվ, տեղի են ունենում մանրացվող նյութի քիմիական կազմի և կառուցվածքի փոփոխություններ. նյութերը մանրացված վիճակում ենթարկվում են սկզբունքային նոր փոփոխությունների, որոնք պայմանավորված են կոնդենսացված վիճակի ֆիզիկական առանձնահատկություններով, կապերի ձևով, կառուցվածքով, տարրերի յուրահատուկ կազմով, ֆիզիկական բնութագրերի փոփոխությամբ և այլն: Արտաքին մեխանիկական ուժերի ազդեցությունը մանրացման գործընթացում պինդ նյութերում առաջացնում է դեֆորմացիա, իսկ վերջինս

իր հերթին կապված է միջմասնիկային հեռավորության փոփոխության, բյուրեղային ցանցերում արատների առաջացման հետ, որոնք առաջացնում են բյուրեղային ցանցերի խոտորումներ (պոլիմորֆ փոխարկումներ), ամորֆացում և այլն: Այս բոլոր կառուցվածքային խոտորումները խիստ ազդեցություն են թողնում նյութերի ռեակցիոն ունակությունների վրա: Ընդհանուր առմամբ, այդ փոխարկումները հանգեցնում են փոխազդող նյութերի քիմիական ռեակցիայի ակտիվացման էներգիայի նվազեցման, ռեակցիոն ունակությունների մեծացման, ռեակցիաների նոր՝ յուրահատուկ ընթացքի և նոր մոդիֆիկացված արգասիքների առաջացման:

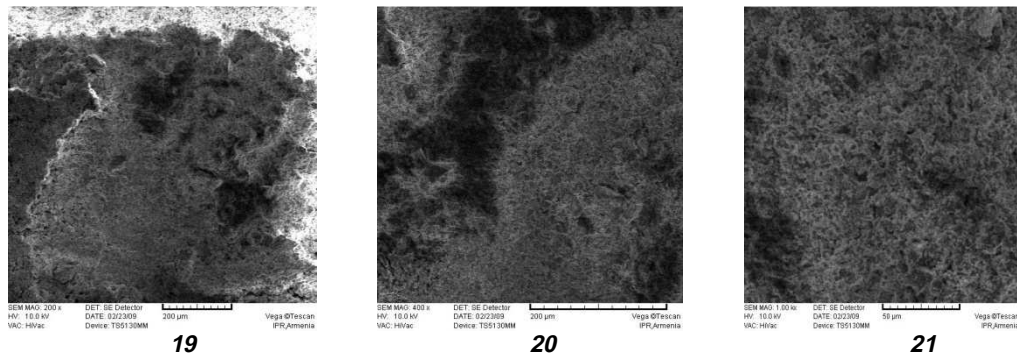
Հայտնի է, որ մեխանիկական ակտիվացման արդյունքում շպինելի խիտ դասավորված ենթացանցը պահպանվում է, և հիմնական փոփոխությունները տեղի են ունենում կատիոնային ենթացանցում, որն արտահայտվում է երկվալենտ կամ եռավալենտ կատիոնների վերաբաշխումով օկտա և տետրա դիրքերում: Այս վերաբաշխումը հանգեցնում է ֆիզիկական և քիմիական հատկությունների փոփոխության, որի արդյունքում ակտիվացված ֆերիտների հատկությունները էապես տարբերվում են ելային ֆերիտների նմանատիպ հատկություններից, իսկ նրանց շատ նուրբ կառուցվածքի պարամետրերը լավ ֆիքսվում են մասքաուերովյան փորձերով: Շպինելներում մեխանիկական ակտիվացման գլխավոր արդյունքը մեծ չափի իոնների խիտ դասավորված շերտերի տեղաշարժն է իրար նկատմամբ: Այդ դեպքում ավելի փոքր չափի իոնները ձգտում են զբաղեցնել համեմատաբար ավելի մեծ չափի դատարկ տեղերը, տվյալ դեպքում՝ օկտա դիրքերը: Այսպիսով, ֆերիտ-շպինելների մեխանիկական ակտիվացումը հանգեցնում է դրանց ատոմային կառուցվածքի երկար գոյատևող փոփոխությունների, որի հետևանքով փոխվում են շատ հատկություններ, այդ թվում և՛ ռեակցիոն ունակությունը: Դա է պատճառը, որ քրոմիտների մեխանաքիմիական մշակման արդյունքները և՛ առանց քլորիդների, և՛ քլորիդների առկայությամբ, ավելի արդյունավետ են՝ թրծման գործընթացների հետ համեմատած:

Մեխանաքիմիական ակտիվացումը բերում է նաև մանրադիսպերս կառուցվածքներով օժտված ռեակցիայի արգասիքների առաջացման: Այդ մասին են հաստատագրում նկ. 3-ում ներկայացված պատկերները:

NaCl-ի առկայությամբ 120 *րոպե* ակտիվացված քրոմիտը լվանալուց հետո (200,400,1000 անգամ խոշորացված)

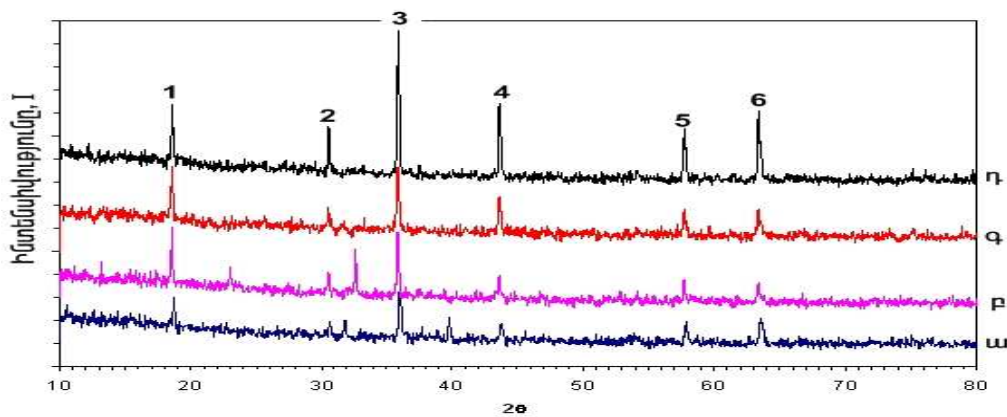


CaCl₂-ի առկայությամբ 120 *րոպե* ակտիվացված քրոմիտը լվանալուց հետո (200,400,1000 անգամ խոշորացված)



Նկ.3. NaCl-ի(16,17,18)ևCaCl₂-ի(19,20,21)առկայությամբ 120 *բույլ* ակտիվացված և լվացած քրոմիտային փորձանմուշների մանրադիտակային պատկերները

Կատարվել է ելանյութ քրոմիտի (ա) և 60 *բույլ* (բ), 90**բույլ** (գ),120 *բույլ*(դ) մեխանաքիմիապես ակտիվացած փորձանմուշների ռենտգենաֆազային վերլուծություն [9,10]: Նկ.4-ում ներկայացված են այդ վերլուծության արդյունք-ները՝ ռենտգենագրերը: Աղյ. 5-ում բերված են ռենտգենագրերում ներկայացված հիմնական ֆազերի տվյալները:



Նկ.4.

Ելանյութի (ա) և 60(բ), 90(գ), 120(դ) *բույլ* մեխանաքիմիապես ակտիվացված քրոմիտների ռենտգենագրերը, (Mg,Fe)(Cr,Fe)₂O₄ -(1,2,3,4 ,5) , Fe₃O₄ -(2,3,4 ,6)

Ինչպես ցույց են տալիս աղյուսակային տվյալները, ռենտգենագրերում առավելապես երևում են քրոմիտի բաղադրության մեջ պարունակվող հիմնական միներալների՝ քրոմշպինելիդի և մագնետիտի մեծ ինտենսիվության ռեֆլեքսները, որոնք ինչ-որ տիրույթներում նույնիսկ վերադրվում են միմյանց(նկ. 4-2,3,4): Ավելի փոքր ինտենսիվության ռեֆլեքսները բնորոշ են քրոմիտում պարունակվող դատարկ ապարներին՝ օլիվին, սերպենտին, որոնց ռեֆլեքսների ինտենսիվությունը 120 *բույլ* ակտիվացնելուց հետո նկատելի նվազում է, իսկ որոշ դեպքերում՝ անհետանում:

Ռենտգենագրերից երևում է, որ մեխանաքիմիական ակտիվացման տևողությունը 60...120 *բույլ* մեծացնելիս զգալիորեն մեծանում է ռեֆլեքսների ինտենսիվությունը: Դա ևս մեկ անգամ վկայում է, որ մեխանաքիմիական ակտիվացումը նպաստում է քրոմշպինելիդի և մագնետիտի քանակության մեծացմանը,

այսինքն՝ քրոմի-տիհարստացմանը: Միաժամանակ հաստատագրվում է , որ քրոմիտի բաղադրության մեջ պարունակված երկաթը ակտիվորեն օքսիդացել է մինչև մագնետիտ:

Աղյուսակ 5

Ռենտգենագրերում ներկայացված հիմնական ֆազերի տվյալները

	(Mg,Fe)(Cr,Fe) ₂ O ₄			Fe ₃ O ₄		
	d(A)	2θ	I	d(A)	2θ	I
1	4.8300	18,35	50	4,6700	18,98	10
2	2,9490	30,28	30	2,860	31,25	30
3	2,5140	35,68	100	2,4390	36,82	100
4	2,5020	35,86	10	2,3350	38,5	10
5	2,0860	43,34	60	2,0230	44,76	30
6	2,0770	43,54	10	1,651	55,6	20
7	1,6030	57,44	30	1,5570	59,3	40
8	1,4750	62,96	20	1,4300	65,19	50
9	1,4710	63,15	20	1,2340	77,25	10

Այսպիսով, կարելի է եզրակացնել, որ քրոմիտների մեխանաքիմիական մշակման արդյունքներն ինչպես առանց քլորիդների, այնպես էլ քլորիդների առկայությամբ ավելի արդյունավետ են՝ և որ, շնորհիվ մեխանաքիմիական ակտիվացման, քլորիդների առկայությամբ կարելի է քրոմիտներից կորզել երկաթը և մագնեզիումը քլորիդների ձևով՝ ստանալով քրոմային խտանյութ՝ Cr₂O₃-ի 61,50...63,76% զանգվածային բաժնով: Ստացված խտանյութը միանգամայն բավարար է մետալուրգիական նպատակներով մետաղական քրոմ ստանալու համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Вильнянский Я.Е., Мартиросян В.А.** Селективное хлорирование Севанских хромитовых руд // Промышленность Армении. -Ереван, 1972. -N 9.
2. **Вильнянский Я.Е., Мартиросян В.А.** Влияние основных технологических факторов на закономерности процесса селективного хлорирования хромитовых руд хлористым водородом // Сборник научных трудов. Сер. Химия и хим. технология. - Ереван, 1971.- Т. 34, вып. 3. - С 36-45.
3. **Вильнянский Я.Е., Мартиросян В.А.** Хлорирование хромитовых руд хлористым водородом // Вторая научно-техническая конференция /УПИ им. С.М. Кирова. -Свердловск, 1968. -С. 48.
4. **Мартиросян В.А., Вильнянский Я.Е., Зотова В.А., Дарбинян М.В.** Обогащение бедных хромитовых руд Севанского месторождения // Промышленность Армении. - Ереван, 1969. - N 3. - С. 36-40.
5. **Martirosyan V., Manukjan N.** Investigation of the chlorination mehanizm of metal oxides by chlorine // Journal of Materials Processing Technology .-Ireland, 2003.-142.- P. 145-151.
6. **Мартиросян В.А., Агамян Т.С.** Повышение реакционной способности сульфидных концентратов меди и разработка технологии получения медно-железных лигатур алюминотермическим способом // Международная конференция по химии и химической технологии ИОНХ 50. - Ереван, 2007, 22-25 октября. - С.161.

7. **Киреева М.В., Жидкова Т.Н.** и др. О реакционной способности хромитовых руд. Химия и технология хромовых руд. –М.: Химия, 1976.
8. **Воскобойников В.Г.** Общая металлургия. Металлургия. - М.: Академкнига, 2005. – 768 с.
9. **Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скоков Ю.А.** Рентгенографический и электроннографический анализ металлов. - М.:Мир, 1963.- 256 с.
10. **Кобба Л.М., Трунов В.К.** Рентгенофазовый анализ.- М.: Изд-во МГУ, 1976.- 232 с.

ՀղձՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.07.2009:

В.А. МАРТИРОСЯН, А.А. АЙВАЗЯН

ВОПРОСЫ МОДИФИКАЦИИ ХРОМИТНОГО КОНЦЕНТРАТА В ПРОЦЕССЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ХРОМИТОВ

Проведены лабораторные исследования процессов термической и механохимической активации хромитов в присутствии хлоридов с целью обогащения. Изучаются вопросы модификации в данном процессе. Экспериментальные данные подтверждаются данными, полученными при помощи сканирующего электронного микроскопа и рентгенографического анализа.

Ключевые слова: структурообразование, механохимическая и термическая активация, электронный микроскоп, хромит.

V.H. MARTIROSYAN, A.A. AYVAZIAN

MODIFICATION PROBLEMS OF CHROMITE CONCENTRATION IN THE PROCESS OF MECHANOCHEMICAL AND THERMAL ACTIVATION

Laboratory tests of thermal and mechanochemichal activation process of chromites in the presence of chlorides are performed. Simultaneously, the problems of the modification are examined. The experimental data obtained are confirmed by scanning the electronic microscope and X-ray analysis.

Keywords: modification, thermal and mechanochemichal activation, electron microscope, chromite.

Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ԱՄՈՆԻՈՒՄԻ ՊԵՐՌԵՆԱՏԻ ԿՈՐԶՈՒՄԸ ՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՐԲԱԼՈՒԾՄԱՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻՑ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԴԻՍՈՑՈՒՄԸ

Հետազոտված է տեղական մոլիբդենային խտանյութերի ուղղակի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման մոլիբդատ-ռենատ լուծույթներից ամոնիումի պերռենատի կորզման և հետագա ջերմային դիսոցման գործընթացը ռենիումի մաքուր երկօքսիդի ստացման նպատակով: Ջերմաձանրաչափական և դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծության մեթոդով բացահայտված է պերռենատ(երկօքսիդ փոխակերպման մեխանիզմը:

Առանցքային բառեր. խտանյութ, տարրալուծում, ամոնիումի պերռենատ, դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծություն, ռենիումի երկօքսիդ:

Չանգեզուրի և Ագարակի ՊՄԿ-ներում թողարկվող մոլիբդենային խտանյութերն աչքի են ընկնում թանկարժեք ռենիումի բարձր պարունակությամբ (համապատասխանաբար 250 և 400 գ/տ): Ընդ որում՝ ռենիումի մշտական ուղեկցությունը մոլիբդենին պայմանավորված է ReS_2 -ի իզոմորֆ լուծելիությամբ MoS_2 -ի բյուրեղային ցանցում (մոլիբդենի քառավալենտ իոնի շառավիղը $0,68 \cdot 10^{-10}$ մ է, իսկ ռենիում-իոնինը՝ $0,56 \cdot 10^{-10}$ մ [1]):

Ռենիումի բարձր կոնցենտրացիան խտանյութերում պայմանավորում է դրանց ուղղակի հիդրոմետալուրգիական վերամշակման գործընթացների կիրառման խիստ անհրաժեշտությունը, քանի որ ավանդական տեխնոլոգիաների դեպքում բովման ընթացքում ռենիումը 363°C -ից սկսած օքսիդանում է մինչև Re_2O_7 և հեռանում գոյացող SO_2 գազերի հետ [2,3] (փոշեռսման համակարգերի օգնությամբ լավագույն դեպքում կորզվում է ամբողջ ռենիումի միայն 60...70%-ը): Մյուս կողմից, ներկայումս, երկրագնդի կլիմայի գլոբալ տաքացման պայմաններում ջերմոցային գազերի (տվյալ դեպքում SO_2 -ի) արտանետման դեմ պայքարի մեթոդների խստացումն ընդհանրապես նորովի մոտեցումներ է պահանջում խտանյութերի վերամշակման համար:

Այդ տեսակետից տեղական մոլիբդենիտային խտանյութերի լիազումար հիդրոմետալուրգիական վերամշակման գործընթացներում ուղղակի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման մեթոդի կիրառումը [4] հնարավորություն է ընձեռում ինչպես մոլիբդենին համընթաց ռենիումի կորզումը նվազագույն կորուստներով, այնպես էլ շրջակա միջավայրի պահպանության առավելագույնս ապահովումը:

Աշխատանքի նպատակն է՝ հետազոտել Ագարակի խտանյութի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման մոլիբդատ-ռենատային մայրակ-լուծույթից էքստրակցի-այի եղանակով մոլիբդենի ընտրողաբար տարանջատումից մնացած ռենիումով հարուստ լուծույթից (հաշվարկային 20 մգ/լ Re) ամոնիումի պերռենատի կորզման գործընթացը և վերջինիս ջերմային քայքայումը (ռենիումի մաքուր երկօքսիդի ստացման համար)՝ կիրառելով ջերմաձանրաչափական և դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծության մեթոդը:

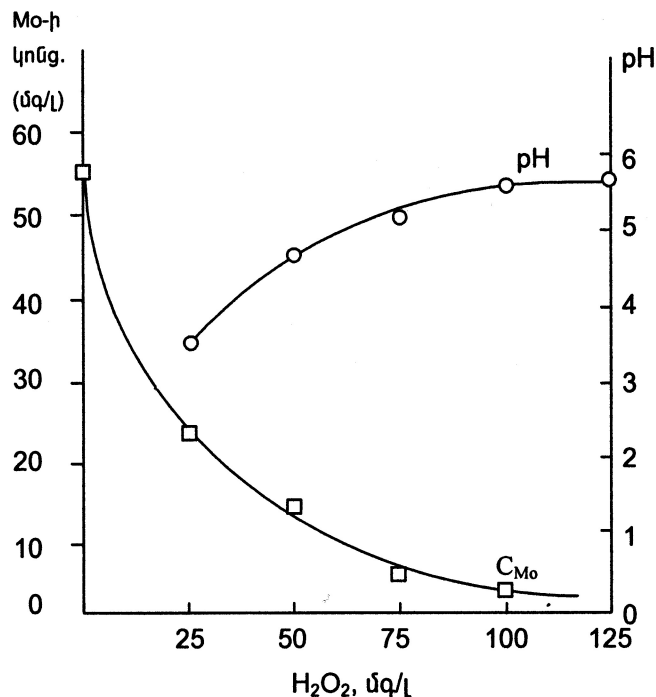
Հետազոտվող էլային լուծույթում ($\text{pH}=1,5$) ռենիումը հանդես է գալիս նատրիումի պերռենատի տեսքով (NaReO_4): Ատոմա-աբսորբցիոն վերլուծության տվյալներով դրանում հայտնաբերվել է նաև միջև 55 մգ/լ մոլիբդեն: Վերջինիս հեռացումը ամբողջովին

մոլիբդենագուրկ լուծույթ ունենալու նպատակով կատարվել է ջրածնի պերօքսիդի միջոցով, որը մոլիբդենի նստվածք է գոյացնում և անջատվում լուծույթից: Իսկ հիդրօքսիլ-իոնները, մասամբ կլանելով ուժեղ թթվային լուծույթից ջրածնային կատիոններ, գոյացնում են ջրի մոլեկուլներ՝



ու մեծացնում լուծույթի թթվայնության ցուցչի արժեքը:

Հավելվող օքսիդիչի կոնցենտրացիայից կախված՝ լուծույթի՝ մոլիբդենից մաքրման աստիճանը զուգահեռաբար գնահատվել է նաև համադրելով pH-ի մեծության փոփոխության հետ (նկ.1):

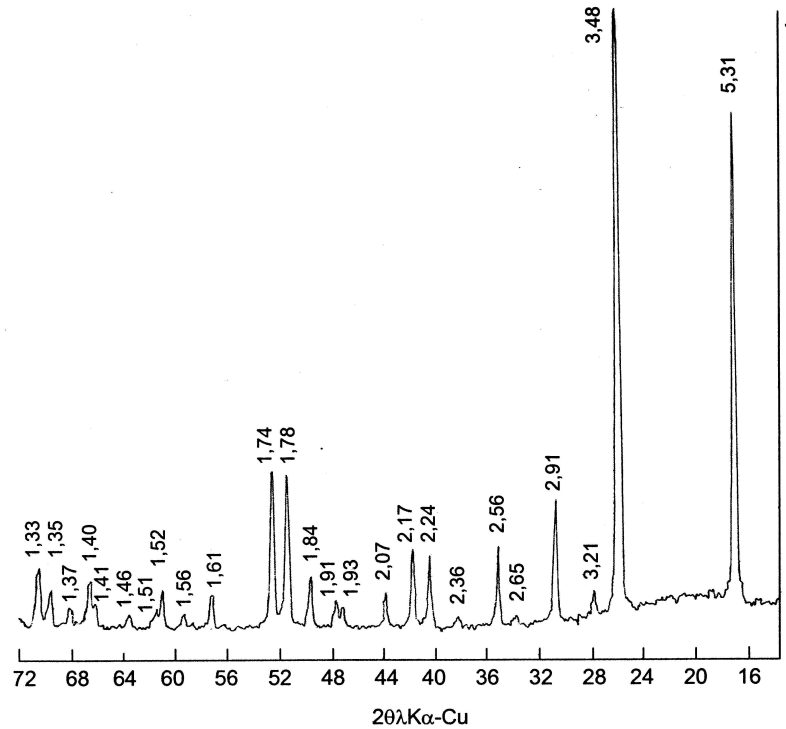


Նկ.1. Ելային լուծույթում մոլիբդենի կոնցենտրացիայի և pH-ի կախումը օքսիդիչի հավելման քանակությունից

Ինչպես երևում է նկ.1-ում բերված գրաֆիկներից, ջրածնի պերօքսիդի մինչև 125 մգ/լ ավելացումով ձեռք է բերվում մոլիբդատ իոնների գրեթե ամբողջովին նստեցում, ինչը հաստատվում է լուծույթի pH-ի մեծացմամբ՝ մինչև 5,5 արժեքի: Ընդ որում՝ մաքրման գործընթացը սկզբնական շրջանում ընթանում է կինետիկական ռեժիմում բարձր արագությամբ, որն աստիճանաբար պակասում է մոլիբդենի կոնցենտրացիայի նվազմանը զուգընթաց:

Մաքրված լուծույթից ամոնիումի պերտենատի նստեցումը կատարվել է ամոնիումի քլորիդի օգնությամբ՝ հավելելով այն ստեխիոմետրիկ քանակության 10 %-ի ավելցուկով: Ստացված ամոնիումի պերտենատը այնուհետև ենթարկվել է ռենտգենաֆազային վերլուծության (ԺՀԿձ-2,0, Cu K_{α} -ճառագայթմամբ): Դիֆրակտոգրի

(նկ.2) վրա հստակորեն երևակվում են պերոենատի (NH_4ReO_4) բնորոշ դիֆրակցիոն արտացոլումները $d_\alpha = 5,31 \cdot 10^{-10}$ մ; $3,48 \cdot 10^{-10}$ մ; $2,91 \cdot 10^{-10}$ մ; $2,56 \cdot 10^{-10}$ մ; $2,24 \cdot 10^{-10}$ մ և $1,78 \cdot 10^{-10}$ մ միջհարթությունային հեռավորություններով: Քիմիական վերլուծությամբ նույնպես պարզված է, որ ստացված նյութը ամոնիումի պերոենատն է:

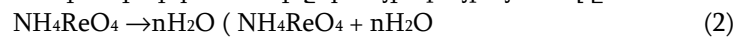


Նկ.2. Տարրալուծման լուծույթից սինթեզված ամոնիումի պերոենատի ռենտգենագիրը

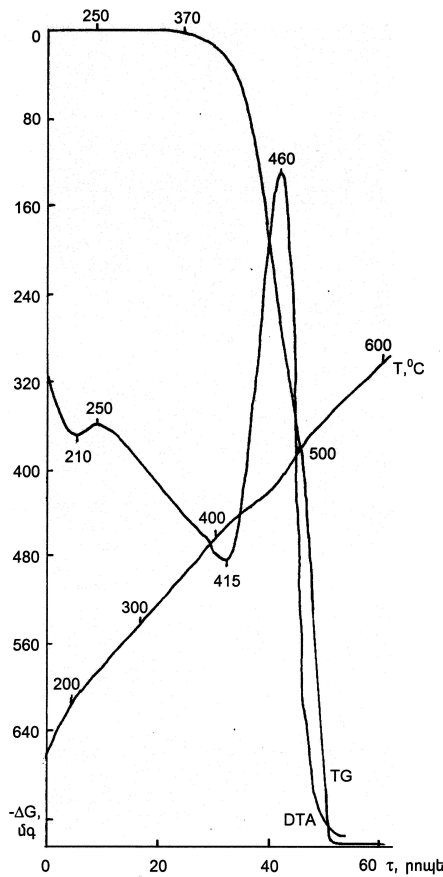
Ամոնիումի պերոենատի (NH_4ReO_4) ջերմային դիսոլյուզիայի կինետիկան և մեխանիզմը հետազոտվել են ջերմաձանրաչափական և դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծության եղանակով «Պատվիկ, Պատվիկ, Էրդել» համակարգի Q-1500D դերիվատոգրաֆի (Հունգարիա) օգնությամբ: Փորձանմուշը տաքացվել է կերամիկական հալքանոթում, օդի միջավայրում, ջերմաստիճանի աճի $10^\circ\text{C}/\text{րոպե}$ անփոփոխ արագությամբ: Որպես էտալոն է ծառայել 1200°C -ում թրծված ալյումինի օքսիդը (Al_2O_3):

Ինչպես երևում է նկ.3-ից, ամոնիումի պերոենատի ջերմային դիսոլյուզիան ընթանում է երկփուլ ռեժիմով:

Գործընթացի առաջին փուլում, մինչև 250°C տաքացումը, տեղի է ունենում չնչին քանակությամբ խոնավության հեռացում նմուշից, որն առաջ է բերում համապատասխան ջերմակլանիչ էֆեկտ՝ DTA կորի վրա: $250 \dots 460^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթը, որն ուղեկցվում է խորը ջերմակլանիչ էֆեկտով (մաքսիմում 415°C -ում), ակնհայտորեն պայմանավորված է ամոնիումի պերոենատի ջերմային քայքայումով ըստ



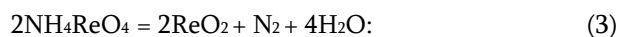
ռեակցիայի, իսկ նմուշի զանգվածի կորուստն արդյունք է այդ ջերմաստիճանային տիրույթում գոլորշու տեսքով անջատված ջրի հեռացման:



Նկ.3. Փորձարարական ամոնիումի պերռենատի ջերմային դիսոցման դերիվատոգիքը. T - նմուշի ջերմաստիճանը, TG - նմուշի զանգվածի փոփոխությունը, DTA - դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծության կորը

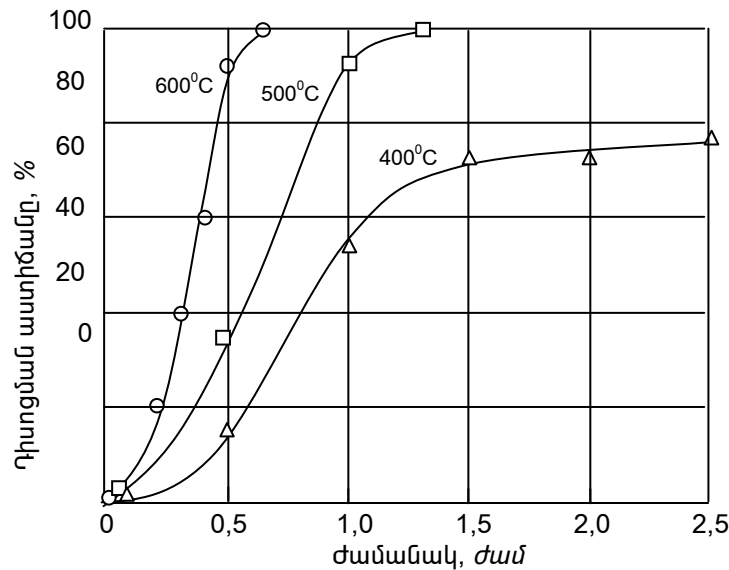
Ընդ որում, նմուշի զանգվածի դանդաղ փոփոխությունը սկզբնական ինկուբացիոն շրջանում (տես TG կորի 250...370 հատվածը), ուղեկցված բավականին մեծ ջերմակլանիչ էֆեկտով, բացատրվում է հին բյուրեղային կառուցվածքի փլուզման և նորի գոյացման համար անհրաժեշտ ակտիվացման էներգիայի արգելագծի հաղթահարման համար կլանվող ջերմության քանակով:

TG և DTA կորերի կտրուկ փոփոխությունները 460°C-ից բարձր ջերմաստիճաններում, հավանաբար, պայմանավորված են ամոնիումի պերռենատի ջերմային դիսոցմամբ՝



Նմուշի զանգվածի ընդհանուր կորուստը 725 $^{\circ}\text{C}$ -ով մեծ ճշտությամբ համապատասխանում է (3) ռեակցիայով անջատված գազային արգասիքների հաշվարկային քանակությանը:

Ըստ [5]-ի՝ ամոնիումի պերոենատը փոխակերպվում է երկօքսիդի մոտ 480°C -ում: Կինետիկական տեսակետից քայքայման պրոցեսն ավտոկատալիտիկ բնույթ ունի, բնորոշ ինկուբացիոն շրջանով, որն առավել հստակորեն է արտահայտված համեմատաբար ցածր ջերմաստիճաններում (նկ. 4):



Նկ. 4. Ամոնիումի պերոենատի դիսոցման կինետիկական կորերը

Ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց դիսոցման արագությունն աճում է, իսկ ինկուբացիոն շրջանի տևողությունը՝ նվազում:

Այսպիսով, ռենիումի բարձր պարունակությամբ տեղական մոլիբդենային խտանյութի ուղղակի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման մոլիբդենով մաքրված լուծույթից ամոնիումի քլորիդով ռենիումն արդյունավետորեն կորզվում է պերոենատի տեսքով: Ամոնիումի պերոենատից ռենիումի երկօքսիդ ստանալու համար ջերմային քայքայման ջերմաստիճանը չպետք է լինի 480°C -ից ավելի բարձր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Зеликман А.Н., Крейн О.Е., Самсонов Г.В.** Металлургия редких металлов.-М.: Металлургия, 1978.-560 с.
2. **Коленкова М.А., Крейн О.Е.** Металлургия рассеянных и легких редких металлов.-М.: Металлургия, 1977.-360 с.
3. **Коровин С.С., Букин В.И., Федоров П.И., Резник А.М.** Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. Кн.3.-М.: МИСИС, 2003.-440 с.
4. **Սարգսյան Լ.Ե., Մինասյան Ա.Գ., Հովհաննիսյան Ա.Մ., Ղուկասյան Ժ.Հ.** Մոլիբդենի և ռենիումի կորզումը թթվային լուծույթներից սոդիում-դետոնանտ եղանակով // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրագրեր. – 2007. – Հ. 4, N 1. – էջ 81 - 84:
5. **Гузеева Т.И., Красильников В.А. и др.** Восстановление перрената аммония водородом из электролизера для производства фтора // Цветные металлы. – 2006. - N7. - С.71-76.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.03.2009:

А.М. ОГАНЕСЯН

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРРЕНАТА АММОНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МОЛИБДЕНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ЕГО ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ

Исследованы процессы извлечения перрената аммония из растворов прямого электрохимического выщелачивания местных молибденовых концентратов и его разложения с целью получения двуоксида рения. Методом термогравиметрического и дифференциально-термического анализов выявлен механизм перехода перренат → двуоксид.

Ключевые слова: концентрат, выщелачивание, перренат аммония, дифференциально-термический анализ, двуоксид рения.

A.M. HOVHANNISYAN

RECOVERY OF AMMONIUM PERRHENAT FROM MOLYBDENITE CONCENTRATE LEACHING SOLUTIONS AND ITS THERMIC DISSOCIATION

The recovery of ammonium perrenat from domestic molybdenite concentrate of direct electrochemical leaching molybdat-rhenat solutions and its dissociation process is investigated in order to obtain pure rhenium trioxide. By the method of thermogravimetric and differential-thermic analysis mechanism for perrenat → bioxide passage is discovered.

Keywords: concentrate, leaching, ammonium perrhenat, differential-thermic analysis, rhenium dioxide.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԹՅԱՆ, Ե.Ռ. ՇԱՄԱՍՅԱՆ

ԶԷԿ-ԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՄԱՔՐՈՒՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԺԱՄԱՆԱԿԱՑՈՒՅՑԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Առաջարկվում է ԶԷԿ-երի մակերևութային կոնդենսատորների պարբերական մաքրումների արդյունավետ ժամանակացույցի որոշման մեթոդ, որը հաշվի է առնում հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի, կոնդենսատորի շոգեբեռնվածքի փոփոխությունների ազդեցությունները: Մեթոդի հիման վրա մշակվել է մաթեմատիկական մոդել, որի միջոցով որոշվում է մաքրումների տրված քանակին համապատասխան դրանց իրականացման արդյունավետ ժամանակացույցը տարվա կտրվածքով:

Առանցքային բառեր. ջերմային էլեկտրակայան, մակերևութային կոնդենսատոր, ռեգրեսիոն վերլուծություն, նստվածքային շերտի հաստություն, մաքրման պարբերություն:

Ջերմային էլեկտրակայանների աշխատանքային ցուցանիշների վրա ազդող հիմնական գործոններից մեկը կոնդենսատորների խողովակների ներսի պատերին տեղի ունեցող նստվածքագոյացումն է: Այդ պատճառով մեծ նշանակություն ունի կոնդենսատորի հովացման ներքին մակերևութների վիճակի մշտական հսկողությունը և արդյունավետ ժամանակամիջոցներում պարբերական մաքրումների իրականացումը:

Նվազագույն ծախսեր ապահովող մաքրումների պարբերությունը նպատակահարմար է որոշել որևէ բնութագրիչ ժամանակահատվածի համար: Այդպիսի ժամանակահատված կարող է լինել մեկ տարին կամ կապիտալ վերանորոգումների միջև ընկած ժամանակամիջոցը: Այդ դեպքում հնարավոր է դառնում ընտրել մաքրման նպատակով բլոկի կանգառման կամ բեռնաթափման այնպիսի ժամանակացույց, որպեսզի ապահովվի նստվածքագոյացմամբ պայմանավորված լրացուցիչ ծախսերի առավելագույն կրճատում:

Կոնդենսատորների աղտոտման ինտենսիվությունը կախված է ոչ միայն ժամանակից, այլև հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանից, հոսքի արագությունից, կոշտությունից, շոգեբեռնվածքից և այլն, որոնք տարվա ընթացքում փոփոխվում են: Բնչ վերաբերում է մաքրումների իրականացմանը, ապա մաքրման տեսակից կախված(քիմիական, ջերմային, մեխանիկական), տարբեր են ինչպես ծախսերը, այնպես էլ մաքրման համար անհրաժեշտ ժամանակը: Հետևաբար, ընդհանուր դեպքում ժամանակային հավասարության պայմանը՝

$$\sum_{i=1}^{n+1} \tau_i^{\text{opt}} + \sum_{i=1}^n \Delta \tau_i = T, \quad (1)$$

որտեղ τ_i^{opt} -ը i -րդից մինչև $i+1$ -րդ մաքրումն ընկած արդյունավետ ժամանակահատվածն է, $\Delta \tau_i$ -ն՝ i -րդ մաքրման տևողությունը, n -ը՝ մաքրումների թիվը տվյալ T բնութագրիչ ժամանակահատվածում:

Խնդրի նպատակն է՝ որոշել մաքրման այնպիսի պարբերություն, որպեսզի ապահովվի կոնդենսատորների աղտոտմամբ պայմանավորված բոլոր ծախսերի

նվազագույն մեծությունը: Այդ ծախսերը կարելի է ներկայացնել երեք հիմնական բաղադրիչների տեսքով.

- ✚ նոսրացման վատացմամբ պայմանավորված վառելիքի գերաժախսի ինտեգրալային մեծություն,
 - ✚ մաքրման ընթացքում պահուստային տուրբոազրեգասներով հզորության ստացմամբ պայմանավորված ծախսեր,
 - ✚ մաքրման համար կատարվող ծախսեր:
- Ընդհանուր տեսքով գրելով լավարկման ենթակա արտահայտությունը՝ կունենանք.

$$\sum_{i=1}^{n+1} \bar{\sigma}_{վառ i} + \sum_{i=1}^n \bar{\sigma}_{վիակ i} + \sum_{i=1}^n \bar{\sigma}_{աշխ i} \rightarrow \min, \quad (2)$$

որտեղ i ինդեքսը վերաբերում է տարվա կտրվածքով i -րդ մաքրման հետ կապված ծախսերին: Հետևաբար, n մաքրումների դեպքում անհրաժեշտ է որոշել n -ին համապատասխան լրացուցիչ ծախսերի գումարի նվազագույն մեծությունը:

Վառելիքի լրացուցիչ ծախսի ինտեգրալային մեծությունը, որը հիմնական բաղադրիչն է, երկու հաջորդական մաքրումների միջև ընկած ժամանակում վառելիքի՝ աղտոտմամբ պայմանավորված գերաժախսի ինտեգրալային արժեքն է: Այսինքն.

$$\bar{\sigma}_{վառ} = C_{վառ} \int_0^{\tau} \Delta B_{աղտ} d\tau, \quad (3)$$

որտեղ $C_{վառ}$ -ը պայմանական վառելիքի 1 կգ-ի արժեքն է, *դրամ/կգ.վ.*, $\Delta B_{աղտ}$ -ը՝ վառելիքի՝ աղտոտմամբ պայմանավորված գերաժախսի չափը, *կգ.վ./ժամ*: Վերջինս կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$\Delta B_{աղտ} = \frac{b_0}{\frac{1}{\Delta N_{տ}^{աղտ}} - \frac{\Delta N_{տ}^t}{N_{տ0} \cdot \Delta N_{տ}^{աղտ}} - \frac{1}{N_{տ0}}}, \quad (4)$$

որտեղ b_0 -ն վառելիքի տեսակարար ծախսն է մաքուր կոնդենսատորի և նրանում նոսրացման նորմատիվային արժեքի դեպքում, *կգ/կՎտ.ժ*, $N_{տ0}$ -ն՝ վերջինիս համապատասխան զարգացրած հզորությունը, *կՎտ*, $\Delta N_{տ}^{աղտ}$ -ը՝ աղտոտման հետևանքով հզորության անկման չափը, *կՎտ*, $\Delta N_{տ}^t$ -ն՝ հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի փոփոխությամբ պայմանավորված հզորության փոփոխման չափը, *կՎտ*:

(4)-ը ստացվում է տեխնիկապես մաքուր և աղտոտված կոնդենսատորով էներգաբլոկի աշխատանքի դեպքում համապատասխան հզորություններ զարգացնելու համար վառելիքի ժամային ծախսերի որոշման բանաձևերի համադրման և պարզեցման արդյունքում:

Ընդ որում՝ $\Delta N_{տ}^{աղտ}$ -ը և $\Delta N_{տ}^t$ -ն որոշվում են հետևյալ պարամետրերի հաշվառումով.

$$\begin{aligned} \Delta N_{տ}^t &= \varphi(t_{1hg}, \beta_D), \\ \Delta N_{տ}^{աղտ} &= \varphi(t_{1hg}, \delta_{ստ}, \beta_D), \end{aligned} \quad (5)$$

որտեղ t_{1h2} -ը հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանն է, $^{\circ}C$, $\delta_{սստ}$ -ը՝ կոնդենսատորի հովացման ներքին մակերևույթներին նստվածքի շերտի միջին հաստությունը, mm , β_D -ն՝ կոնդենսատորի հարաբերական շոգեբեռնվածքը.

$$\beta_D = D_{\text{կ}}/D_{0\text{կ}},$$

որտեղ $D_{\text{կ}}$ -ն և $D_{0\text{կ}}$ -ն մասնակի և հաշվարկային ռեժիմներում բանաձ շոգու ծախսերն են, kg/s :

$\Delta N_t^{\text{արտ}}$ և $\Delta N_t^{\text{է}}$ մեծությունները կարող ենք որոշել [1]-ում առաջարկվող մեթոդիկայի կամ այդ մեթոդիկայի հիման վրա տվյալ էներգաբյուրի համար ստացված մաթեմատիկական մոդելի միջոցով [2]:

Հաշվի առնելով (5) առնչությունը՝ $\Delta B_{\text{արտ}}$ -ը կարող ենք ներկայացնել

$$\Delta B_{\text{արտ}} = \psi(t_{1h2}, \delta_{սստ}, \beta_D) \quad (6)$$

տեսքով:

$\Delta B_{\text{արտ}}$ -ը, վերը բերված փոփոխականներից կախված, կորոշվի հետևյալ բազմանդամային արտահայտությամբ [2].

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{արտ}} = & A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_{11} X_1^2 + A_{12} X_1 X_2 + A_{13} X_1 X_3 + \\ & + A_{22} X_2^2 + A_{23} X_2 X_3 + A_{33} X_3^2 + A_{112} X_1^2 X_2 + A_{113} X_1^2 X_3 + A_{122} X_1 X_2^2 + \\ & + A_{123} X_1 X_2 X_3 + A_{133} X_1 X_3^2 + A_{223} X_2^2 X_3 + A_{233} X_2 X_3^2 + A_{1122} X_1^2 X_2^2 + \\ & + A_{1123} X_1^2 X_2 X_3 + A_{1133} X_1^2 X_3^2 + A_{1223} X_1 X_2^2 X_3 + A_{1233} X_1 X_2 X_3^2 + A_{2233} X_2^2 X_3^2 + \\ & + A_{11223} X_1^2 X_2^2 X_3 + A_{11233} X_1^2 X_2 X_3^2 + A_{12233} X_1 X_2^2 X_3^2 + A_{112233} X_1^2 X_2^2 X_3^2, \end{aligned} \quad (7)$$

որտեղ $A_0, A_1, A_2, \dots$ հաստատուններ են, որոնք որոշվում են ռեգրեսիոն վերլուծության արդյունքում [2]:

Ընդհանուր դեպքում X_1, X_2, X_3 փոփոխական գործոնները կորոշվեն

$$X_1 = \frac{2x_1 - a}{a_1}, X_2 = \frac{2x_2 - b}{b_1}, X_3 = \frac{2x_3 - c}{c_1} \quad (8)$$

արտահայտություններով, որտեղ x_1 -ը, x_2 -ը, x_3 -ը փոփոխականների իրական արժեքներն են (դիտարկվող խնդրի շրջանակներում՝ համապատասխանաբար հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը, նստվածքային շերտի միջին հաստությունը և կոնդենսատորում հարաբերական շոգեբեռնվածքը): a, b, c, a_1, b_1, c_1 գործակիցները, համապատասխանաբար, որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով.

$$\begin{aligned} a = \frac{x_1^{\max} + x_1^{\min}}{2}, b = \frac{x_2^{\max} + x_2^{\min}}{2}, c = \frac{x_3^{\max} + x_3^{\min}}{2}, \\ a_1 = \frac{x_1^{\max} - x_1^{\min}}{2}, b_1 = \frac{x_2^{\max} - x_2^{\min}}{2}, c_1 = \frac{x_3^{\max} - x_3^{\min}}{2}: \end{aligned}$$

(8)-ը տեղադրելով (7)-ում և կատարելով նման անդամների միացում ու պարզեցում՝ կստանանք (7) բազմանդամային արտահայտության իրական փոփոխականներով որոշվող արտահայտություն.

$$\begin{aligned}
\Delta B_{\omega\eta\sigma} = & E_0 + E_1 x_1 + E_2 x_2 + E_3 x_3 + E_{11} x_1^2 + E_{12} x_1 x_2 + E_{13} x_1 x_3 + \\
& + E_{22} x_2^2 + E_{23} x_2 x_3 + E_{33} x_3^2 + E_{112} x_1^2 x_2 + E_{113} x_1^2 x_3 + E_{122} x_1 x_2^2 + \\
& + E_{123} x_1 x_2 x_3 + E_{133} x_1 x_3^2 + E_{223} x_2^2 x_3 + E_{233} x_2 x_3^2 + E_{1122} x_1^2 x_2^2 + \\
& + E_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + E_{1133} x_1^2 x_3^2 + E_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + E_{1233} x_1 x_2 x_3^2 + E_{2233} x_2^2 x_3^2 + \\
& + E_{11223} x_1^2 x_2^2 x_3 + E_{11233} x_1^2 x_2 x_3^2 + E_{12233} x_1 x_2^2 x_3^2 + E_{112233} x_1^2 x_2^2 x_3^2,
\end{aligned} \quad (9)$$

որտեղ E_0 - և, E_1 - ը, E_2 - ը, E_3 - ը, E_{11} - ը, E_{12} - ը... հաստատուն գործակիցներ են:

Կոնդենստորի ներքին մակերևույթներին նստվածքների բացակայության դեպքում վառելիքի գերաժախսը, ինչպես նաև (9) արտահայտության մեջ $\delta_{\text{ստ}}$ չպարունակող գումարելիների ռեգրեսիոն վերլուծության հաստատունները հավասարվում են 0-ի, այսինքն՝ տվյալ դեպքում (9)-ում բազմանդամների քանակը կրճատվում է 9-ով:

Դիտարկենք $\Delta B_{\omega\eta\sigma}$ որոշման վրա ազդող փոփոխականները առանձին- առանձին: Տարվա կտրվածքով փոփոխվում են հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը և շոգեբեռնվածքը: Հետևաբար, հաջորդական մաքրումների միջև ընկած ժամանակահատվածում հովացնող ջրի սկզբնական միջին ջերմաստիճանը՝

$$\bar{t}_{1\text{հջ}} = \frac{\int_{\tau_0+\tau_1+\dots+\tau_i}^{\tau_0+\tau_1+\dots+\tau_{i-1}} t_{1\text{հջ}}(\tau) d\tau}{\tau_i}, \quad (10)$$

որտեղ τ_0 -ն տարվա սկզբից մինչև բնութագրիչ ժամանակահատվածի սկիզբն ընկած օրերի թիվն է, $o\pi$:

Բեռնվածքի փոփոխությանը մասնակցող հզորությունները նույնպես հաստատուն չեն տարվա ընթացքում: Տուրբինի էներգետիկական բնութագիրն իրականում ունի կորագծային բնույթ՝ շատ մոտ ուղղագծային տեսքի, հետևաբար լայնորեն կիրառվում է բնութագրի ուղղագծային բնույթին համապատասխան կախվածությունը՝

$$N/N_0 = D/D_0, \quad (11)$$

որտեղ N -ը և N_0 -ն մասնակի և հաշվարկային հզորություններն են, իսկ D -ն և D_0 -ն՝ մասնակի և հաշվարկային ռեժիմներում թարմ շոգու ծախսերը:

Ըստ Ստոդոլ-Ֆլյուգելի բանաձևի՝

$$D/D_0 = D_u/D_{0u} = \beta_D: \quad (12)$$

Արդյունքում կունենանք.

$$N/N_0 = D_u/D_{0u} = \beta_D: \quad (13)$$

Հետևաբար՝ ունենալով հզորության փոփոխման կորը տարվա կտրվածքով, կարելի է որոշել հզորության միջին ինտեգրալային մեծությունը.

$$\overline{N}_i = \frac{\int_{\tau_0+\tau_1+\dots+\tau_i} N(\tau) d\tau}{\tau_i} : \quad (14)$$

Հաշվի առնելով (13)-ը՝ կոնդենսատորի շոգեբեռնվածքի համար կունենանք.

$$\overline{N}_i / N_0 = \overline{D}_{0i} / D_{00} = \overline{\beta}_D, \quad (15)$$

որտեղ $\overline{D}_{0i}$ -ն կոնդենսատորի շոգեբեռնվածքի միջին ինտեգրալային արժեքն է:

(9)-ում երրորդ փոփոխականը նստվածքային շերտի միջին հաստությունն է, որը, ժամանակից կախված, նույնպես փոփոխվում է: [3]-ում առաջարկվում է կոնդենսատորների խողովակների ներքին պատերի 1 մ² մակերեսին նստվածքագոյացման որոշման հետևյալ էմպիրիկ բանաձևը.

$$J = 0,6 \cdot \left(\frac{L}{d_g} \right)^{0,25} w^n \mathcal{K}^k t^{-q} \tau^{0,5}, \quad (16)$$

$$n = -0,13 \cdot \tau^{1/3}; k = 0,02 \cdot \tau^{1/3}; q = 0,05 \cdot \tau^{1/4},$$

որտեղ L -ը խողովակի երկարությունն է, d_g -ը՝ խողովակի ներքին տրամագիծը, w , t -ն՝ հովացնող ջրի կոշտությունը, d_g - t -ն՝ հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանը, $^{\circ}C$, w -ն՝ հովացնող ջրի միջին արագությունը, $մ/վ$, τ -ն՝ կոնդենսատորի երկու հաջորդական մաքրումների միջև ընկած ժամանակահատվածը, $ժ$:

(16) արտահայտությունը ստացվել է բազմաթիվ փորձարկումների տվյալների ընդհանրացման արդյունքում, որոնք ընդգրկում էին խողովակների երկարության 1...8 $մ$, տրամագծի՝ 17...28 $մմ$, խողովակներով հովացնող ջրի հոսքի արագության 0,7...2 $մ/վ$ տիրույթները [4]: Հաշվի առնելով, որ միջին և բարձր հզորության շոգետուրբինների կոնդենսատորները երկքայլանի են, և յուրաքանչյուր քայլում խողովակների երկարությունը տատանվում է հիմնականում 8...9 $մ$ սահմաններում, որոշենք աղտոտվածությունը յուրաքանչյուր քայլում.

$$J_I = 0,6 \cdot \left(\frac{L}{d_g} \right)^{0,25} w^n \mathcal{K}^k t_I^{-q} \tau^{0,5}, \quad (17)$$

$$J_{II} = 0,6 \cdot \left(\frac{L}{d_g} \right)^{0,25} w^n \mathcal{K}^k t_{II}^{-q} \tau^{0,5}, \quad (18)$$

որտեղ t_I -ը և t_{II} -ը հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճաններն են առաջին և երկրորդ քայլերում: Ընդունելով, որ յուրաքանչյուր քայլում ջուրը տաքանում է հավասարաչափ, t_I -ը և t_{II} -ը կորոշվեն.

$$t_I = t_{1h2} + \Delta t / 4, \quad (19)$$

$$t_{II} = t_{1h2} + 3 \cdot \Delta t / 4 \quad (20)$$

արտահայտություններով, որտեղ t_{1h2} -ը որոշվում է (10) արտահայտությամբ, իսկ Δt -ն՝

$$\Delta t = \frac{\Delta i_{\text{կ}} \bar{\beta}_{\text{D}} D_{0\text{կ}}}{c_{\text{հզ}} G_{\text{հզ}}} : \quad (21)$$

(16)-ում w -ն որոշվում է անխզելիության հավասարման միջոցով.

$$w = \frac{G_{\text{հզ}}}{\frac{\pi d^2}{4} n \rho}, \quad (22)$$

որտեղ n -ը կոնդենսատորի խողովակների թիվն է մեկ քայլում, ρ -ն՝ ջրի խտությունը, kg/m^3 :

Ունենալով աղտոտվածության մեծությունը՝ դժվար չէ ստանալ կոնդենսատորի ներքին մակերևույթին նստվածքի շերտի հաստության միջին արժեքը [1].

$$\delta_{\text{նստ}} = \frac{\bar{J}}{\rho_{\text{նստ}}}, \quad (23)$$

որտեղ

$$\bar{J} = \frac{J_{\text{I}} + J_{\text{II}}}{2} = \frac{0,6 \left(\frac{L}{d_{\text{գ}}} \right)^{0,25} w^n \mathcal{K}^* \bar{t}_{\text{I}}^q \tau^{0,5} + 0,6 \left(\frac{L}{d_{\text{գ}}} \right)^{0,25} w^n \mathcal{K}^* \bar{t}_{\text{II}}^q \tau^{0,5}}{2} = \frac{0,6 \left(\frac{L}{d_{\text{գ}}} \right)^{0,25} w^n \mathcal{K}^* \tau^{0,5}}{2} (\bar{t}_{\text{I}}^q + \bar{t}_{\text{II}}^q): \quad (24)$$

(24) արտահայտությունը տեղադրելով (23)-ում՝ ստանում ենք նստվածքի շերտի որոշման արտահայտությունը՝ կախված ժամանակից, որն էլ տեղադրելով (9)-ում, կստանանք $\Delta B_{\text{աղտ}}$ -ի՝ ինտեգրման ենթակա արտահայտություն: Ինչ վերաբերում է հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի և հարաբերական շոգեբեռնվածքի մեծություններին, ապա մոդելում դրանք որոշվում են ցիկլում նախօրոք ընտրված հերթական ժամանակահատվածի համար: Հետևաբար (9)-ում փոփոխականը $\delta_{\text{նստ}}$ -ն է:

Վերոնշյալը հաշվի առնելով և կատարելով (9) արտահայտության պարզեցում ու նման անդամների խմբավորում, կստանանք.

$$\Delta B_{\text{աղտ.}} = M \delta^2 + K \delta, \quad (25)$$

որտեղ

$$M = \left(E_{112233} \bar{t}_{\text{I}}^2 \bar{\beta}_{\text{D}}^2 + E_{11233} \bar{t}_{\text{I}} \bar{\beta}_{\text{D}}^2 + E_{11223} \bar{t}_{\text{I}}^2 \bar{\beta}_{\text{D}} + E_{1133} \bar{\beta}_{\text{D}}^2 + \right. \\ \left. + E_{1123} \bar{t}_{\text{I}} \bar{\beta}_{\text{D}} + E_{1122} \bar{t}_{\text{I}}^2 + E_{113} \bar{\beta}_{\text{D}} + E_{112} \bar{t}_{\text{I}} + E_{11} \right) \\ K = \left(E_{112233} \bar{t}_{\text{I}}^2 \bar{\beta}_{\text{D}}^2 + E_{11223} \bar{t}_{\text{I}}^2 \bar{\beta}_{\text{D}} + E_{11233} \bar{t}_{\text{I}} \bar{\beta}_{\text{D}}^2 + E_{1122} \bar{t}_{\text{I}}^2 + E_{1123} \bar{t}_{\text{I}} \bar{\beta}_{\text{D}} + \right. \\ \left. + E_{1133} \bar{\beta}_{\text{D}}^2 + E_{112} \bar{t}_{\text{I}} + E_{113} \bar{\beta}_{\text{D}} + E_{11} \right):$$

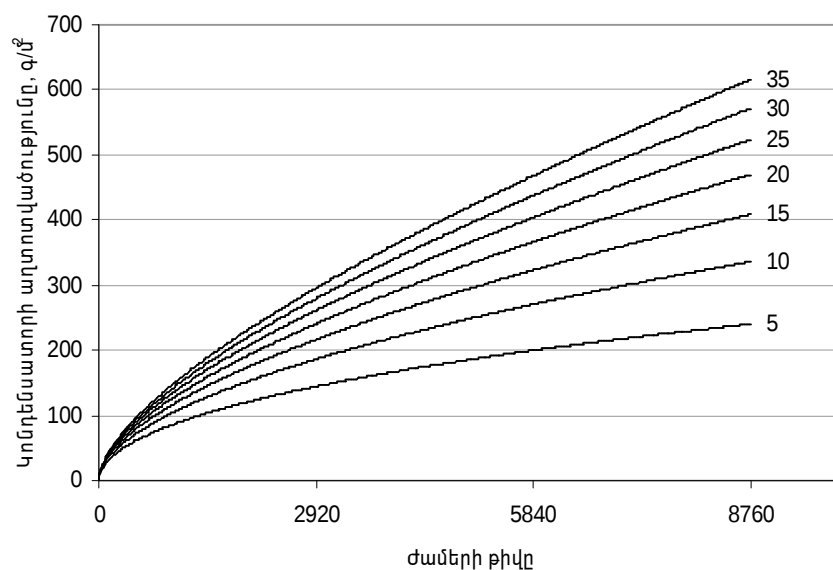
(23)-ը հաշվի առնելով՝ կունենանք.

$$\Delta B_{\text{աղտ.}} = M \left(\frac{\bar{J}}{\rho_{\text{նստ.}}} \right)^2 + K \left(\frac{\bar{J}}{\rho_{\text{նստ.}}} \right): \quad (26)$$

(26)-ից պարզ է, որ առաջանում է (24) արտահայտության ինտեգրման անհրաժեշտություն: Հաճախ անհրաժեշտ է լինում աղյուսակի կամ գրաֆիկի տեսքով տրված ֆունկցիայի համար ստանալ անալիտիկ արտահայտություն: Նմանատիպ խնդիր առաջանում է նաև անալիտիկորեն տրված այնպիսի ֆունկցիաների համար, որոնք շատ

բարդ են և պիտանի չեն պահանջվող գործողությունների համար (օրինակ՝ ֆունկցիան պետք է ինտեգրել, բայց այն չունի նախնական ֆունկցիա, այսինքն՝ հնարավոր չէ արտահայտել պարզ ֆունկցիայի տեսքով): Այդպիսի դեպքերում իրականացվում է տրված $f(x)$ ֆունկցիայի մոտարկում այլ՝ $\psi(x)$ ֆունկցիայով:

Ուսումնասիրությունները [5,6] ցույց են տալիս, որ (24) արտահայտությունը հնարավոր չէ ինտեգրել, այսինքն, չունի նախնական ֆունկցիա, որի ածանցումով ստացվեր (24) բանաձևը: Այդ պատճառով (24) արտահայտությունը փոխարինենք մեկ այլ ֆունկցիայով, որը զերծ կլինի վերը նշված դժվարություններից: Այդ նպատակով հետազոտենք (24) ֆունկցիան: Վերջինիս կախվածությունը ժամանակից արտահայտող կորերն ունեն հետևյալ տեսքը (նկ. 1).



Նկ.1. 200-ԽՃԽ-2 կոնդենսատորի աղտոտվածության կախվածությունը ժամանակից՝ հովացնող ջրի տարբեր սկզբնական ջերմաստիճանների դեպքում

Նկարում պատկերված կորերի մոտարկումը նպատակահարմար է $y=ax^b$ ֆունկցիայի տեսքով [7]: Մոտարկման արդյունքում կստանանք հետևյալ առնչությունը.

$$\bar{J} = 10 \frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1} \cdot \tau \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \quad (27)$$

որտեղ $Y_1 = \lg \bar{J}_1, Y_2 = \lg \bar{J}_2, X_1 = \lg \tau_1, X_2 = \lg \tau_2$:

Քանի որ ժամերի քանակը սահմանափակվում է 1 տարվա կտրվածքով, այսինքն՝ τ -ն տատանվում է $0...8760$ ժամ սահմաններում, ապա այդ միջակայքում ընտրված երկու տարբեր տևողությունների համար (24)-ով որոշվում են համապատասխան աղտոտվածության մեծությունները: τ_1 -ի և τ_2 -ի արժեքները նպատակահարմար է ընտրել $0...8760$ միջակայքը բաժանելով 3 հավասար մասերի, այսինքն՝ $\tau_1 = 2920$ ժամ և $\tau_2 = 5840$ ժամ:

Հաշվի առնելով (27) բանաձևը՝ կստանանք.

$$\Delta B_{\text{աղտ}} = M \left(\frac{\frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1} \cdot \tau}{\rho_{\text{ցստ}}} \right)^2 + K \left(\frac{\frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1} \cdot \tau}{\rho_{\text{ցստ}}} \right) : \quad (28)$$

Վերջինս տեղադրելով (3)-ում և ինտեգրելով՝ կստանանք հետևյալ արտահայտությունը.

$$\bar{\sigma}_{\text{վառ}} = C_{\text{վառ}} \left[\frac{M \cdot 10 \cdot \frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1}}{(\rho_{\text{ցստ}})^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1} \cdot \tau_{\text{opt}}^{\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1 \right)} + \frac{K \cdot 10 \cdot \frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1}}{\rho_{\text{ցստ}}} \cdot \frac{1}{\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1} \cdot \tau_{\text{opt}}^{\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1 \right)} \right] : \quad (29)$$

Լրացուցիչ ծախսերի երկրորդ բաղադրիչը փակող էլեկտրաէներգիայով պայմանավորված ծախսերն են, ընդ որում՝ հնարավոր է լրիվ կամ մասնակի բեռնաթափման (մինչև 50 %) ընտրության խնդիր: Վերջինս վերաբերում է երկիրան կոնդենսատորներին, երբ մաքրման է ենթարկվում նախ մեկ, ապա մյուս իրանը՝ դրանով իսկ խուսափելով բլոկի կարճաժամկետ կանգնեցումից: Փակող էլեկտրաէներգիայով պայմանավորված ծախսերն առաջանում են պահուստային ագրեգատների ավելի ցածր շահավետությունից կախված, երբ 1 կՎտ/ժ էլեկտրաէներգիա արտադրելու համար պահուստային տեղակայանքում պահանջվում է ավելի շատ պայմանական վառելիք՝ $b_t^{\text{պահ.}}$, քան տվյալ տեղակայանքում՝ b_t : Շոգետուրբինի մասնակի բեռնաթափման դեպքում լրացուցիչ ծախսերը կորոշվեն հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\bar{\sigma}_{\text{իհակ}} = C_{\text{վառ}} \cdot \Delta \tau (N_{\text{պահ}} b_t^{\text{պահ.}} + 0,5 N_0 b_t^{0,5} - (N_{\text{պահ}} + 0,5 N_0) b_t) + C_{\text{վառ}} \Delta B_{\text{թող}}^{\text{պահ}}, \quad (30)$$

որտեղ $N_{\text{պահ}}$ -ը պահուստային ագրեգատի հզորությունն է.

$$N_{\text{պահ}} = N_{\text{բեռնթ. առաջ}} \cdot (1 - c), \quad (31)$$

որտեղ c -ն մաքրման նպատակով բեռնաթափված բլոկի հզորության և բեռնաթափումից առաջ ունեցած հզորության հարաբերությունն է.

$$c = \frac{N_{\text{բեռնթ}}}{N_{\text{բեռնթ. առաջ}}}, \quad (32)$$

$b_t^{0,5}$ -ն 50 % բեռնվածքին համապատասխանող պայմանական վառելիքի տեսակարար ծախսն է, կՎ/կՎտժ, $\Delta B_{\text{թող}}^{\text{պահ}}$ -ը՝ պահուստային ագրեգատի թողարկման համար վառելիքի ծախսը, կգ:

Լրիվ բեռնաթափման դեպքում (30) արտահայտությունը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$\bar{\sigma}_{\text{իհակ}} = C_{\text{վառ}} N_{\text{պահ}} \Delta \tau (b_t^{\text{պահ}} - b_t) + C_{\text{վառ}} (\Delta B_{\text{թող}}^{\text{պահ}} + \Delta B_{\text{թող}}), \quad (33)$$

որտեղ $\Delta B_{\text{թող}}$ -ը դիտարկվող բլոկի թողարկման վրա վառելիքի ծախսն է, *կգ*:

Փակող էլեկտրաէներգիայով պայմանավորված ծախսերը կարող են լինել «բացասական», այսինքն՝ հնարավոր է պակասող բեռնվածքի շահավետ փոխարինում: Օրինակ՝ ատոմային էլեկտրակայանների դեպքում, որոնք, ինչպես հայտնի է, գործում են բեռնվածքների գրաֆիկի բազիսային տիրույթում, մաքրումների ընթացքում հնարավորություն է ստեղծվում հզորության փոխարինումն իրականացնել գրաֆիկի կիսագագաթնային և գագաթնային տիրույթում գտնվող տեղակայանքների բեռնավորմամբ՝ դրանով իսկ վառելիքը տնտեսելով: Կամ ընդհանուր դեպքում, երբ մասնակի կամ լրիվ բեռնաթափման ընթացքում հզորության պակասը լրացվում է էներգահամակարգում գործող ագրեգատների բեռնավորմամբ մինչև հաշվարկային ռեժիմ: Այդ դեպքում (30) և (33)-ը կորոշվեն համապատասխանաբար

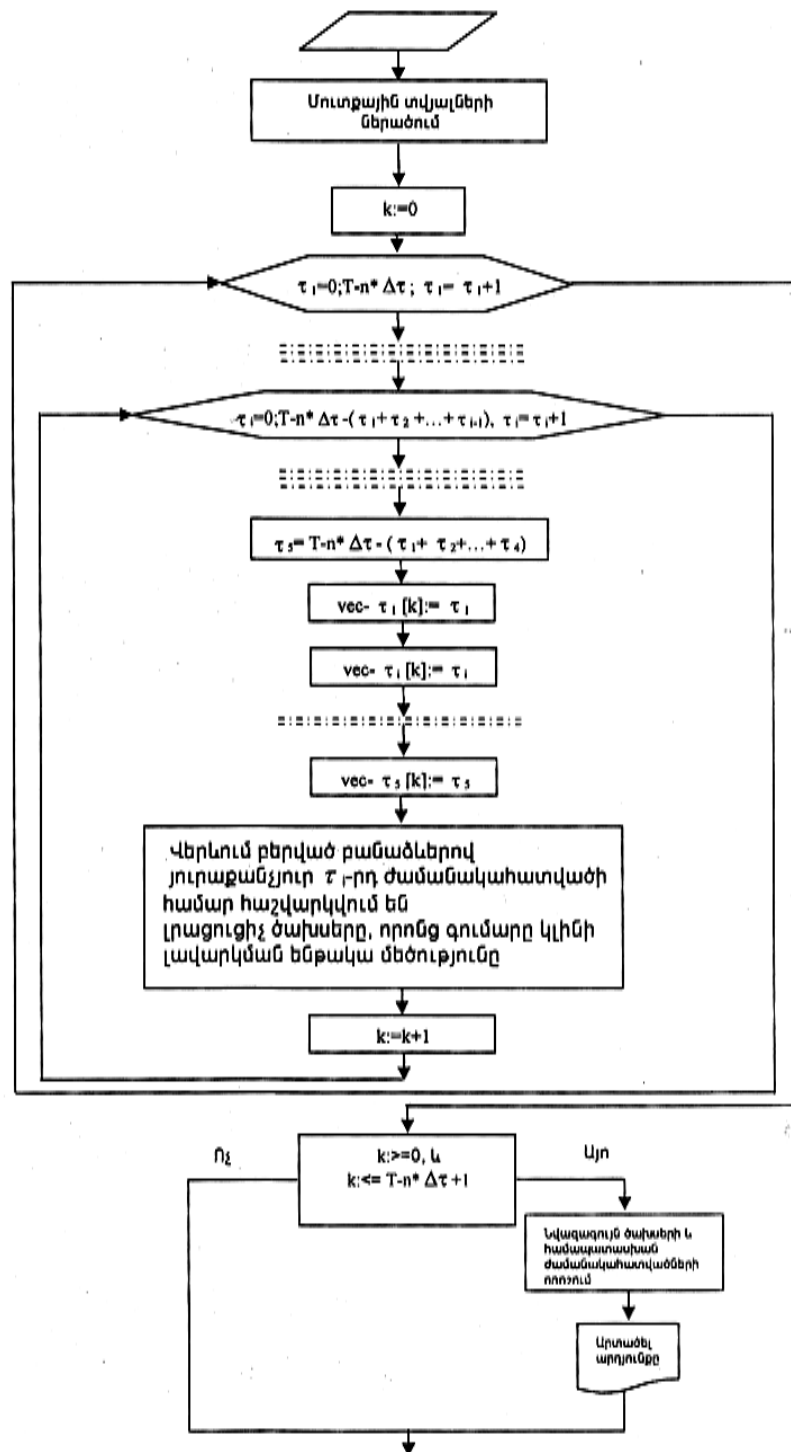
$$\bar{O}_{\text{իսկ}} = -C_{\text{վառ}} N_{\text{էհ}} \Delta \tau \Delta b_{\text{էհ}} + 0,5 C_{\text{վառ}} \Delta \tau N_0 b_{\text{է}}^{0,5}, \quad (34)$$

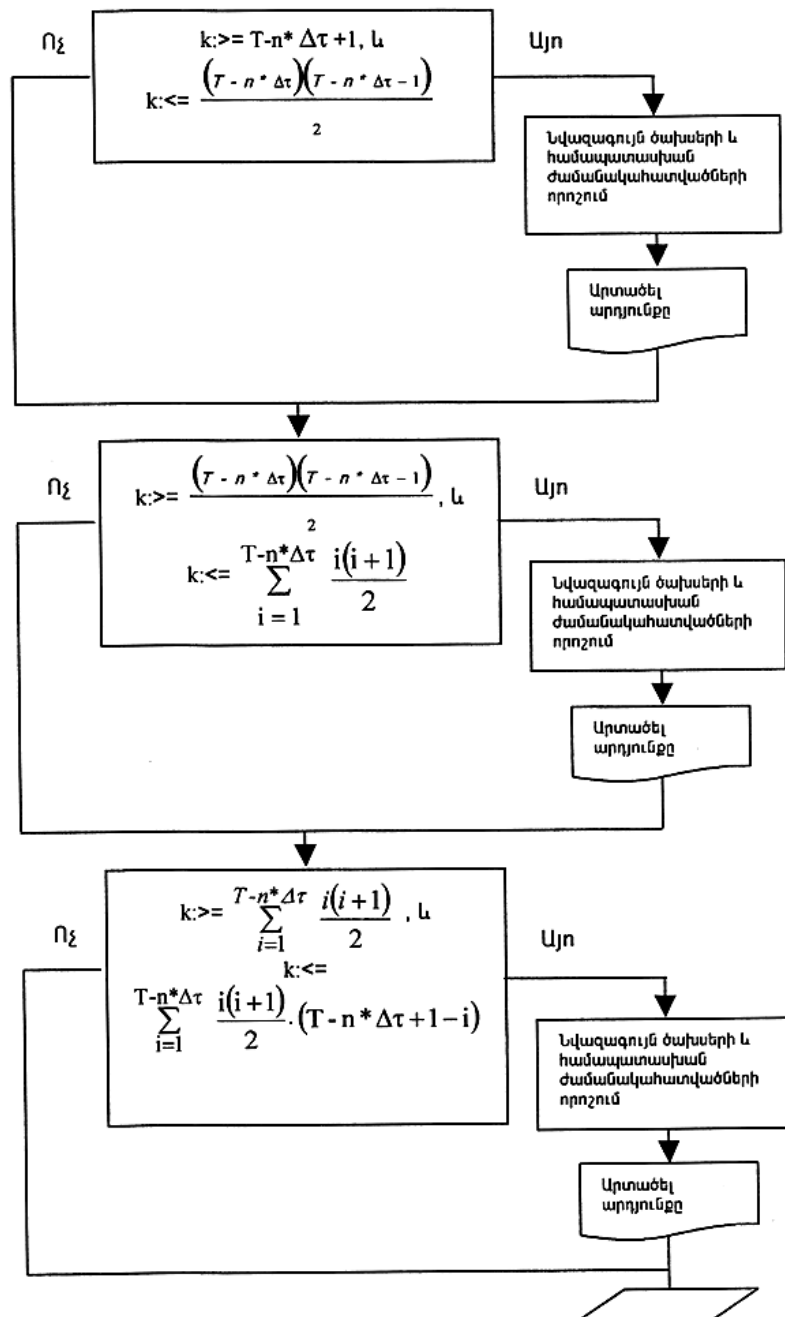
$$\bar{O}_{\text{իսկ}} = -C_{\text{վառ}} N_{\text{էհ}} \Delta \tau \Delta b_{\text{էհ}} + \Delta B_{\text{թող}} \quad (35)$$

բանաձևերով որտեղ $N_{\text{էհ}}$ -ն էներգահամակարգի բեռնավորմանը մասնակցող կայանների գումարային հզորությունն է, *կՎտ*, $\Delta b_{\text{էհ}}$ -ը՝ բեռնավորման արդյունքում վառելիքի տեսակարար ծախսի փոքրացման չափը, *կգ/կՎտժ*:

Եթե մաքրումների ժամանակը կարճ է, ապա բեռնվածքի փակման գագաթնային և կիսագագաթնային տիրույթում գործող բլոկների կոնդենսատորները կարելի է մաքրել բեռնվածքի գիշերային անկումների ժամանակ. այդ դեպքում $\bar{O}_{\text{իսկ}} = 0$:

Մաքրման համար կատարվող ծախսերն իրենց հերթին գոյանում են էներգառեսուրսների, օգտագործվող նյութերի, ինչպես նաև մաքրման տեղակայանքի հավաքման, մաքրման իրականացման և անձնակազմի հերթապահության հետ կապված բոլոր ծախսերից: Այդ ծախսերի որոշումը կախված է մաքրման տվյալ տեսակից և պահանջում է առանձնահատուկ մոտեցում մաքրման տվյալ տեսակին: Այն ուղղակի կներկայացնենք $\bar{O}_{\text{աշխ}}$ գումարային տեսքով: Ստորև ներկայացված է մոդելի բլոկ սխեման (նկ. 2).





Նկ. 2. ՋԷԿ-երի մակերևութային կոնդենսատորների պարբերական մաքրումների արդյունավետ ժամանակացույցի որոշման մոդելի բլոկ սխեման

Մոդելը հնարավորություն է տալիս որոշել ոչ միայն նվազագույն ծախսեր ապահովող մաքրումների քանակը, այլև տարվա ընթացքում ցանկացած թվով մաքրումներ իրականացնելիս՝ ամենաարդյունավետ պարբերությունը: Բացի դրանից, կարելի է որոշել նաև նվազագույն ծախսերին առավել մոտ ծախսեր ապահովող պարբերությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Մարուխյան Ո.Ջ., Շամամյան Ե.Ռ. ՋէԿ-երի մակերևութային կոնդենսատորների աղտոտման հետևանքով ջերմային ռեժիմի փոփոխության հաշվարկի մեթոդ//ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. -2009.-Հ.62, N2.- էջ 163-170:
Շամամյան Ե.Ռ. ՋէԿ-երի մակերևութային կոնդենսատորների աղտոտման հետևանքով էլեկտրական հզորության անկման մաթեմատիկական մոդելի մշակումը// ՀՀԱԱ.-2009.-Հ.6, N3.-էջ 377-380:
2. **Буглаев В.Т., Лифшиц М.Н., Татаринцева Т.И.** Некоторые особенности процесса отложений в трубках конденсаторов ПТУ // Известия вузов. Серия Машиностроение.-1983.- N 7.-С. 56-59.
3. **Буглаев В.Т., Татаринцева Т.И.** Исследование влияния солевых отложений в аппаратах на процесс теплообмена// Известия вузов. Энергетика.-1978.- N 10.- С.81-85.
4. **Бермант. А.Ф.** Курс математического анализа.-М.: Изд-во техн.-теор. лит-ры, 1955.- 466 с.
5. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров.-М.: Наука, 1984.-831 с.
6. **Бронштейн И. Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов.- М.: Наука, 1964.- 608 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 07.06.2009:

В.З. МАРУХЯН, Е.Р. ШАМАМЯН РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СРОКОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ТЭС

Предлагается метод расчета наивыгоднейших сроков периодической чистки поверхностных конденсаторов ТЭС, который учитывает влияние изменения начальной температуры охлаждающей воды и расхода пара в конденсаторе. На основе предложенного метода разработана математическая модель, с помощью которой определяются оптимальные сроки чистки, соответствующие заданному количеству чисток в году.

Ключевые слова: тепловая электростанция, поверхностный конденсатор, регрессионный анализ, толщина слоя накипи, периодичность чистки.

V.Z. MARUKHYAN, Y.R. SHAMAMYAN DEVELOPMENT OF A METHOD DEFINING THE OPTIMAL CLEANING PERIOD OF TPP SURFACE CONDENSERS

A method for calculating the optimal dates of the TPP surface condensers periodic cleaning which includes the influence of the primary temperature of cooling water and the consumption of vapour changings is proposed. A model which determines the optimal dates of cleaning appropriate to the given quantity of cleanings per year on the basis of this method is developed.

Keywords: thermal power plant, surface condenser, regression analysis. scale formation thickness, cleaning period.

В.К. САРКИСЯН, Р.Е. САРКИСЯН

НЕКОТОРЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СЕЙСМОМЕТРИИ

Исследуются вопросы необходимого динамического диапазона, предела погрешности сейсмометров, уточняются их основные метрологические характеристики. Обосновывается, что измерение сейсмических колебаний одним прибором с динамическим диапазоном 120 дБ и погрешностью менее 3 % нереально. Сейсмометры в обязательном порядке должны пройти поверку на аттестованном вибростенде.

Ключевые слова: метрология, погрешность, динамический диапазон, сейсмометр, акселерометр.

Многолетняя работа в области сейсмометрии в Республике Армения привела к заключению, что вопросам метрологии в сейсмометрии не уделяется должного внимания, при этом каждый исследователь имеет свой подход к вопросам метрологии. В результате нарушается единство и точность измерения в сейсмометрии. В рекламной литературе по сейсмометрии встречаются сейсмометры с погрешностью 0,2 дБ [1] и с динамическим диапазоном 155 дБ [2]. При этом не разъясняется, что понимается под “погрешностью” (какая погрешность, или это повторяемость показаний), что означает “динамический диапазон измеряемого параметра” (или возможная точность отсчета, разрядность преобразователя).

Целью настоящей работы является уточнение основных метрологических характеристик сейсмометров, обоснование их необходимого динамического диапазона измерения и технически возможного предела основной погрешности. Обсуждаются проблемы инженерной сейсмологии, т.е. сейсмометров, предназначенных для решения главного вопроса инженерной сейсмологии, а именно: определение для данной строительной площадки максимальных значений скорости или ускорения колебаний почвы и частоты этих колебаний. В инженерной сейсмологии в отличие от региональной сейсмологии нижний предел частоты колебаний почвы принято считать 0,2 Гц.

Для четкости уточним некоторые метрологические понятия, встречающиеся в сейсмометрии. Из теории сейсмометрии [3,4] известно, что колебания маятника будут пропорциональны:

- амплитуде колебаний почвы, если собственная частота маятника более чем в два раза меньше частоты колебания почвы, а относительное затухание маятника находится в пределах 0,55...0,65. Верхний предел измеряемых колебаний ограничивается резонансом деталей сейсмометра;

- скорости колебания почвы, если относительное затухание маятника больше единицы (желательно $D \geq 5$), причем нижний и верхний пределы частоты измеряемых колебаний определяются формулами

$$f_{\min} = f_0 / D, \quad f_{\max} = f_0 D,$$

где f_0 - собственная частота маятника; D - относительное затухание;

- ускорению колебаний почвы, если собственная частота маятника больше частоты колебания почвы и чем больше, тем шире диапазон измерения колебаний почвы.

Каждый сейсмометр состоит из двух основных частей – маятника, который является чувствительным элементом параметров колебаний в зависимости от параметров маятника, и преобразователя колебания маятника в электрический сигнал.

В качестве преобразователя используют емкостный, электродинамический и т.д. датчики.

Следует отметить, что электродинамический датчик является дифференцирующим звеном, так как его выходное напряжение пропорционально скорости движения катушки в магнитном поле. Поэтому, если измерять электродинамическим датчиком колебания маятника, предназначенного для измерения скорости почвы, то выходной сигнал будет пропорциональным ускорению почвы.

Метрологические характеристики сейсмометра зависят от метрологических характеристик маятника и преобразователя.

Метрологическими характеристиками сейсмометра маятника являются:

- нелинейность амплитудной характеристики, которая определяет зависимость выходного сигнала сейсмометра от колебания почвы на базовой частоте;

- неравномерность амплитудно-частотной характеристики, которая определяет зависимость выходного сигнала от частоты колебания почвы при постоянной амплитуде;

Как правило, эти зависимости имеют отклонения от линейности, что характерно для данного маятника, и являются систематическими погрешностями, которые, в принципе, можно учесть как поправки.

Основной метрологической характеристикой преобразователя является его коэффициент преобразования или чувствительность. Его погрешность является случайной погрешностью.

Обобщая вышеизложенное, приходим к заключению, что предел суммарной средней квадратической погрешности сейсмометра должен определяться согласно ГОСТ 8 207-76 [5] по формуле

$$S^2 = \frac{(Q_{\max}^f)^2}{3} + \frac{(Q_{\text{mfx}}^a)^2}{3} + \sigma(K_i)^2,$$

где $Q_{\max}^a$, $Q_{\max}^f$ – максимальные значения нелинейности амплитудной и неравномерности амплитудно-частотной характеристик; $\sigma(K_i)$ – средняя квадратическая ошибка коэффициента преобразования. Затем согласно ГОСТ 8 207-76 следует определить предел погрешности измерений по формуле

$$\Delta = k S,$$

где коэффициент k зависит от соотношений случайной и систематической погрешностей (ГОСТ 8 207-76). Истинным значением измеряемой величины будет среднее арифметическое полученных результатов наблюдений с найденным отклонением:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \pm k S.$$

Часто в технических характеристиках виброизмерительной аппаратуры нормируется не суммарная погрешность, а отдельно нелинейность амплитудной характеристики, неравномерность амплитудно-частотной характеристики и коэффициент преобразования (или чувствительность).

Рассмотрим вопросы оценки диапазона измерения и погрешности измерения сейсмометра. В инженерной сейсмологии принято, что частотный диапазон сейсмических колебаний находится в пределах 0,2 ... 50 Гц с динамическим диапазоном амплитуд колебаний 120 дБ.

Для обоснования динамического диапазона обсудим шкалу балльности MKS- 64 [6].

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что отношение максимальных и минимальных амплитуд составляет 1066 или ~60 дБ, т. е. в сейсмологии для регистрации землетрясений силой от 1 до 10 баллов надо иметь сейсмометры с динамическим диапазоном измерений амплитуд ~60 дБ.

Таблица 1

Сила землетрясения в баллах	Максимальное ускорение почвы, см/с ²	Максимальная скорость почвы, см/с	Максимальное смещение по сейсмометру СБМ, см
1	0,75...1,5	0,06...0,175	0,03...0,06
10	400...800	32,1...64	16,1...32
Максимальный динамический диапазон	800/0,75 =1066	64/0,06 =1066	32/0,03 =1066

Если иметь в виду и землетрясения до 12 баллов, то динамический диапазон увеличивается не более чем до 80 дБ.

Обсудим вопрос реально достигаемого предела погрешности сейсмометров.

Сейсмометр является виброметром, работающим в диапазоне частот 0,2 ...50 Гц. Это означает, что его поверка должна соответствовать ГОСТ 8 138-84 [7]. В этом документе в качестве образцовых средств измерений применяют *виброустановки для воспроизведения* виброускорения в диапазоне $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^4 \text{ м/с}^2$, виброскорости и виброперемещения с доверительной *относительной* погрешностью от $2,5 \cdot 10^{-2}$ до $6 \cdot 10^{-2}$ (2,5 ... 6 %) в диапазоне частот $3 \cdot 10^{-1} \dots 2 \cdot 10^4 \text{ Гц}$, при доверительной вероятности 0,95. Понятно, что рабочие сейсмометры не могут быть точнее образцовых средств воспроизведения колебаний первого порядка, т. е. они должны иметь предел суммарной погрешности результата измерений не менее чем от $2,5 \cdot 10^{-2}$ до $6 \cdot 10^{-2}$ с доверительной вероятностью 0,95 (2,5 ... 6 %).

Отсюда следует, что относительная погрешность 3% является предельной точностью для сейсмометров и должна быть исходной величиной для определения диапазонов измерения сейсмометров, исходя из следующих соображений.

Допустим, что параметры колебаний преобразуются в электрическое напряжение, которое можно надежно измерять с абсолютной погрешностью 5 мВ. Коэффициент преобразования равен

$$K=U/X, \quad (1)$$

где X- ускорение, скорость или смещение; U – выходное напряжение. Имея в виду, что

$$X_{\min} = \frac{U_{\min}}{K}, \quad X_{\max} = \frac{U_{\max}}{K}, \quad \frac{X_{\max}}{X_{\min}} = 1066,$$

при $U_{\min} = 5 \text{ мВ}$ получим

$$U_{\max} = U_{\min} \frac{X_{\max}}{X_{\min}} = 5 \text{ мВ} \cdot 1066 = 5330 \text{ мВ} = 5,33 \text{ В}.$$

Для коэффициента преобразования сейсмометров ускорения, скорости и перемещения получим величины, приведенные в табл. 2. Заметим, что максимальный выходной сигнал будет измерен с относительной погрешностью 0,1%, а минимальный – 1%, что более чем достаточно.

Приведенные в табл.2 коэффициенты преобразования обеспечивают достаточную точность измерения выходного напряжения. Точность же воспроизведения колебаний с заданными параметрами, как показано выше, ограничивается 3%. Отсюда можно сделать вывод, что увеличение точности отсчета выходного напряжения не увеличивает точности измерения скорости или ускорения колебательного процесса. В данном случае увеличение точности отсчета не приводит к увеличению точности измерения, и для преобразования аналогового выходного сигнала сейсмометра в цифровой код достаточно иметь сейсмометры не менее чем 10 и не более чем 12-разрядные аналого-цифровые преобразователи (АЦП), что обеспечивает точность отсчета с относительной погрешностью 0,09 и 0,02 %.

Таблица 2

Параметр	Ускорение	Скорость	Перемещение
Коэффициент преобразования K	$5,33 / 8 =$ $= 0,67 \text{ В} / (\text{м} / \text{с}^2)$ $(\sim 1 \text{ В} / (\text{м} / \text{с}^2))$	$5,33 / 0,64 =$ $= 8,33 \text{ В} / (\text{м} / \text{с})$ $(\sim 10 \text{ В} / (\text{м} / \text{с}))$	$5,33 / 0,32 =$ $= 16,65 \text{ В} / \text{м}$ $(\sim 20 \text{ В} / \text{м})$
$U_{\min} = K X_{\min}$	0,005 В	0,005 В	0,005 В
Максимальный динамический диапазон (см. табл. 1)	$800 / 0,75 = 1066$ $(\sim 60 \text{ дБ})$	$64 / 0,06 = 1066$ $(\sim 60 \text{ дБ})$	$32 / 0,03 = 1066$ $(\sim 60 \text{ дБ})$

Таким образом, приведенные в табл. 3 технические характеристики сейсмометров представляются наиболее реальными и оптимальными.

Таблица 3

	Тип сейсмометра	Диапазон измерения	Диапазон частот, Гц	Коэффициент преобразования	Погрешность, %	Динамический диапазон, дБ
1	Сейсмометр скорости	0,06...6 см/с (1...7 балл)	0,2...20	10 В / (м/с)	3...6	40
2	Сейсмометр ускорения	0,012...1.2 м/с ² (2- 12 балл)	0,2...50	1 В / (м/с ²)		40

В табл. 3 сейсмометры скорости и ускорения имеют общую часть измеряемых величин. Это удобно тем, что для получения записи скорости отпадает интегрирование акселерограммы. Кроме того, при малых колебаниях целесообразно записать скорость ввиду большого коэффициента усиления сейсмометра скорости. При этом, разделяя общий динамический диапазон 80 дБ на две части, увеличим точность измерения на каждом диапазоне.

В последние годы промышленность выпускает микросхемы – акселерометры. Это позволяет, не увеличивая габаритные размеры, иметь в одном корпусе одновременно сейсмометры скорости и ускорения.

Следует также иметь в виду, что при проектировании сооружения по методике СНиП [8] с учетом различных параметров почвы, естественно, делаются некоторые неизбежные округления, которые определяют конечный результат с неизбежной погрешностью 10...20%, что тоже указывает на то, что погрешность определения максимальных ускорений или скоростей с точностью 3 % более чем достаточна.

Не менее важным является методика поверки сейсмометров [9], ибо каждый исследователь по своей методике проводит поверку, нарушая этим единство измерения в сейсмометрии.

Ввиду отсутствия калибровочных вибрационных стендов часто сейсмометры калибруют в статическом режиме, т.е. определяют только коэффициент преобразования К электродинамического датчика скорости, используя соотношение

$$K = \frac{U}{V} = \frac{F}{I},$$

где U - выходной сигнал; V - скорость движения катушки; F- сила, действующая на катушку, когда через нее протекает I ток. Измеряют I и F. Очевидно, что при этом игнорируют характеристиками маятника, что приводит к значительным ошибкам, порядка 20%. Иногда калибровку сейсмометра выполняют методом, суть которого заключается в следующем. На катушку электродинамического датчика дополнительно наматывают вторую обмотку. Пропуская переменный ток через эту обмотку, подвергают маятник колебаниям и измеряют выходной сигнал первой обмотки. Здесь не учитывается индукционная связь между обмотками, которая может быть значительной, особенно при частотах выше 5 Гц. Если на маятнике установить электродинамический вибратор, с помощью которого заставлять колебаться маятник, то индукционная связь между

катушками будет отсутствовать, но при этом необходимо лазерным интерферометром измерять амплитуду колебания маятника.

Таким образом, оптимальным и правильным решением является калибровка сейсмометра на вибрационном стенде. Такой стенд разработан и аттестован в СОКТИ НАН Армении.

Применение различных методов калибровки и оценки метрологических характеристик сейсмометров нарушает единство методов. Видимо, этим объясняется тот факт, что приведенные в рекламной литературе метрологические характеристики некоторых сейсмометров непонятны, т. к. нередко путается точность отсчета некоторой величины с точностью её измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. VE-53 Triaxial Velocity Sensor. GeoSIG. E-mail: info@geosig.com .
2. Shallow Borehole EpiSensor. Kinematics. <http://www.kinematics.com> .
3. **Саваренский Е. Ф., Кирнос Д.П.** Элементы сейсмологии и сейсмометрии. -М., 1955. - 531 с.
4. **Максимов Л.С., Шейнин И.С.** Измерение вибрации сооружений . -Л.: Стройиздат, 1974. -251 с.
5. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Метод обработки результатов наблюдений. Основные положения. - 9 с.
6. **Խաչիյան Է.** Շրջանային երկրաշարժագիտություն. - Երևան, Գիտություն, 2001. – 310 էջ.
7. ГОСТ 8.138-84. Государственный специальный эталон и Государственная поверочная схема для измерений виброперемещений, виброскорости и виброускорений в диапазоне $3 \cdot 10^{-1}$ - $2 \cdot 10^4$ Гц . - 4 с.
8. Մեյսնիկյանի շինարարության նախագծման նորմեր. - Երևան, 2006, ՀՀՇՆ 11-6.02.2006:
9. **Саркисян Р.Е., Саркисян В. К.** Типовая методика динамической поверки сейсмометров // Сборник научных трудов конференции, посвященной 100-летию **А.Г. Назарова**. - Ереван: Изд. “Титутюн”, НАН РА, Гюмри, 2008. – 524 с.

Ин-т геофизики и инженерной сейсмологии Гюмри. Материал поступил в редакцию 11.06.2009.

Վ.Կ. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Ռ.Ե. ՄԱՐԳՍՅԱՆ

ՄԵՅՍՄՈՄԵՏՐԻԿԱՅՈՒՄ ԶԱՓԱԲԱՆԱԿԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՐՑԵՐԻ
ՄԱՍԻՆ

Քննարկվում են սեյսմոմետրերի դինամիկական տիրույթի, հարաբերական սխալի սահմանի հարցերը, ճշտվում են սեյսմոմետրի մի քանի չափաբանական բնութագրեր: Հիմնավորվում է, որ սեյսմիկ տատանումների պարամետրերը իրատեսական չէ չափել այնպիսի սարքով, որն ունենա 120Դբ դինամիկական տիրույթ և 3%-ից փոքր սխալ: Բոլոր սեյսմոմետրերը պետք է ստուգաչափվեն ատեստավորված վիբրացիոն կայանքի օգնությամբ:

Առանցքային բառեր. չափաբանություն, սխալ, դինամիկական տիրույթ, սեյսմոմետր, արքեկերոմետր:

V. K. SARGSYAN, R. E. SARGSYAN

ON SOME METROLOGICAL PROBLEMS IN SEISMOMETRY

Problems of limiting the relative error and dynamic range of seismometers are discussed. Their measuring characteristics are defined. It is substantiated that it is unreal to measure the parameters of seismic vibrations with one device which has a dynamic range of 120dB and an error smaller than 3%. All seismometers must be verified by a vibration stand –testing machine.

Keywords: metrology, error, dynamic range, seismometer, accelemerter.

А.А. ТЕРЗЯН, Г.С. СУКИАСЯН, В.А. ХАЧАТУРЯН

**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В
ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Предложен метод численного расчета электромагнитных полей с использованием алгоритмов принятия решения. Рассматриваемый подход, в отличие от наиболее распространенного метода конечных элементов, обеспечивает сходимость решения краевых задач в случае неудачной дискретизации исследуемой среды, т.е. когда дискретизационная сетка содержит тупоугольные треугольные элементы с критическими значениями углов.

Ключевые слова: численное решение задач электромагнитного поля, алгоритмы принятия решения.

Введение. В настоящее время наиболее распространенным методом решения нелинейных краевых задач, в частности задач электромагнитного поля, является метод конечных элементов. Системы дифференциальных уравнений после их аппроксимации сеточными методами конечных элементов порождают алгебраические системы уравнений с разреженными матрицами высоких порядков. При этом сходимость процесса последовательных приближений в значительной степени зависит от конфигурации расчетной сетки, дискретизирующей исследуемую непрерывную область. В этой связи в последние годы появился ряд работ, посвященных методам построения расчетных сеток [1-4]. Вместе с тем накопленный опыт показывает, что при дискретизации исследуемой непрерывной области не всегда удастся обеспечить необходимые условия [3,4] для достижения сходимости процесса решения методом конечных элементов.

В работе предложен метод анализа и численного расчета электромагнитных полей с использованием алгоритмов принятия решения. Сходимость решения при этом не зависит от конфигурации расчетной сетки, что придает рассматриваемому подходу определенную привлекательность.

1. Вариационный подход для решения двумерных полевых задач. Постоянное магнитное поле, созданное электрическим током, подчиняется уравнению Максвелла, которое в декартовой системе координат (x,y) имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial x} A \right) + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial y} A \right) = -\delta, \quad (1)$$

где A - векторный магнитный потенциал; δ - плотность тока; μ - величина магнитной проницаемости.

Вариационный подход заменяет прямое решение уравнения (1) минимизацией энергетического функционала

$$I(A) = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} \left[\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial A}{\partial y} \right)^2 - 2\delta A \right] dx dy. \quad (2)$$

Дискретизируем задачу, разбив рассматриваемую область Ω на треугольники (элементы). Принимаем, что внутри элемента e магнитная проницаемость μ постоянна, а потенциал является линейной функцией вида

$$A(x, y) = A_i b_i^e(x, y) + A_j b_j^e(x, y) + A_m b_m^e(x, y), \quad (3)$$

где e - треугольник с вершинами (i, j, m) ; A_i - значение потенциала A в узле i ; $b_i^e(x, y)$ - базисная функция, т.е. линейная функция, равная единице в узле i и нулю - в остальных двух вершинах треугольника e .

Базисные функции удобно записать в виде детерминанта:

$$b_i^e(x, y) = \frac{1}{2S_e} \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ x_j & y_j & 1 \\ x_m & y_m & 1 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где x_t, y_t - декартовы координаты вершин треугольника, $t = (i, j, m)$; S_e - площадь треугольника e :

$$2S_e = \begin{vmatrix} x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \\ x_m & y_m & 1 \end{vmatrix}.$$

Классический метод конечных элементов основан на нахождении минимума функционала (2) путем приравнивания нулю его производных. В результате получается система уравнений с неизвестными A_t , причем количество уравнений равно количеству неизвестных и количеству N некраевых узлов сетки.

2. Поисковый алгоритм решения полевых задач. Для применения алгоритмов поисковой оптимизации необходимо иметь целевую функцию, зависящую от варьируемых параметров. В качестве последних возьмем значения потенциала A в некраевых узлах сетки. Вектор варьируемых параметров обозначим через $\bar{A} = (A_1, A_2, \dots, A_N)$. Целевую функцию получим, подставляя (3) в (2) и разлагая интеграл по всей рассматриваемой области на сумму интегралов по треугольникам сетки:

$$I(\bar{A}) = \frac{1}{2} \sum_{e \in \Omega} \iint_e \left[v_e \left(\frac{\partial}{\partial x} (A_i b_i^e(x, y) + A_j b_j^e(x, y) + A_m b_m^e(x, y)) \right)^2 + \right. \\ \left. + v_e \left(\frac{\partial}{\partial y} (A_i b_i^e(x, y) + A_j b_j^e(x, y) + A_m b_m^e(x, y)) \right)^2 - 2\delta_e A \right] dx dy, \quad (5)$$

где v_e - значение $v = 1/\mu$ внутри элемента e , а δ_e - значение плотности тока внутри e .

В (5) суммирование осуществляется по всем треугольникам сетки. Из линейности базисных функций (4) следует, что ее производные - постоянные величины и равны

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial x} b_i^e(x, y) &= \frac{1}{2S_e} (y_j - y_m), \\ \frac{\partial}{\partial y} b_i^e(x, y) &= \frac{1}{2S_e} (x_m - x_j).\end{aligned}$$

Таким образом, целевую функцию (5) можно представить в виде суммы полиномов второй степени:

$$I(\bar{A}) = \frac{1}{2} \sum_{e \in \Omega} F_e(A_i, A_j, A_m),$$

где

$$\begin{aligned}F_e &= \frac{v_e}{4S_e} (A_i(y_j - y_m) + A_j(y_m - y_i) + A_m(y_i - y_j))^2 + \\ &+ \frac{v_e}{4S_e} (A_i(x_j - x_m) + A_j(x_m - x_i) + A_m(x_i - x_j))^2 - \frac{2}{3} \delta_e S_e (A_i + A_j + A_m).\end{aligned}$$

Полученная целевая функция позволяет сформулировать задачу определения поля следующим образом: найти такие значения магнитных потенциалов $A_1^*, A_2^*, \dots, A_N^*$ в узлах расчетной сетки, которые доставляют целевой функции минимальное значение:

$$I(\bar{A}) = I(A_1, A_2, \dots, A_N) \rightarrow \min \Rightarrow \bar{A}^* = (A_1^*, A_2^*, \dots, A_N^*). \quad (6)$$

При такой постановке задачу численного расчета электромагнитных полей можно решить одним из известных алгоритмов принятия решения.

3. Численный эксперимент. Предложенный подход апробирован на тестовой задаче численного расчета магнитного поля в области, представленной на рис.1. На рисунке показано электромагнитное устройство с ферромагнитными участками В и D, разделенными воздушным зазором С. Устройство содержит обмотку Е, обтекаемую током. Для решения задачи рассмотрена конечная область, на границе которой приняты нулевые значения потенциалов ($A=0$).

На рис.2 представлена расчетная сетка, при которой решение полевой задачи методом конечных элементов расходится (рис.3). “Виновником” расходимости процесса решения являются два тупоугольных треугольных элемента d с критическими значениями углов [3].

Задачу с той же “плохой” расчетной сеткой решим поисковым алгоритмом. В качестве последнего примем алгоритм случайного поиска с наилучшей пробой, при котором делается m независимых случайных проб и по наилучшей выборке осуществляется рабочий шаг.

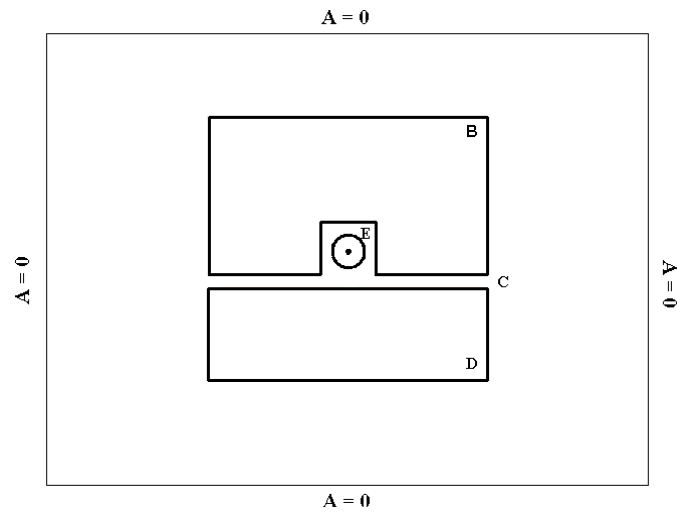


Рис. 1. Исследуемое электромагнитное устройство с заданными граничными условиями

Примем также, что случайные выборки осуществляются в пределах гиперсферы, где радиус гиперсферы определяет длину пробных шагов h_t , а плотность распределения случайных точек на гиперсфере равномерна.

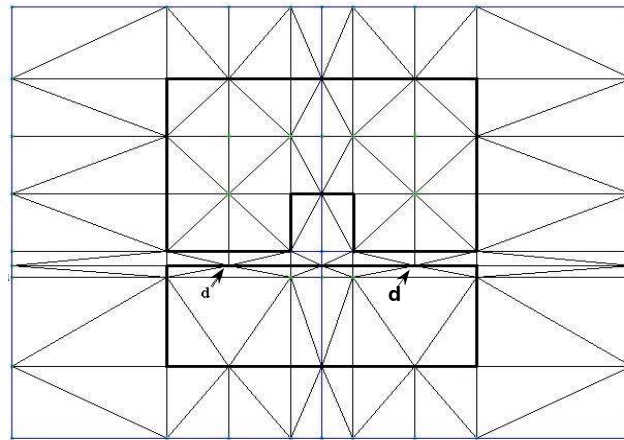


Рис.2. Расчетная сетка

Для управления длиной шага перемещения h_t рассмотрим значение отклонения ξ целевой функции $I(\bar{A})$ в $(t+1)$ и t -й итерациях. В случае успешного продвижения ($\xi \geq \Delta$, где Δ - заданное число) шаг увеличивается, а в случае $\xi < \Delta$ - уменьшается. Задачу

будем считать решенной, если в процессе поиска экстремума шаг снизится до предельно заданного значения.

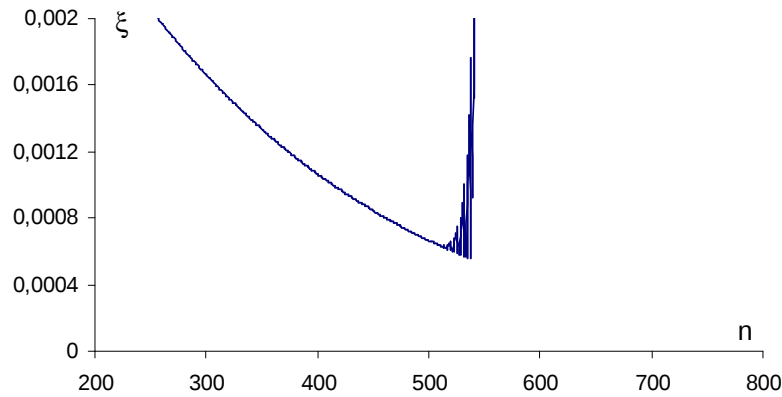


Рис.3. Процесс решения задачи (решение расходится) методом конечных элементов;
 ξ - невязка, n – число итераций

Итак, для решения экстремальной задачи (6) управление в рассмотренном алгоритме случайного поиска имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{I_{t+1}(\bar{A}) - I_t(\bar{A})}{I_t(\bar{A})} &\geq \Delta, \quad h_{t+1} = K_u h_t; \\ \frac{I_{t+1}(\bar{A}) - I_t(\bar{A})}{I_t(\bar{A})} &< \Delta, \quad h_{t+1} = \frac{1}{K_u} h_t; \\ h_{\min} &\leq h_t \leq h_{\max}. \end{aligned}$$

Здесь h_t - текущее значение шага; K_u - коэффициент управления длиной шага; $h_{\min}, h_{\max}$ - соответственно заданные минимальное и максимальное значения шага перемещения.

На рис.4 представлен процесс решения поставленной задачи описанным алгоритмом. Как видно из рисунка, в отличие от метода конечных элементов предложенный подход привел к успешному решению задачи за приемлемое время.

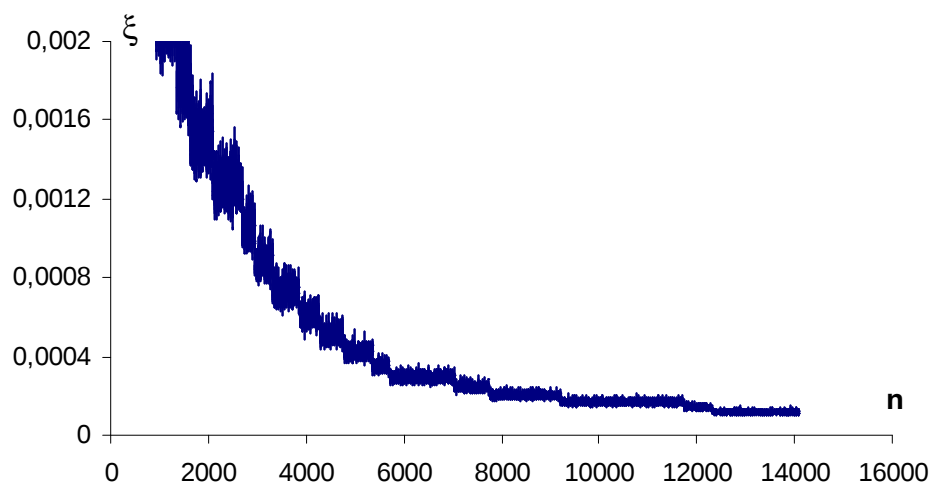


Рис. 4. Процесс решения задачи (решение сходится) с расчетной сеткой рис. 2 предложенным алгоритмом;
 ξ - невязка, n – число итераций

Выводы. Использование методов поисковой оптимизации для решения задач электромагнитного поля не требует выполнения специальных условий по качеству расчетной сетки и в ряде случаев может оказаться более предпочтительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ruppert J. A** Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation / NASA Ames Research Center // Submission to Journal of Algorithms, 1994.
2. **Скворцов А. В.** Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во ТУ, 2002. – 128 с.
3. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Пароникян А.Е.** Об углах треугольной сетки для расчета магнитных полей методом конечных элементов //Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2007. - Т. 60, №3. – С. 523-532.
4. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э.** Об оптимизации тетраэдральной сетки для расчета трехмерных магнитных полей методом конечных элементов //Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. 61, №2. – С. 305-317.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 07.02.2009.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Հ.Ս.ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ, Վ.Ա. ԽԱՉԱՏՈՒՐՅԱՆ

ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ
ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ

Առաջարկվում է էլեկտրամագնիսական դաշտերի թվային հաշվարկի մեթոդ՝ որոշումների ընդունման ալգորիթմների կիրառմամբ: Դիտարկվող մոտեցումը, ի տարբերություն մեծ տարածում գտած վերջավոր տարրերի մեթոդի, ապահովում է եզրային խնդիրների լուծման զուգամիտում հետազոտվող միջավայրի անհաջող ընդհատավորման դեպքում, այսինքն, երբ ընդհատավորման ցանցը պարունակում է անկյունների կրիտիկական արժեքներով բութանկյուն եռանկյուն տարրեր:

Առանցքային բաներ. էլեկտրամագնիսական դաշտի թվային լուծում, որոշումների ընդունման ալգորիթմներ:

H.A. TERZIAN, H.S. SUKIASYAN, V.A. KHACHATURYAN

APPLICATION OF DECISION-MAKING ALGORITHMS IN
ELECTROMAGNETIC FIELD PROBLEMS

A numerical calculation method of electromagnetic field using decision-making algorithms is proposed. The method under consideration, unlike the most spread method of finite-elements, provides the convergence of boundary problem solution as well as in case of unsuccessful discretization of the examined medium, that is when the discretization net contains obtuse-angular triangle elements with critical values of angles.

Keywords: numerical calculation of electromagnetic field problems, problem-solving algorithm.

Ю.М. СТАКЯН, Э.М. АЙКАЗЯН, М.З. ПОГОСЯН, Р.Э. ФАТЯН

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПРОЦЕДУР В БИМЕДИЦИНСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Представлен расчетный алгоритм и описана комплексная вычислительная программа для статистической обработки параметров электрокардиограмм (ЭКГ) при заболеваниях сердечно-сосудистой системы с целью создания автоматической системы диагностирования указанных заболеваний.

Ключевые слова: электрокардиограмма, фильтрация, сглаживание и распознавание ЭКГ, проверка нормальности распределения параметров, дисперсионный и регрессионный анализы данных, эталонные кривые ЭКГ.

При оценке состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) ключевую роль играет анализ электрокардиограмм [1-3]. Проблема автоматической обработки и анализа ЭКГ сложилась в отдельное направление, которое разветвлено на множество частных задач, связанных с различными аспектами исследования ССС – длительный, непрерывный и автоматический контроль ЭКГ (холтеровский метод); системы для прикроватного и амбулаторного мониторинга ЭКГ; телеметрическая система для контроля состояния пациента; автономный контроль сердечной деятельности; функциональное исследование ССС; программное обеспечение и формализация биомедицинских процессов и др.

Автоматический анализ ЭКГ до настоящего времени представляет сложную проблему. Это, в первую очередь, связано с физиологическим происхождением электрокардиосигнала, который обусловлен разнообразием форм и видов сердечно-сосудистых заболеваний, выраженной стохастичностью и нестационарностью процесса, его подверженностью различным видам помех и шумов. Повышение эффективности видов автоматической обработки и анализа результатов кардиологических наблюдений связано с созданием надежных электронных систем обработки сигналов и наличием современных программных средств.

Для решения указанного комплекса задач на предварительном этапе программное обеспечение составляется таким образом, чтобы обеспечить высокую достоверность определения параметров ЭКГ: для зубцов – их амплитуды $h_1, \dots, h_5$ для интервалов комплекса $PQRST$ – их длительности $t_1, \dots, t_5$, T , а также $\sum t_i$.

Из всего многообразия заболеваний ССС выбрано наиболее распространенное – *гипертрофия миокарда*, используя базы данных медучреждений РА [4]. При наличии технологических и эксплуатационных возможностей кардиологической аппаратуры предпочтительно использовать два и более отведения ЭКГ. Для гипертрофии миокарда таковыми являются отведения I, II, AVL, V5 и V6, которые наиболее полно представляют особенности кардиологического проявления данного типа заболевания.

Комплексное статистическое исследование параметров ЭКГ для выбранного вида заболевания предполагает составление вариационных рядов и организацию 6-уровневых расчетных процедур по следующей схеме (рис. 1):

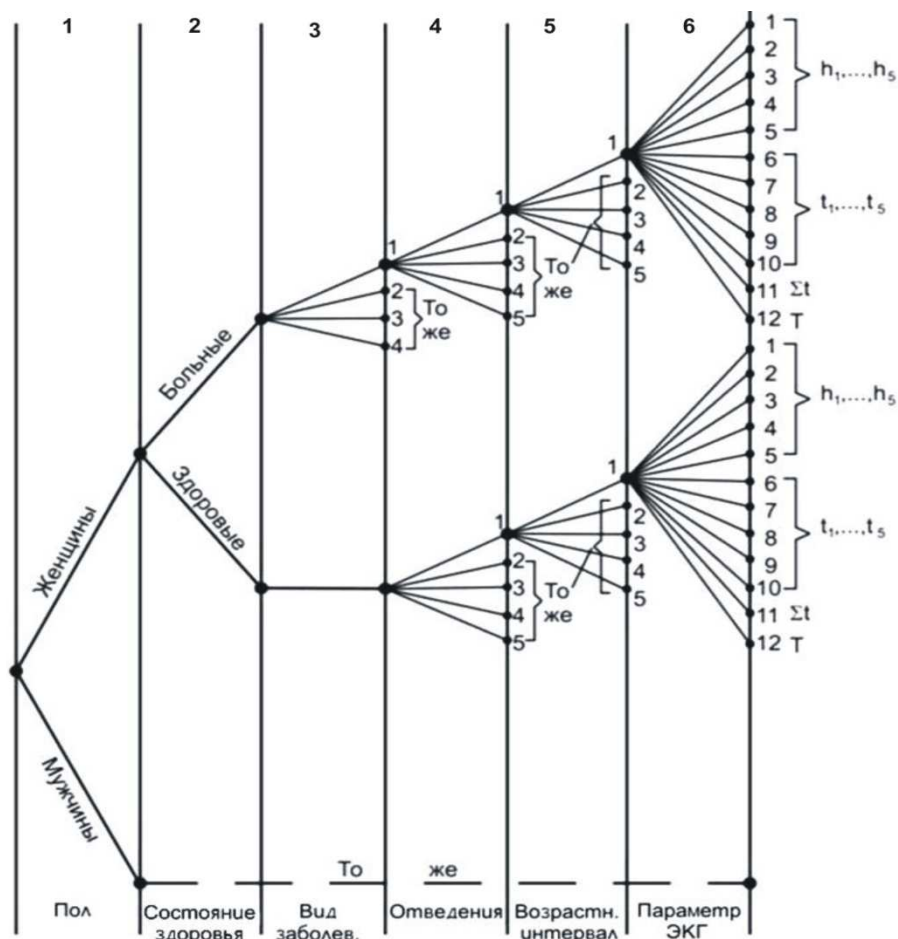


Рис. 1. Схема составления групп вариационных рядов для параметров ЭКГ

1 - по половому признаку (женщины и мужчины, две совокупности); 2 - по состоянию здоровья (больные и здоровые, две группы); 3 - по виду болезни (гипертрофия левого и правого предсердий и желудочков, 4 группы); 4 - по возрастному интервалу (5 подгрупп, [4]); 5 - по отведениям (I, II, AVL, V₅, V₆, - 5 подгрупп); 6 - по параметрам ЭКГ указанных отведений ($h_1, \dots, h_5, t_1, \dots, t_5, T, \Sigma t$ - 12 подгрупп). Максимально возможное число вариационных рядов для изучения гипертрофии миокарда равно: для больных - $N_{1\max} = 2 \times 4 \times 5 \times 5 \times 12 = 2400$, для здоровых - $N_{2\max} = 2 \times 5 \times 5 \times 12 = 600$, всего: 3000 вариационных рядов.

Составлена комплексная вычислительная программа (рис. 2), которая включает разделы I-VII, разработанные как автономно действующие подпрограммы, введенные в единый вычислительный комплекс для автоматического диагностирования заболеваний ССС.

Рассмотрим указанные разделы.

I. Предварительная цифровая обработка ЭКГ составлена и реализуется модульным принципом.

1. *Модуль ввода и предварительной обработки данных.* Ввод данных осуществляется с использованием 12-канального АЦП, который позволяет ввести в память ЭВМ 12 независимых сигналов (отведений).

2. *Модуль фильтрации.* Источниками шумов, подлежащих фильтрации, являются: сетевые наводки с частотой 50, 60, 100, 120, 180 Гц; дрейф изолиний; контактный шум, вызванный неплотным прилеганием электродов; помехи от механических движений грудной клетки, мышечных сокращений и других причин; модуляция амплитуды, вызванная дыханием и др.

Задавая на входе модуля частоты подавления шума, тип фильтра и значения сигналов, на выходе получаем отфильтрованные сигналы ЭКГ.

3. *Модуль сглаживания.* Является специальной операцией усреднения с помощью интерполяционных полиномов. Последние обеспечивают получение точного значения по заданному y_i и передачу близлежащих значений y_{i-1}, y_i, y_{i+1} , известных со случайной погрешностью. Данный процесс осуществляется с помощью 3, 5, 7 и 9 точек. Обозначим исследуемый входной сигнал через $y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots, y_n$. Шаг дискретизации выбран $\Delta t = 2 \text{ мс}$. При линейном сглаживании по трем точкам новые значения отсчетов получают с помощью следующих формул:

$$\overline{y_0} = (5y_0 + 2y_1 - y_2)/6, \quad \overline{y_i} = (y_{0-i} + y_i + y_{i+1})/3, \quad \overline{y_n} = (5y_n + 2y_{n-1} - y_{n-2})/6, \quad (1)$$

где n - номер последней точки ординаты y_i , а сглаживание по пяти точкам проводится с использованием формул

$$\begin{aligned} \overline{y_0} &= (3y_0 + 2y_1 + y_2 - y_4)/5, \quad \overline{y_1} = (4y_0 + 3y_1 + 2y_2 + y_3)/10, \\ \overline{y_i} &= (y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2})/5, \quad 2 \leq i \leq n-2, \\ \overline{y_{n-1}} &= (y_{n-3} + 2y_{n-2} + 3y_{n-1} + 4y_n)/10, \quad \overline{y_n} = (3y_{n-3} + 2y_{n-1} + y_{n-2} - y_{n-5})/5. \end{aligned} \quad (2)$$

Сглаживание по 7 и 9 точкам проводится с использованием аналогичных формул.

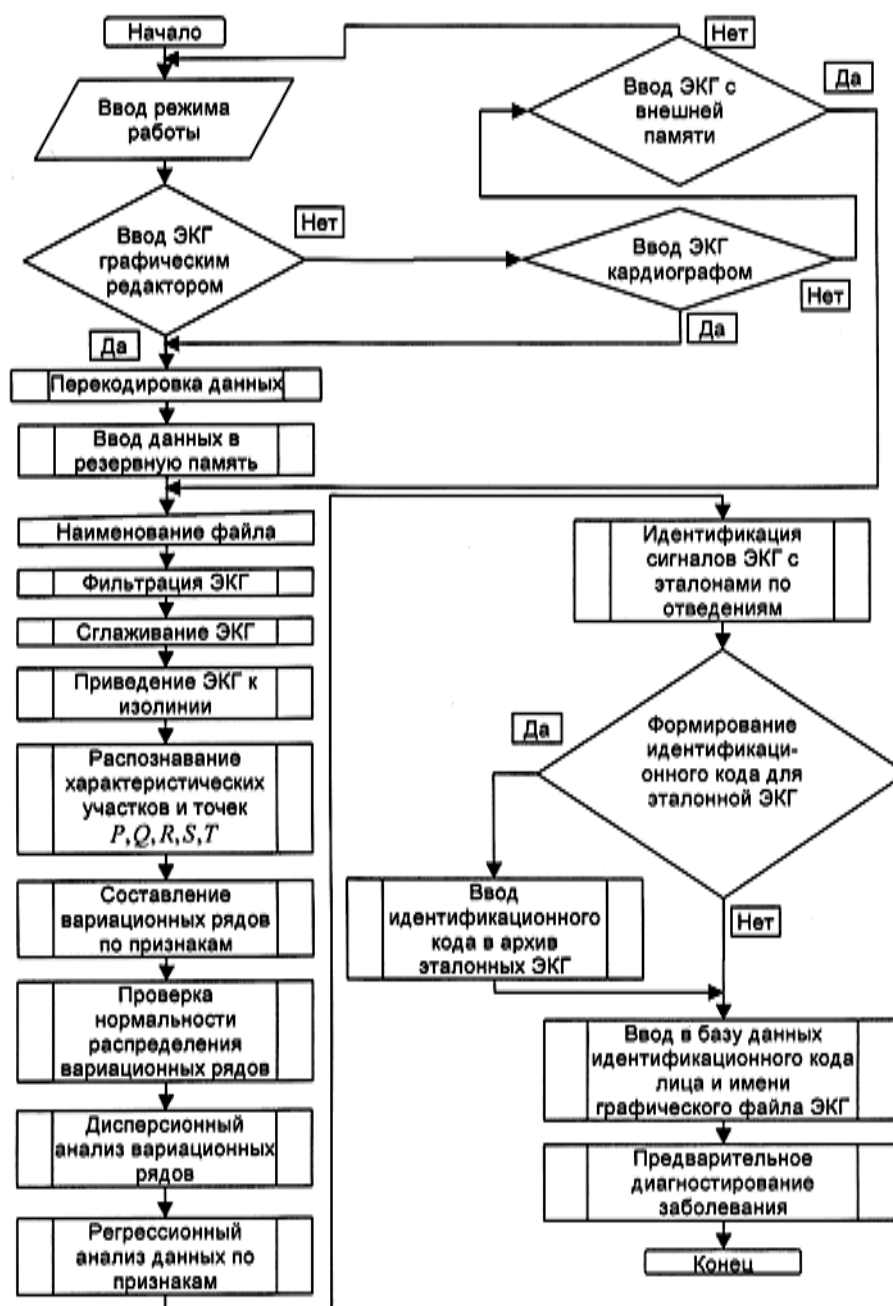


Рис.2. Схема алгоритма разработки ПО для автоматизированной обработки параметров ЭКГ

4. *Модуль приведения ЭКГ к изолинии.* С целью устранения дрейфа изолинии, сохранения нормального хода и характерных изменений ЭКГ, свойственных каждому виду и степени остроты сердечных заболеваний, а также точного расположения интервалов ЭКГ составлена подпрограмма, реализующая расчетно-графические процедуры по приведению ЭКГ к единой изолинии. Эти процедуры выполняются двумя этапами:

а) используя метод наименьших квадратов (МНК): $\sum_{j=1}^{n_j} (y_{ij} - \bar{y}_{ij})^2 \longrightarrow \min$, определяют коэффициенты эмпирической линии регрессии для данного интервала ЭКГ:

$$\bar{y}_{ij} = a_{ij}t + b_{ij}, \quad (3)$$

$$\text{где } a_{ij} = \left(\sum_{i=1}^{n_j} y_{ij} \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} - n_j \sum_{i=1}^{n_j} y_{ij} t_{ij} \right) / \left(\left(\sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} \right)^2 - n_j \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}^2 \right), \quad b_{ij} = \sum_{i=1}^{n_j} \left(y_{ij} - a_{ij} \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} \right) / n_j,$$

n_j - число точек дискретизации внутри j -го интервала;

б) создают систему уравнений кусочно-линейных функций (3) и последовательно, шаговым способом присоединяют их друг к другу на координатной оси t , приводя их в единую изолинию.

5. *Модуль распознавания параметров ЭКГ.* Предусматривает определение параметров y_i, t_i ЭКГ в комплексе $PQRST$: точек экстремумов, перегибов, пересечений с изолинией, а также зубцов всех интервалов. По результатам опознанных точек определяются амплитуды и временные показатели, необходимые для диагностики заболеваний. Иногда, если сигнал сильно зашумлен или по каким-либо причинам не удастся распознать его характерные точки, то выдается сообщение о зашумленности сигнала, производится его очистка и дается разрешение на ввод нового сигнала.

II. Создана система кодирования, которая позволяет составлять совокупности, группы и подгруппы пациентов по вышеуказанным шести признакам (рис. 1), формировать отдельные выборки и вариационные ряды параметров.

III. Для проверки нормальности распределения предварительно определяются статистические параметры вариационных рядов и выполняются следующие процедуры [5]:

а) выборы оптимального числа разбивки размаха варьирования вариационного ряда и оптимальной преобразующей функции $v_{onm} = f(x)$ данных, обеспечивающих максимальный уровень надежности вывода $\alpha_{\max}$, который получается из условия $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha}$ согласно критерию Пирсона χ^2 ;

б) графическая проверка нормальности распределения рядов посредством построения и сравнения эмпирических и теоретических функций распределения (дифференциальной, интегральной и нормированной линий);

в) переход к начальной координатной системе (x, y) для практического применения результатов графических построений и составление таблиц вероятностных значений параметров ЭКГ.

IV. В рамках однофакторного дисперсионного анализа данных производятся следующие расчетные процедуры [4]: составление групп вариационных рядов и предварительная проверка однородности дисперсий по критерию Бартлетта; расчет межрядовой и внутрирядовой дисперсий для группы вариационных рядов и проверка однородности дисперсий по критерию Фишера; расчет обобщенных статистических показателей для группы рядов и определение их 90%-ых доверительных интервалов; объединение или перегруппировка вариационных рядов с учетом однородности дисперсий и уровня значимости исследуемого фактора.

V. Для количественной оценки влияния исследуемого фактора на параметры ЭКГ составляются совокупности двумерных данных (x_i, y_i) и в рамках регрессионного анализа выполняются следующие процедуры [6]: выбор оптимальной преобразующей (линеаризующей) системы координат (u, v) , обеспечивающей максимальное значение выборочного коэффициента корреляции $r_{\max}$; проверка наличия корреляционной связи согласно ранговому коэффициенту корреляции Спирмена; определение параметров медианной линии регрессии и проверка их статистической значимости; определение параметров уравнения семейства квантильной линии регрессии и переход к начальной координатной системе (x, y) .

VI - VII. Выполненные статистические вычисления позволяют составить вероятностные таблицы значений эталонных параметров ЭКГ, соответствующих уровням вероятности $P(x) = 50, 70, 90, 95, 97$ и 99% для каждого вида рассмотренного заболевания и с учетом указанных шести признаков, а по этим значениям формируют квантильные эталонные ЭКГ. Для идентификации параметров ЭКГ пациента с соответствующими эталонными значениями выполняются следующие расчетно-графические процедуры:

- а) используя сплайн-метод, составляется полином m -степени для характеристических точек $(t_1, \dots, t_5, h_1, \dots, h_5)$ эталонной ЭКГ, который фактически является математической моделью этой ЭКГ, а его коэффициенты – идентификационными кодами эталона и хранятся в базе данных программы;
- б) производится предварительная цифровая обработка параметров ЭКГ пациента согласно разделу I, составляется аналогичный полином, определяются его коэффициенты, и их сравнивают с идентификационными кодами эталона;
- в) по уточненным параметрам составляют обобщенную ЭКГ пациента, которую графически сравнивают с семейством квантильных эталонных ЭКГ;
- г) производят предварительную диагностику заболевания с определенным уровнем вероятностной оценки.

Учитывая сравнительно большой спектр и разнообразие проявлений заболеваний ССС, предполагается выполнение аналогичных математико-статистических исследований и заполнение базы данных материалами и для других видов рассматриваемого класса заболеваний.

Создание и внедрение прикладных программных средств, реализующих алгоритмы анализа ЭКГ, позволят их использовать в приборах и системах кардиологического наблюдения, а также обеспечат точность и достоверность формируемых диагностических заключений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шакин В.В.** Вычислительная электрокардиография. – М.: Наука, 1981. – 166с.
2. **Манило Л.А.** Автоматический анализ электрокардиосигнала в задачах распознавания нарушений сердечного ритма // Сб.: Биотехн. системы в медицине и биологии. – СПб: Политехника, 2002. – С.61-68.
3. Пакет программ для функциональных электрокардиографических исследований / **А.Н. Калиниченко, А.П. Немирко, П.В. Мурашов** и др. // Изв. СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. Сер. Биотехн. сист. в мед. и эколог. – 2004. – Вып.1. – С.36-39.
4. **Стакян Ю.М.** Расчёт статистических характеристик параметров ЭКГ и их дисперсионный анализ // Вестн. ИАА. – 2008. – Т.5, №3. – С. 413-419.
5. **Стакян Ю.М.** Алгоритм вероятностной оценки параметров электрокардиограмм (ЭКГ). Сообщ. 1. Проверка “нулевой” гипотезы соответствия нормальному распределению параметров ЭКГ // Вестн. ИАА. – 2007. – Т.4, №4. – С.652-657.
6. **Стакян М.Г., Манукян М.А., Маркарян А.Г.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний // Вестн. ИАА. – 2004. – Т.1, №1. – С.83-90.

ГИУА(П).

Материал поступил в редакцию 02.09.2009.

Յու.Մ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Է.Մ. ՀԱՅԿԱԶՅԱՆ, Մ.Զ. ՊՈԴՈՍՅԱՆ, Ր.Է. ՖԱՏՅԱՆ

ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԸՆԹԱՑԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄԸ ԿԵՆՍԱԲԺՇԿԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ

Ներկայացված է հաշվարկային ալգորիթմ և նկարագրված է համալիր համակարգչային ծրագիր սրտանոթային համակարգի հիվանդությունների դեպքում էլեկտրասրտագրերի (ԷՍԳ) պարամետրերի վիճակագրական մշակման համար, որի նպատակն է ստեղծել նշված հիվանդությունների ախտորոշման ավտոմատ համակարգ:

Առանցքային բառեր. Էլեկտրասրտագիր (ԷՍԳ), ԷՍԳ-ի ֆիլտրում, հարթեցում և ճանաչում, պարամետրերի նորմալ բաշխման ստուգում, տվյալների ցրվածքային և հետընթացային վերլուծություններ, ԷՍԳ-ի չափանմուշային կորեր:

Yu.M. STAKYAN, E.M. HAYKAZYAN, M.Z. POGHOSYAN, R.E. FATYAN

DESIGN PROCEDURE AUTOMIZATION IN BIOMEDICAL INVESTIGATIONS

A design algorithm is presented and a complex computer program for statistical processing of electrocardiogram (ECG) parameters in cardiovascular system (CVS) diseases is described. It is done for developing an automatic system of diagnosing these diseases.

Keywords: electrocardiogram (ECG), filtration, smooting and recognising of ECG, parameter distribution normality correction, dispersion and regression data analyses, standard ECG curves.

Ա.Ա. ՍԱՆՈՅԱՆ, Ռ.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Ն. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ՋԵՐՄԱԿԱՑՈՒՆԱՑՈՒՑԻՉ

Նկարագրված է միկրոպրոցեսորով ղեկավարվող, բարձր ճշգրտությամբ լաբորատոր ջերմակայունացուցիչ, որն ապահովում է $0,1^{\circ}\text{C}$ կարգավորման ճշգրտություն և կարող է աշխատել մինչև 2 կՎտ հզորությամբ ջեռուցիչների հետ: Ունի կարգավորվող ջերմության թվային ցուցադրում և կարգավորման ընթացքի ձայնային և լուսային ազդանշանում: Սարքը կարող է աշխատել ինչպես մեծածավալ ջրային ջերմափոխանակիչով աշխատող ջերմակայունացուցիչների, այնպես էլ մանրադիտակների համար նախատեսված ջերմակարգավորվող հարթակների հետ միասին:

Առանցքային բառեր. ջերմատվիչ, ջերմակայունացուցիչ, միկրոպրոցեսոր, ճշգրտություն, հզորություն:

Լաբորատոր գործընթացում լայն տարածում գտած սնդիկա-կոնտակտային ջերմակարգավորիչները չնայած պարզ կառուցվածք ունեն և հեշտությամբ են ղեկավարվում շահագործման ժամանակ, սակայն ունեն թույլատրելի սխալի մեծ արժեք ($\pm 1... \pm 3^{\circ}\text{C}$), սահմանափակ հոսանքի արժեք ($0,5\text{ մկԱ}...40\text{ մԱ}$) և թույլա-տրելի ղեկավարվող հզորություն (2 Վտ -ից ոչ ավելի): Ավելացնենք նաև, որ այս ջերմակոնտակտորները հիմնականում աշխատում են արտաքին հզորության ուժեղացուցիչներով և ունեն կարգավորման պարամետրի հիստերեզիս (ռելեային բնութագիր) [1]: Կան նաև ջերմակայունացուցիչներ, որոնք աշխատում են հայտնի ջերմատվիչների հետ (ջերմագույգ, ջերմադիմադրություն, կիսահաղորդչային p - n անցում), որոնց ազդանշանն ուժեղացվում և տրվում է ելքային կասկադին, որը կամ ռելեային, կամ տրանզիստորային բանալի է: Նման կարգավորումն ունի բավականին մեծ հիստերեզիս և, որպես հետևանք, փոքր կարգավորման ճշգրտություն ($3...5^{\circ}\text{C}$) [2]:

Վերը նշված թերություններից ազատվելու համար մշակվել և պատրաստվել է լաբորատոր աշխատանքների համար նախատեսված ջերմակարգավորիչ, որն ունի ջերմակարգավորման մեծ ճշգրտություն, ղեկավարվող մեծ հզորություններ, կարգավորվող միջավայրի ջերմության թվային ցուցադրում (ջերմության ընթացիկ և կարգավորվող արժեքի), ձայնային և լուսային ազդանշան՝ կարգավորման ընթացքին հետևելու և հնարավոր խափանումները հայտնաբերելու համար:

Սարքի ղեկավարումը կատարվում է “ATMEL” ֆիրմայի ATmega16 միկրոպրոցեսորի միջոցով, որն ունի 2 հատ 8 բիտանի և 1 հատ 16 բիտանի հաշվիչներ, անալոգային կոմպարատոր, արտաքին և ներքին ընդհատման աղբյուրներ, 10 բիտանի անալոգա-թվային փոխակերպիչ և այլ ներքին սարքավորումներ, 32 հատ ղեկավարվող ելուններ, որոնցից յուրաքանչյուրը կարող է ծրագրավորվել որպես թվային մուտք կամ ելք, իսկ դրանցից ութը կարող են աշխատել նաև որպես անալոգային մուտք: 16 կիլոբայթ FLASH, 512 բայթ EEPROM և 1 կիլոբայթ օպերացիոն հիշողությամբ այս սարքավորումը աշխատում է 5 Վ սնուցման աղբյուրից և ակտիվ վիճակում ծախսում է $1,1\text{ մԱ}$ հոսանք [3]:

Միկրոպրոցեսորային ղեկավարումով ջերմակայունացուցչի կառուցվածքային սխեմայի մեջ մտնում են՝

- DALLAS SEMICONDUCTOR ֆիրմայի արտադրության DS18B20 ջերմաստիճանի թվային տվիչը,
- ցանցային լարման փուլի դետեկտման բլոկը,
- սնուցման բլոկը,
- դինամիկ ռեժիմում աշխատող լուսադիոդային ցուցատախտակը,
- սիմիստորի ղեկավարման համար էլքային ազդանշանի ուժեղարարը,
- կվարցի վրա կառուցված տակտային գեներատորը,
- ղեկավարման և ռեժիմի ցուցադրման վահանակը:

Սարքը աշխատում է հետևյալ կերպ. ջերմակայունացվող միջավայրում գտնվող տվիչի էլքի թվային ինֆորմացիան տրվում է միկրոպրոցեսորի համապատասխան մուտքին՝ թվային կոդի ձևով: Այս ընթացիկ ջերմաստիճանի կոդը մշակվում և ցուցադրվում է 3 կարգանոց թվի ձևով 7 սեգմենտանոց ճառագայթող դիոդներով հավաքված ցուցատախտակի վրա, միաժամանակ համեմատվում է նախօրոք հիշողության մեջ մուտքագրված պահանջվող ջերմաստիճանի կոդի հետ և տարբերության դեպքում, կատարվում է միկրոպրոցեսորից դուրս գտնվող սիմիստորի փուլա-ինպուլսային ղեկավարում հատուկ հզորության ուժեղարարի միջոցով: Միկրոպրոցեսորի ղեկավարումը կատարվում է երեք կոճակի միջոցով (առաջ, ետ և ռեժիմի ընտրություն): Ջերմակարգավորիչի ընթացիկ դրության ցուցադրումը կատարվում է 4 ճառագայթող դիոդների միջոցով: Ջերմա-կայունացուցիչն օժտված է նաև նմանակային էլքով, որտեղից ընթացիկ ջերմաստիճանին համապատասխանող լարումը կարող է տրվել համակարգչին՝ գրանցելու համար:

Նկարագրված սարքի հիման վրա ստեղծվել է հեղուկ ջերմափոխանակիչով (ջուր) և 2 կՎտ հզորությամբ տաքացուցիչով աշխատող ջերմակայունացուցիչ: Այդ ջերմակայունացուցչի տվյալներն են.

- կարգավորվող ջերմության տիրույթ՝ 0...96 °C,
- կարգավորման բացարձակ սխալ՝ $\pm 0,1$ °C, 0...50 °C տիրույթում և $\pm 0,3$ °C՝ 50...96 °C տիրույթում,
- սնուցում՝ ~220 Վ, 0,5 Վտ,
- էլեկտրական տաքացուցչի հզորություն՝ 2 կՎտ,
- սարքի չափսերը՝ 140x85x35 սմ,
- մասսան՝ 420 գ:

Քանի որ վերը նշված DS18B20 թվային էլքով ջերմատվիչն ունի սահմանափակ աշխատանքային տիրույթ (-55...+125 °C), մշակվել է հատուկ սխեմա՝ ստանդարտ ջերմադիմադրությամբ (ինչպես պղնձի, այնպես էլ պլատինի հիման վրա) աշխատելու համար: Այս ջերմադիմադրությունը ջերմակարգավորչին միացվելու է նկարում պատկերված սխեմայի համաձայն:

Վերոհիշյալ սխեմայում R_T ջերմադիմադրությունը միացված է Q1 տրանզիստորի վրա հավաքված հոսանքի գեներատորի էլքին, իսկ '0'-ի կարգավորման RV1 ռեզիստորը միացված է Q2 տրանզիստորի էլքին: R₂, R₃ դիմադրիչներով և D1 ստաբիլիտրոնով որոշվում է R_T ջերմատվիչով և RV1 ռեզիստորով անցնող հոսանքը: Որպես ուժեղացուցիչ վերցվել է OP-7 տիպի ճշգրիտ օպերացիոն ուժեղացուցիչը, որի էլքային լարումը տրվում է միկրոպրոցեսորի նմանակային մուտքին (PortA,0), որից հետո լարումը վերածվում է թվային հաջորդականության և մշակվում համապատասխան ծրագրային ապահովումով:

А.А. САНОЯН, Р.А. СИМОНЯН, С.Н. АЙРАПЕТЯН

ЛАБОРАТОРНЫЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОР

Дается описание лабораторного терморегулятора высокой точности с микропроцессорным управлением. Точность регулировки терморегулятора 0,1 °С, и он может работать с нагревателями мощностью до 2 кВт. Терморегулятор имеет цифровую индикацию регулируемой температуры, а также световую и звуковую сигнализации процесса регулирования. Прибор может работать как с объемными водными теплообменниками, так и с терморегулирующими подставками, предназначенными для микроскопов.

Ключевые слова: термодатчик, терморегулятор, микропроцессор, точность, мощность.

A.A. SANOYAN, R.H. SIMONYAN, S.N. AYRAPETYAN

LABORATORY THERMOREGULATOR

The laboratory thermoregulator of high accuracy with microprocessor control is described. The adjustable accuracy of the thermoregulator is 0.1°C and can work with heaters up to 2kW. It has not only numerical indication of the adjustable temperature, but also light and sound signalization of the regulation process. This instrument can work with the volumetric aqueous heat exchangers as well as with the heaters for microscopes.

Keywords: thermometer, thermoregulator, microprocessor, accuracy, power.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍԱՐԳՍՅԱՆ ՅՈՒ. Լ., ՓԱՐԻԿՅԱՆ Տ.Յ., ԽԱՌԱՏՅԱՆ Ա.Գ. ՎԵՐԱԿՈՆՖԻԳՈՒՐԱՅՎՈՂ ԴԻՄԿՐԵՏ ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՄՈՏԱՐԿՈՒՄԱՅԻՆ ՍԻՆԹԵԶ ԿԱՐԳԱՎՈՐՎՈՂ ԴԻՄԴՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ...	251
ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Ա., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ա.Ս., ՎԱՍԻԼՅԱՆ Գ.Ա. ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒԼ ՎԱԾՔՆԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	262
ԴՐՄԵՅԱՆ Հ.Ռ. ՄԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅՈՒՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ՌԵՆՏԱԿԵՆԱԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶՈՓԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ	273
ՄԻՐԱԿԱՆՅԱՆ Մ.Ա., ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ Գ.Յ., ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ Ն.Կ. ՄՈՂԻՖԻԿԱՅՎԱԾ ՓՔԵՑՎԱԾ ՊԵՌԼԻՏԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՌԱԴԻՈՆՈՒԿԼԻԴ- ՆԵՐԻՑ ԱՊԱԱԿՏԻՎԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՈՒՄ	278
ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ս.Ո. ԿԱՐԾՐ ՀԱՄԱՁՈՒԼ ՎԱԾՔԵ ԳՈՐԾԻՔԱՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ՏԻՏԱՆԻ ԿԱՐԲԴԻ ԵՎ ԱԶՈՏԻ ՓՈԽԱԶԴՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	286
ՍԱՐԳՍՅԱՆ Լ.Ե., ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ Դ.Լ., ՄՈԱՏԱՍԵՄ Մ.Խ. ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՖԼՈՏԱՅՄԱՆ ՑԻԿԼԻ ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄԸ՝ ՄԵՏԱԴ- ՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ՍՏԱՅՄԱՄԲ	295
ՍԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ԱՅՎԱԶՅԱՆ Ա.Ա. ՔՐՈՄԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ՁԵՎԱՓՈԽՄԱՆ ՀԱՐՑԵՐԸ ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՈՒՄ	302
ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Մ. ԱՄՈՆԻՈՒՄԻ ՊԵՐՌԵՆԱՏԻ ԿՈՐԶՈՒՄԸ ՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻՑ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԴԻՍՈՅՈՒՄԸ	312
ՍԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ՇԱՄՍՅԱՆ Ե.Ռ. ԶԷԿ-ԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅՈՒՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՄԱՔՐՈՒՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅՈՒՅՑԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ	318
ՍԱՐԳՍՅԱՆ Վ.Կ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ռ.Ե. ՄԵՅՍՄՈՄԵՏՐԻԿԱՅՈՒՄ ՉԱՓԱԲԱՆԱԿԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՐՑԵՐԻ ՄԱՍԻՆ	330
ԹԵՐԶՅԱՆ Հ.Ա., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս., ԽԱՉԱՏՈՒՐՅԱՆ Վ.Ա. ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ	337
ՍՏԱԿՅԱՆ ՅՄԼ.Մ., ՀԱՅԿԱԶՅԱՆ Է.Մ., ՊՈՂՈՍՅԱՆ Մ.Զ., ՖԱՏՅԱՆ Ռ.Է. ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԸՆԹԱՑԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՅՈՒՄԸ ԿԵՆՍԱԲԺԿԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ	344
ՍԱՆՈՅԱՆ Ա.Ա., ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ռ.Հ., ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ Ս.Ն. ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ՋԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆԱՅՈՒՅԻՉ	351

СОДЕРЖАНИЕ

<i>САРКИСЯН Ю.Л., ПАРИКЯН Т.Ф., ХАРАТЯН А.Г.</i> АППРОКСИМАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ДИСКРЕТНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ НА БАЗЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ДИАД	251
<i>АГБАЛЯН С.Г., ПЕТРОСЯН А.А., АГБАЛЯН А.С., ВАСИЛЯН Г.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АРМИРОВАННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ	262
<i>ДРМЕЯН Г.Р.</i> РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ	273
<i>СИРАКАНЯН М.А., ВАРДЕРЕСЯН Г.Ц., ГАСПАРЯН Н. К.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ	278
<i>ВАРДАНИЯН С.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАРБИДА ТИТАНА С АЗОТОМ В ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ	286
<i>САРГСЯН Л.Е., ТОВМАСЯН Д.Л., МОАТАСЕМ М.Х.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ФЛОТАЦИОННОГО ЦИКЛА С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭФФЕКТИВНОГО КОНЦЕНТРАТА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ	295
<i>МАРТИРОСЯН В.А., АЙВАЗЯН А.А.</i> ВОПРОСЫ МОДИФИКАЦИИ ХРОМИТНОГО КОНЦЕНТРАТА В ПРОЦЕССЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ХРОМИТОВ ..	302
<i>ОГАНЕСЯН А.М.</i> ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРРЕНАТА АММОНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МОЛИБДЕНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ЕГО ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ	312
<i>МАРУХЯН В.З., ШАМАМЯН Е.Р.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СРОКОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ТЭС	318
<i>САРКИСЯН В.К., САРКИСЯН Р.Е.</i> НЕКОТОРЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СЕЙСМОМЕТРИИ	330
<i>ТЕРЗЯН А.А., СУКИАСЯН Г.С., ХАЧАТУРЯН В.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ	337
<i>СТАКЯН Ю.М., АЙКАЗЯН Э.М., ПОГОСЯН М.З., ФАТЯН Р.Э.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПРОЦЕДУР В БИОМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	344
<i>САНОЯН А.А., СИМОНЯН Р.А., АЙРАПЕТЯН С.Н.</i> ЛАБОРАТОРНЫЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОР	351

CONTENTS

SARKISSYAN Y.L., PARIKYAN T.F., KHARATYAN A.G. APPROXIMATION SYNTHESIS OF RECONFIGURABLE DISCRETE MANIPULATORS BASED ON ADJUSTABLE DYADS	251
AGHBALYAN S.G., PETROSYAN A.A., AGHBALYAN A.S., VASILYAN G.A. RESEARCH OF PROPERTIES OF THE REINFORCED POWDER ALLOYS ON THE BASIS OF COPPER	262
DRMEYAN H.R. THE X-RAY INTERFEROMETRICAL INVESTIGATION OF SURFACE LAYERS OF SILICON CRYSTALS	273
SIRAKANYAN M.A. , VARDERESYAN G.C., GASPARYAN N.K. MODIFIED SINTERED PERLITE APPLICATION FOR THE RADIONUCLIDE LOCALIZATION	278
VARDANYAN S.V. RESEARCH OF INTERACTION PROCESSES BETWEEN TITANIUM CARBIDE AND NITROGEN IN HIGH-ALLOY TOOL MATERIALS	286
SARGSYAN L.YE., TOVMASYAN D.L., MOATASEM M. KH. PERFECTION OF POLYMETALLIC ORE FLOTATION CYCLE TO OBTAIN AN EFFECTIVE CONCENTRATE FOR RECOVERY OF METALS	295
MARTIROSYAN V.H., AYVAZYAN A.A. MODIFICATION PROBLEMS OF CHROMITE CONCENTRATION IN THE PROCESS OF MECHANOCHEMICAL AND THERMAL ACTIVATION	302
HOVHANNISYAN A.M. RECOVERY OF AMMONIUM PERRHENAT FROM MOLYBDENITE CONCENTRATE LEACHING SOLUTIONS AND ITS THERMIC DISSOCIATION	312
MARUKHYAN V.Z., SHAMAMYAN Y.R. DEVELOPMENT OF A METHOD DEFINING THE OPTIMAL CLEANING PERIOD OF TPP SURFACE CONDENSERS	318
SARGSYAN V.K., SARGSYAN R. E. ON REGARDING SOME METROLOGICAL PROBLEMS IN SEISMOMETRY.....	330
TERZYAN H.A., SUKIASYAN H.S., KHACHATURYAN V.A. APPLICATION OF DECISION-MAKING ALGORITHMS IN ELECTROMAGNETIC FIELD PROBLEMS	337
STAKYAN Yu.M., HAYKAZYAN E.M., POGHOSYAN M.Z., FATYAN R.E. DESIGN PROCEDURE AUTOMIZATION IN BIOMEDICAL INVESTIGATIONS	344
SANOYAN A.A., SIMONYAN R.H., AYRAPETYAN S.N. LABORATORY THERMOREGULATOR	351