

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 3 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.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, **Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ**, **ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ**, **Վ.Ս. ՍԱՐԿՍՅԱՆ**,
Ս.Հ. ՄԻՍՈՆՅԱՆ, **Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ**, **Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՅԱՆ**

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. TERZYAN** (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

Համակարգչային շարվածքը
և ձևավորումը

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՑԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА
Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2007

Г.Г. ШЕКЯН, А.П. ХАЛАТЯН, Э.П. ХАЛАТЯН, Р.П. ХАЛАТЯН

СУБГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ РОТОРА НА ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Рассмотрено вращение ротора на подшипниках качения при стационарных режимах. Показано, что при вращении вала на подшипниках качения возникают субгармонические колебания параметрического, комбинационного типа, зависящие от многочисленных факторов: скорости, нагрузки, геометрии дорожек качения, чистоты контактирующих поверхностей, радиального зазора в подшипнике, нелинейной жёсткости подшипника и т. д.

Ключевые слова: субгармоника, колебания, резонанс, частота, демпфирование, одночастотные слагаемые, дополнительные гармоники.

При вращении ротора на подшипниках качения возникают субгармонические колебания параметрического и комбинационного типа, обусловленные различными факторами: скоростью, нагрузкой, геометрией дорожек и тел качения, чистотой контактирующих поверхностей, радиальным зазором, нелинейной жёсткостью подшипника и т.д. Всё это вызывает значительные трудности в точном математическом описании движения ротора и приводит к необходимости упрощения задачи. В результате иногда имеем лишь приближённые решения, удовлетворяющие в той или иной степени требованиям, предъявляемым к ротору [1,2].

Нелинейная жёсткость шарикоподшипника, описываемого законом Герца, может быть представлена в виде аппроксимирующей функции $f(y) = ay + by^3$, при этом уравнение движения ротора по одной из координат запишется в виде

$$\ddot{y} + ay + by^3 = H\omega^2 \cos \omega t. \quad (1)$$

Уравнение (1) относится к классу уравнений Дуффинга. Теоретически и экспериментально доказано, что в нелинейных схемах, подчиняющихся уравнениям Дуффинга, существуют колебания, частота которых меньше частоты возмущающей силы в два или три раза. Такие колебания называются субгармоническими порядка $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{3}$ (в отличие от ультрагармонических, частота которых, наоборот, выше частоты возмущения) [3].

Субгармонические колебания появляются в нелинейной системе в виде субгармонического резонанса, когда частота возмущающей силы кратна собственной частоте линейной системы [3, 4]. Уравнения, описывающие движение ротора на подшипниках качения, существенно нелинейны, а податливость самих подшипников приводит к значительному снижению резонансных скоростей, поэтому субгармонические колебания валов на шарикоподшипниках с упругими опорами могут возникать в рабочем диапазоне скоростей [4]. Так как в (1) коэффициент при нелинейном члене того же порядка, что и при линейном, то для решения этого уравнения обычные асимптотические

методы, используемые при исследовании квазилинейных систем, здесь не применимы. Воспользуемся методом изображающей функции, изложенной в [1], который относится к частотным методам анализа и распространяет на нелинейные системы понятие передаточной функции, называемой в этом случае изображающей функцией.

Предположим наличие в системе вязкого линейного трения. Уравнение (1) после введения демпфирования примет вид [4]

$$\ddot{y} + \eta y' + ay + by^3 = H\omega^2 \cos \omega t. \quad (2)$$

Будем полагать, что в системе, описываемой уравнением (2), существуют субгармонические колебания порядка $\frac{1}{2}$. В этом случае решение (2) будем искать в виде

$$y = A \cos(\omega t - \varepsilon_1) + \beta \cos\left(\omega \frac{t}{2} - \varepsilon_2\right). \quad (3)$$

Подставляя (3) в левую часть уравнения (2) и обращаясь к методу изображающей функции, запишем

$$\begin{aligned} U = \ddot{y} + \eta y' + ay + by^3 = & -A\omega^2 \cos(\omega t - \varepsilon_1) - \\ & -\frac{B}{4}\omega^2 \cos\left(\omega \frac{t}{2} - \varepsilon_2\right) - \eta A\omega \sin(\omega t - \varepsilon_1) - \\ & -\eta \frac{B}{2}\omega \sin\left(\omega \frac{t}{2} - \varepsilon_2\right) + aA \cos(\omega t - \varepsilon_1) + \\ & + aB \cos\left(\omega \frac{t}{2} - \varepsilon_2\right) + b\frac{3}{4}B(2A^2 + B^2) \cos\left(\omega \frac{t}{2} - \varepsilon_2\right) + \\ & + b\frac{3}{4}A(A^2 + 2B^2) \cos(\omega t - \varepsilon_1) + \\ & + b\frac{3}{4}A^2B \cos\left(\frac{3}{2}\omega t - 2\varepsilon_1 + \varepsilon_2\right) + \\ & + b\frac{B^2}{4} \cos\left(\frac{3}{2}\omega t - 3\varepsilon_2\right) + b\frac{3}{4}AB^2 \cos(2\varepsilon_2 - \varepsilon_1) + \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Согласно определению изображающей функции (3), допустимо применение комплексной записи для $Y(t)$ и $U(t)$:

$$\begin{aligned} Y(t) = y_1(t) + y_2(t) = & A \exp[i(\omega t - \varepsilon_1)] + \\ & + B \exp\left[i\left(\omega \frac{t}{2} - \varepsilon_2\right)\right], \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
U(t) = & \ddot{y} + \eta y' + ay + \\
& + b \left[\frac{3}{4} B(2A^2 + B^2) \exp(-i\varepsilon_2) \right] \exp\left(i \frac{\omega}{2} t\right) + \\
& + b \left[\frac{3}{4} A(A^2 + 2B^2) \exp(-i\varepsilon_2) \right] \exp(i\omega t) + \\
& + b \left\{ \begin{aligned} & \frac{3}{4} A^2 B \exp[-i(2\varepsilon_1 - \varepsilon_2)] + \\ & + \frac{B^2}{4} \exp(-i3\varepsilon_2) \end{aligned} \right\} \exp\left(i \frac{3}{2} \omega t\right) + \\
& + b \frac{3}{4} AB^2 \exp[-i(\varepsilon_1 - 2\varepsilon_2)] + \dots
\end{aligned} \tag{6}$$

Перегруппировав одночастотные слагаемые, можно (6) разделить на 3 части:

$$\begin{aligned}
U(t) = & U_1(t) + U_2(t) + \Delta(t) = \ddot{y} + \eta y' + ay + b \left[\frac{3}{4} (A^2 + 2B^2) \right] y_1 + \\
& + \ddot{y}_2 + \eta_2 + ay_2 + b \left[\frac{3}{4} (2A^2 + B^2) \right] y_2 + \\
& + b \left\{ \begin{aligned} & \frac{3}{4} A^2 \exp\left[i\left(\frac{3}{2}\omega t - 2\varepsilon_1\right)\right] + \frac{B^2}{4} \exp\left[i\left(\frac{3}{2}\omega t - 4\varepsilon_2\right)\right] + \\ & + \frac{3}{4} AB \exp[i(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)] \end{aligned} \right\} B \exp(i\varepsilon_2).
\end{aligned} \tag{7}$$

В результате получим двухчастотную передаточную (изображающую) функцию:

$$E_1(\omega, A, B) = -\omega^2 + \left[a + b \frac{3}{4} (A^2 + 2B^2) \right] + i\omega\eta, \tag{8}$$

$$E_2\left(\frac{\omega}{2}, A, B\right) = -\frac{\omega^2}{4} + \left[a + b \frac{3}{4} (2A^2 + B^2) \right] + i \frac{\omega^2}{2} \eta. \tag{9}$$

При этом необходимо потребовать, чтобы $\Delta(t) = 0$, т. е.

$$3A^2 \exp\left[i\left(\frac{3}{2}\omega t - 2\varepsilon_1\right)\right] + B^2 \exp\left[i\left(\frac{3}{2}\omega t - 4\varepsilon_2\right)\right] + 3AB \exp[i(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)] = 0. \tag{10}$$

Представляя возмущающее усилие в виде $N\omega^2 \exp i\omega t$, получим два уравнения:

$$\begin{aligned} E_1(\omega, A, B) &= \frac{H\omega^2}{A} \exp(i\varepsilon_1), \\ E_2\left(\frac{\omega}{2}, A, B\right) &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Приступая к определению неизвестных амплитуд и фазовых углов, разделим вещественную и мнимую части в первом уравнении системы (11):

$$\begin{aligned} \omega A \eta &= H\omega^2 \sin \varepsilon_1, \\ -\omega^2 A + A \left[a + b \frac{3}{4} (A^2 + 2B^2) \right] &= H\omega^2 \cos \varepsilon_1. \end{aligned} \quad (12)$$

Далее положим $\eta = 0$ и $\varepsilon_1 = 0, \pi$. Тогда из (12) найдём

$$A = \frac{4H\omega^2}{4(a - \omega^2) + 3b(A^2 + 2B^2)}. \quad (13)$$

При $b=0$ уравнение (13) даёт значение амплитуды A для линейной системы с собственной частотой $\omega_0 = \sqrt{a}$. Из второго уравнения системы (11) получим

$$A^2 = \frac{\omega^2 - 4a}{6b} - \frac{B^2}{2}. \quad (14)$$

Подставляя (14) в (13), получим

$$A = \frac{8H\omega^2}{4a - 7\omega^2 + 9B^2b}. \quad (15)$$

Дополнительное уравнение для определения соотношения между амплитудами A и B найдём из условия $\Delta(t) = 0$. Полагая $\varepsilon_1 = 0$, выделим вещественную часть из этого уравнения:

$$3A^2 \cos \frac{3}{2} \omega t + B^2 \cos \left(\frac{3}{2} \omega t - 4\varepsilon_2 \right) = -3AB \cos \varepsilon_2. \quad (16)$$

Разложим $\cos \left(\frac{3}{2} \omega t - 4\varepsilon_2 \right)$ и приравняем коэффициенты при $\sin \frac{3}{2} \omega t$. Тогда будем иметь $B^2 \sin 4\varepsilon_2 = 0$, откуда следует, что при некотором установившемся режиме $4\varepsilon_2 = \pi$. Предположим, что при $B > A$ будем иметь

$$A = \frac{\sqrt{2}}{3} B \cos \frac{3}{2} \omega t. \quad (17)$$

Смысл выражения (15) будет ясен, если учесть, что A – амплитуда колебаний ротора. Движение ротора в этом случае представляет собой круговую синхронную прецессию. Так как при субгармонических колебаниях на основные колебания накладываются ещё одни частоты, то прецессия ротора не будет круговой, и центр шипа ротора опишет три полных колебания около положения

статического равновесия за два оборота ротора, т. е. частота прецессии ротора равна $3\omega/2$.

Из полученных для амплитуд зависимостей видно, что характер движения ротора в подшипнике зависит от соотношения между жесткостными коэффициентами a и b , которые, в свою очередь, являются функциями от начальных условий и от области изменения координаты y . Решив уравнение (15) относительно B , получим

$$B^2 = \frac{8H\omega^2 + (7\omega^2 - 4a)A}{9bA}. \quad (18)$$

Отсюда вытекает условие возникновения и существования субгармонических колебаний порядка $1/2$ для рассматриваемой системы $H\omega^2 \geq \frac{A}{8}(4a - 7\omega^2)$.

Принимая $a = \omega_0^2$ (собственная частота линеаризованной системы ротор-подшипники) и вводя безразмерную частоту $\Omega = \omega/\omega_0$ и безразмерную амплитуду $\xi_1 = A/2\delta$, где 2δ - диаметральный зазор в подшипнике, получим уравнение, определяющее нижнюю границу возникновения субгармонических колебаний при жёсткой установке подшипников в корпусе:

$$\Omega^2 = \frac{4}{7 + 8h/\xi_1}. \quad (19)$$

На рисунке представлены границы возможного появления субгармонических колебаний порядка $\frac{1}{2}$ на плоскости параметров Ω и ξ для нескольких значений относительной неуровненности h .

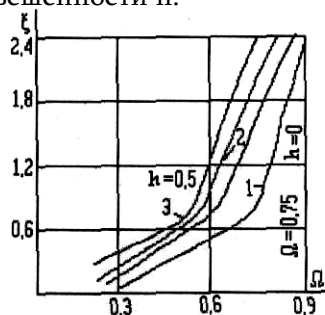


Рис. График возникновения субгармонических колебаний порядка $1/2$ для ротора с жёсткоустановленным шарикоподшипником

Как следует из (19), даже при идеальной балансировке ротора возможно появление субгармонических колебаний при $\Omega \geq 0,75$. Определение верхней границы для случая жёсткой установки подшипников не представляется возможным. Однако в системах с нелинейной жёсткостью, аппроксимируемых полиномом типа $f(y) = ay + by^3$, кроме колебаний порядка $1/2$, возможны и

колебания порядка 1/3. Следовательно, в системах с жёсткими подшипниками качения имеет место переход колебаний одного из указанных типов в другой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блакер О.** Анализ нелинейных систем.– М.: Мир, 1969.- 400 с.
2. **Новиков Л.З.** Статика радиально-упорного шарикоподшипника // Изв. АН СССР. Механика и машиностроение.– 1963. – N 5.- С. 17-28.
3. **Пановко Я.Г.** Основа прикладной теории упругих колебаний.– М.: Машиностроение, 1967.- 316 с.
4. **Шемян Г.Г.** Динамика роторных машин.– Ереван: Изд. НАН РА "Гитутюн", 2004. - 329 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.09.2004.

Հ.Գ. ՇԵԿՅԱՆ, Հ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Է.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Ռ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ

ԳԼՈՐՄԱՆ ԱՌԱՆՑՔԱԿԱԼՆԵՐՈՎ ՌՈՏՈՐԻ ՍՈՒԲՀԱՐՄՈՆԻԿ ՏՍՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ

Դիտարկված են գլորման առանցքակալների վրա պտտվող ռոտորի և ռոտորային մեքենայի տատանումները ստացվող ռեժիմում: Ցույց է տրված, որ գլորման առանցքակալներով լիսեռ պտտելիս առաջանում են պարամետրական համակցված սուբհարմոնիկ տատանումներ, որոնք կախված են բազմաթիվ գործոններից՝ արագությունից, բեռնվածությունից, գլորման առանցքակալի ակոսի երկրաչափությունից, կոնտակտային մակերևույթների մաքրությունից, շառավղային բացակից, գնդիկների ոչ գծային կոշտությունից և այլն:

Առանցքային բառեր. սուբհարմոնիկ, տատանումներ, ռեզոնանս, հաճախություն, դեպֆերացում, միահաճախանի բաղադրիչներ, լրացուցիչ հարմոնիկներ:

H.G. SHEKYAN, H.P. KHALATYAN, E.P. KHALATYAN, R.P. KHALATYAN

SUBHARMONIC OSCILLATIONS OF ROTOR ON ROLLING CONTACT BEARING

Rotation of the rotor on rolling contact bearings in stationary conditions is discussed. It is shown that rotating the shaft on rolling contact bearings subharmonic oscillations of parameter and combination types arise depending on numerous factors of speed, loading, geometry of rolling paths, frequency of contacting surfaces, radial bearing clearance, nonlinear bearing rigidity, etc.

Keywords: subharmonic, oscillations, resonance, frequency, damping, single-frequency components, supplementary harmonics.

В.Ш. АВАГЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФФУЗИОННОЙ ПАЙКИ И СВАРКИ МЕДНЫХ УСКОРЯЮЩИХ СТРУКТУР

Приводится технология диффузионных соединений медных ускоряющих структур. Экспериментальным путем определены условия образования диффузионного соединения медных конструкций с минимальной остаточной пластической деформацией.

Ключевые слова: диффузия, сварка, вакуум, пайка, ускоряющая структура.

Введение. Получение прецизионных пучков заряженных частиц высоких энергий в современных линейных ускорителях налагает жесткие требования на качество изготовления и сборки медных ускоряющих структур. Эти требования сводятся к минимизации неоднородностей внутри полости ускоряющих структур, избежанию примесей при пайке медных конструкций и различных деформаций при соединении конструктивных частей. Изучение этих эффектов и разработка новых подходов к вопросам соединения медных конструкций являются важной частью современных исследований по ускорительной технике для обеспечения малых потерь высокочастотной мощности, избежания возбуждения паразитных мод в структуре, неоднородного нагрева и пробоя электромагнитного поля.

При соединении отдельных элементов ускоряющей структуры должны быть удовлетворены следующие требования: обеспечение прочности соединения; обеспечение вакуумной герметичности; обеспечение проектных геометрических размеров ускоряющей структуры; минимизация остаточных деформаций после соединения элементов структуры; избежание различных примесей, окисления и образования новых соединений; разработка установки, которая обеспечивает соединение (стыковку) отдельных частей ускоряющих секций.

Важной частью технического осуществления соединений медных конструкций является разработка установки, которая обеспечивает выполнение вышеуказанных требований.

В данной работе рассматривается технология соединения ускоряющих структур методом индукционной пайки и диффузионной сварки в вакууме. Исследованы вопросы зависимости остаточной деформации стыкуемых элементов ускоряющей секции от давления, температуры и времени выдержки. Разработана установка для пайки и диффузионного соединения ускоряющих секций, позволяющая обеспечить минимальную пластическую деформацию изделия.

1. Технология пайки ускоряющих структур. Ускоряющая структура состоит из отдельных элементов, изготовленных из медных чашек, которые собираются в пакет и соединяются между собой с помощью пайки серебряным припоем (ПСр-72) в вакууме (см., например, [1]). Во время процесса пайки

конструктивных частей геометрическая форма конструкции в месте стыковки может деформироваться из-за плотности растекающегося припоя [2].

Для обеспечения требуемых электрических параметров ускоряющих секций и хорошего смачивания припоя предлагается предварительно наносить серебро в местах стыка чашек методом гальванического покрытия.

Применение промежуточного элемента в виде гальванически нанесенного серебра, более мягкого, чем медь, приводит к локализации пластической деформации сжатия в месте стыка изделий. Физический контакт образуется при этом преимущественно за счет активной деформации и ползучести серебра, заполняющего микронеровности соединяемых поверхностей, что существенно снижает минимально необходимый уровень давления сжатия и остаточной деформации изделий. При соединении меди через тонкий слой серебра при температуре, несколько превышающей температуру плавления ($T_{пл.}$) эвтектики Ag-Cu (но остающейся ниже температуры плавления серебра), развивается процесс контактно-реактивного плавления. Большую роль играет здесь давление сжатия на соединяемые детали, воздействующие на физико-химические процессы, протекающие в месте контакта. Из диаграммы состояния системы серебро-медь известно, что серебро обладает ограниченной растворимостью в меди (не более 8%), поэтому толщина гальванического покрытия должна быть минимальной. Как показали экспериментальные исследования, оптимальная толщина покрытия должна быть порядка 8...12 мкм. Дальнейшее увеличение толщины покрытия приводит к снижению прочности соединения и увеличению остаточной деформации.

Соединение медных ускоряющих структур проводилось в вакууме $P=1,3 \cdot 10^{-3}$ Па при температуре 1073 К и давлении сжатия 1 МПа. На рис. 1 схематически представлена установка для соединения ускоряющей структуры длиной до 1,2 м [3].

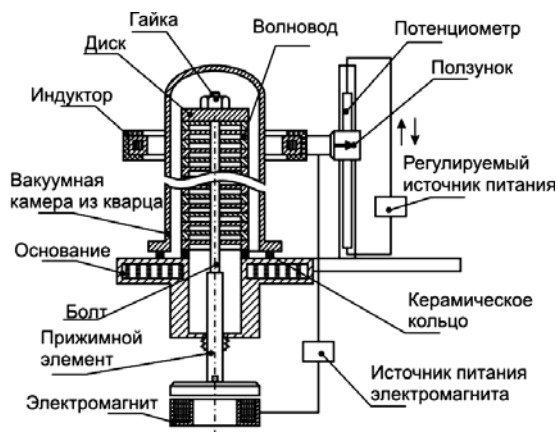


Рис.1. Схема установки для соединения ускоряющих секций

Разработанная установка позволяет обеспечить оптимальный режим соединения в стыке каждой двух чашек по всей длине ускоряющей структуры. Постоянство давления обеспечивается системой управления магнитом,

снижающим нагрузку по мере перемещения нагревателя сверху вниз; постоянство времени процесса соединения - за счет размеров нагревателя и скорости его перемещения, а постоянство температуры нагрева - путем дозированного снижения мощности источника нагрева по мере перемещения нагревателя сверху вниз. Нагрев ускоряющей секции осуществляется медным индуктором диаметром 180 мм (число витков 8), который подключен к высокочастотному генератору ВЧГ 6-60/0,44 (рабочая частота 0,44 МГц). Контроль температуры осуществляется пирометром Raytek MX4. На рис.2 показана микроструктура зоны соединения меди с медью через жидкую фазу серебра.

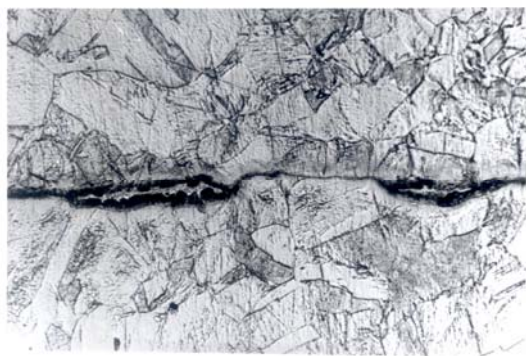


Рис.2. Микроструктура зоны соединения медь - серебро – медь ((200))

2. Исследование условий образования диффузионного соединения меди с минимальной остаточной пластической деформацией. Диффузионное соединение меди в вакууме или в среде инертного газа не вызывает особых затруднений, однако следует отметить, что нет единого мнения об оптимальных режимах диффузионной сварки меди [4,5].

С целью выбора оптимальных условий, обеспечивающих получение соединений с минимальной остаточной пластической деформацией, изучено влияние подготовки поверхности и параметров режима на механические свойства диффузионных соединений. Исследование проводилось на образцах из меди М1. Параметры процесса изменялись в следующих пределах: удельное давление P , МПа - 2...8; температура нагрева - T , К - 973...1173; время выдержки τ , мин - 5...20.

Стыкуемые поверхности образцов обрабатывались алмазными резцами до шероховатости $Ra = 1,5...0,025$ мкм. Анализ влияния температуры соединения на параметр σ (прочность соединения на разрыв) показывает, что более интенсивный рост остаточной пластической деформации (наступает при $T \geq 1073$ К, а прочность соединения при этой температуре уже находится на уровне основного металла (рис. 3).

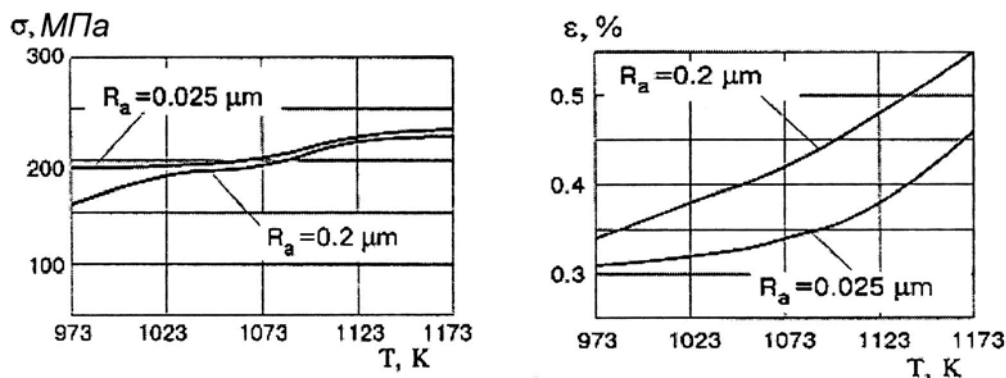


Рис.3. Зависимость параметров сварки σ и ϵ от температуры
($P = 4 \text{ МПа}$, $\tau = 20 \text{ мин}$)

При высокотемпературной ползучести в зоне контакта возрастает вклад межзернового проскальзывания, что в некоторой степени способствует образованию физического контакта. Металлографические исследования показывают, что с повышением температуры соединения количество дефектов в зоне соединения уменьшается, причем наибольшее влияние повышения температуры проявляется при чистоте обработки поверхностей R_a ($0,025 \text{ мкм}$, когда наблюдается общее образование зерен (рис.4).



Рис.4. Микроструктура зоны соединения меди ((200))

Графики зависимости σ - и ϵ - соединений от величины удельного давления приведены на рис. 5. Как видно из графиков, рост давления повышает прочность соединения, однако резко увеличивается остаточная деформация. Наиболее интенсивный рост наблюдается начиная с $P = 4 \text{ МПа}$.

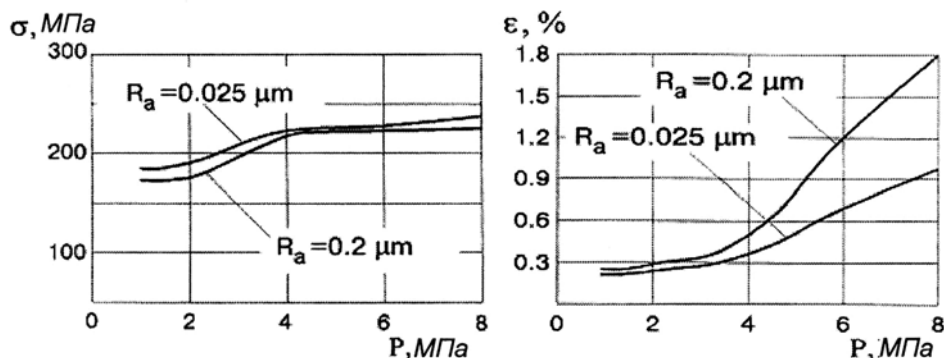


Рис.5. Зависимость параметров сварки σ и ϵ от сварочного давления
($T = 1123 \text{ K}$, $\tau = 20 \text{ мин}$)

Зависимости σ - и ϵ - соединений от времени показывают, что для соединения реального изделия можно рекомендовать время от 15 до 20 мин (рис. 6).

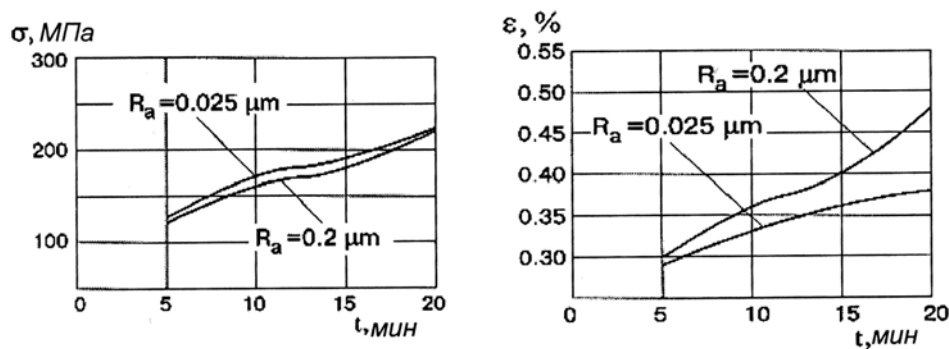


Рис. 6. Зависимость параметров сварки σ и ϵ от времени
($T = 1123 \text{ K}$, $P = 4 \text{ МПа}$)

В соответствии с представлениями о механизме и кинетике процесса диффузионного соединения можно выделить следующие пути снижения остаточной пластической деформации соединения:

- повышение класса чистоты обработки поверхности;
- освобождение поверхности от оксидов.

Исследование диффузионного соединения на двух медных чашках показало, что параметрами оптимального режима являются: $T = 1073^\circ \text{ C}$; $P = 1 \text{ МПа}$; $\tau = 15 \text{ мин}$ при чистоте обработки поверхностей $R_a = 0,025 \text{ мкм}$. При этом относительная деформация ($0,01 \%$. На рис.7 показано металлографическое исследование зоны соединения. Как видно из рисунка, сохраняется граница раздела, но ее ширина такого же порядка, что и обычная межзеренная граница. При этом прочность соединения составляет $\sigma \geq 180 \text{ МПа}$.

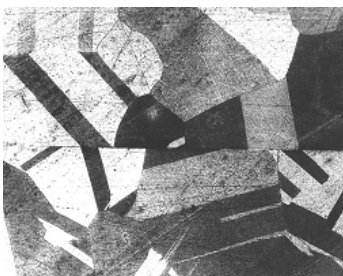


Рис.7. Микроструктура зоны соединения медь+медь (x200)

3. Установка для диффузионной сварки и пайки длинномерных изделий. Для решения вопроса герметичности соединения отдельных частей ускоряющих секций разработана установка (рис.8), которая позволяет с помощью вакуумной камеры в виде сильфона герметизировать область стыка соединяемых частей секций и в процессе соединения осуществлять контроль герметичности.

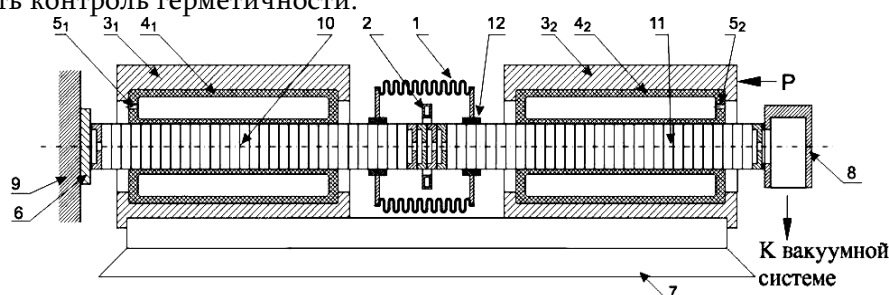


Рис.8. Схема установки для диффузионной сварки длинномерных изделий:

- 1- вакуумная камера, 2 - индуктор для нагрева, 3 - кольцевой барабан, 4 - резиновое колесо, 5 - отверстие для подачи воздуха, 6 - заглушка, 7-основание, 8 - фланец, 9 - опора, 10,11 – стыкуемые ускоряющие секции, 12 - прокладка

Установка работает следующим образом. Соединяемые ускоряющие секции 10 и 11 устанавливаются внутри барабана 3 через резиновое колесо 4. Через отверстие 5 в полость резиновой камеры подается воздух и создается давление, которое захватывает соединяемые ускоряющие секции, независимо от их внешних профилей, и обеспечивает равномерный захват соединяемых секций, исключая таким образом их деформацию. Секция 10 опирается на опору 9, а секция 11 соединена через фланец 8 с вакуумной системой. Кольцевые барабаны 3₁ и 3₂ имеют возможность перемещения в трех направлениях (на чертеже не показано).

После создания вакуума в камере 1 соединяемые секции нагреваются индуктором 2 до необходимой температуры, а давление соединения обеспечивается через барабан 3₂ (на чертеже не показано). Взаимное перемещение секций 10 и 11 обеспечивается с помощью вакуумной камеры в виде сильфона.

Разработанная установка обеспечивает контроль герметичности в процессе соединения, пропуская гелий в камеру 1, а массоспектрометр подсоединен к вакуумной системе через фланец 8 для контроля герметичности.

Заклучение

1. Разработана специализированная установка для осуществления диффузионных соединений в вакууме, позволяющая выдерживать по всей длине волновода постоянство сварочного давления для каждого соединяемого стыка чашек за счет взаимосвязи перемещения нагревателя и системы сжатия.

2. Определены оптимальные условия получения соединения с минимальной остаточной деформацией в зависимости от параметров процесса.

3. Разработана вакуумная установка для соединения ускоряющих секций с одновременным контролем вакуумной герметичности в стыке соединяемых секций.

Работа выполнена в Ереванском физическом институте им. А.И. Алиханяна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Carron G. et al.** Design of a 3GNZ accelerator structure for the CLIC test facility (CTF 3) drive beam // XX International Linac Conference (Linac 2000).- Monterey, California, 21-25 Aug., 2000. - Vol. 1. - P. 416-418.
2. **Takahashi J. et al.** Plunger frequency of the side couple accelerating structure for the IFUSP microtron // 1997 Particle Accelerator Conference (PAC'97), Vancouver, B.C., Canada, 12-16 May, 1997. - P. 2998-3000.
3. А.с. СССР, 1755481, МК Б23К 20/26. Устройство для диффузионной сварки / **В.Ш. Авагян, А.З. Бабаян.** - Оpubл. 1992.
4. **Конюшков Г.В.** Особенности получения вакуумноплотного соединения материалов при диффузионной сварке // Автомат. сварка. - 1985. - N 8. - С. 25-28.
5. **Сергеев С.А., Филипенко А.Г.** Диффузионная сварка металлов в электронной технике // В кн.: Новые методы сварки в машиностроении и приборостроении. - 1988. - С.33-36.
6. **Авагян В.Ш.** Установка для диффузионной сварки длинномерных изделий: Патент, АМ, N 1534A2. Заяв. 20.04.2004; Оpubл. 11.05.2004. - N5 (46).

Центр перспект. исслед. с использованием синхр. излучения (CANDLE), Ереван, Армения. Материал поступил в редакцию 20.05.2006.

Վ.Շ. ԱՎԱԳՅԱՆ

ՊԵՐՏԵ ԱՐԱԳԱՑՆՈՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՂԻՖՈՒՂԻՈՆ ԶՈՂՄԱՆ ԵՎ ԵՌԱԿՑՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ներկայացված է պղնձե արագացնող կառուցվածքների ղիֆուղիոն միացումների տեխնոլոգիան: Փորձնական ճանապարհով հաստատվել են պղնձի ղիֆուղիոն միացումների պայմանները, որոնց դեպքում մնացորդային դեֆորմացիան նվազագույնն է:

Առանցքային բառեր. ղիֆուղիա, վակուում, եռակցում, զոդում, արագացնող կառուցվածք:

V.SH. AVAGYAN

STUDY AND DEVELOPMENT OF DIFFUSION BRAZING AND WELDING OF THE COPPER ACCELERATING STRUCTURES TECHNOLOGY

Technologies of copper accelerating structure diffusion joints are presented. The formation conditions of copper diffusion joint with minimal residual plastic strain are determined experimentally.

Keywords: diffusion, welding, vacuum, brazing, accelerating structure.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Ա.Ն. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Հ.Հ. ԵԶԱԿՅԱՆ, Ա.Ա. ՖՐԱՆԳՈՒԼՅԱՆ

Fe₂O₃ - NiO - CoO - MoO₃ ՕՔՍԻԴԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻՑ ԲԱՐԴ ՕՔՍԻԴԱՅԻՆ ՄԻՆԵՐԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Հետազոտվել է Fe₂O₃ - NiO - CoO - MoO₃ - NH₄Cl համակարգի բաղադրամասերից բարդ օքսիդների սինթեզման գործընթացը, համաձայն որի NH₄Cl-ի առկայությամբ տեղի է ունենում նյութատեղափոխություն գազային ֆազով, որը նպաստում է պինդ ֆազային դիֆուզիայի ընթացքին, այսինքն՝ ֆերիտառաջացմանը: Արդյունքում ստացվել է շպինելի տիպի բարդ օքսիդ, որի վերականգնմամբ հնարավոր է ստանալ Fe - Ni - Co - Mo բաղադրամասերով լեգիրված մարտենսիտային ծեղացող պողպատափոշի:

Առանցքային բառեր. օքսիդ, սինթեզ, ֆազ, բաղադրամաս, դիֆուզիա, ֆերիտ, շպինել, վերականգնում, մարտենսիտ, ծեղացում, պողպատափոշի:

Ժամանակակից տեխնիկայի զարգացումը պայմանավորված է պահանջվող հատկություններով նյութերի ստեղծմամբ, հատկապես՝ բարձր ամրություն և պլաստիկություն ունեցող նյութերի: Այստեղ իր ուրույն դերն ունի հարվածային մածուցիկությունը, որպես կառուցվածքային զգայուն հատկություն: Հատկությունների համալիր առկայության դեպքում բարձրանում է նյութի հոսունության սահմանը, հոգնածային ամրությունը, ինչպես նաև նշանափոխ բեռնվածքների տակ աշխատելու հատկությունը:

Այսպիսի հեռանկարային նյութերից են մարտենսիտային ծեղացող պողպատները, որոնք մեծ կիրառություն են գտել տրանսպորտային տեխնիկայում, սարքաշինության մեջ, ատոմային էներգետիկայում, ռազմական արդյունաբերությունում և այլն: Ի տարբերություն ածխածնային պողպատների՝ մարտենսիտային ծեղացող պողպատներն ունեն փխրուն քայքայման նկատմամբ ավելի մեծ դիմադրություն, հատկապես բացասական ջերմաստիճաններում, հեշտությամբ դեֆորմացվում են և լավ ենթարկվում կտրման ու ջերմային մշակման:

Վերջին տարիների հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ նպատակահարմար է այս պողպատները ստանալ փոշեմետալուրգիական եղանակներով: Սա պայմանավորված է ոչ միայն տեխնիկատնտեսական ցուցանիշներով, այլ նաև ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների բարձրացմամբ, կառուցվածքի կայունությամբ և վերջնական արդյունքում շահագործման հատկությունների լավացմամբ: Հարցն այն է, որ մետալուրգիական ավանդական եղանակներով համաձուլվածքների ստացման ժամանակ տեղի է ունենում համաձուլվածքի կեղտոտում այնպիսի վնասակար խառնուրդներով, ինչպիսիք են ածխածինը, ջրածինը, թթվածինը, ազոտը, ծծումբը և ֆոսֆորը: Մյուս կողմից՝ ավանդական եղանակով համաձուլվածքների ստացման ժամանակ բյուրեղացման գործընթացում ձուլվածքում առաջանում է շերտավոր կառուցվածք, որը և հանդիսանում է այս համաձուլվածքների մեծ տարածում չգտնելու հիմնական խոչընդոտը:

Մյուս կողմից՝ լեգիրված մետաղափոշիների ոչ բավարար քանակությունը (հատկապես երկաթի հիմքով) թույլ չի տալիս ընդլայնել բարձր հատկություններով օժտված փոշենյութերի արտադրությունը: Բավական է նշել, որ ԱՊՀ երկրներում երկաթի հիմքով լեգիրված մետաղափոշիների արտադրության ծավալը կազմում է

արտադրվող մետաղափոշիների ծավալի ~2,5%-ը:

Հայաստանի Հանրապետությունը հարուստ է տարբեր տեսակի մետաղական հանքանյութերով, որը և հնարավորություն է տալիս տեղում կազմակերպել մետաղափոշիների և դրանց հիման վրա արտադրատեսակների արտադրություն:

Մարտենսիտային ծերացող պողպատներին վերաբերող արտասահմանյան և հայրենական գրականության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ առայժմ իրականացված չէ բարձր ամրությամբ փոշենյութերի ստացման տեսական հիմնավորվածությունը, որը կարող է կիրառվել համաձուլվածքների կառուցվածքի և հատկությունների ձևավորման ժամանակ: Բացակայում են գերձզգրիտ համաձուլվածքների ստացման, այդ թվում նաև մարտենսիտային ծերացող պողպատների, ինչպես նաև բազմաբաղադրիչ համակարգերի սինթեզման տեխնոլոգիական սկզբունքները:

Փորձերը ցույց են տվել, որ որոշ նյութերի ստացումը ավանդական եղանակով նպատակահարմար չէ: Օրինակ, մարտենսիտային ծերացող պողպատների ստացումը փոշեմետալուրգիական եղանակով մաքուր մետաղափոշիների խառնմամբ արդյունավետ չէ, ինչը պայմանավորված է ստացված պողպատների ցածր մեխանիկական հատկություններով:

Վերը նշված ուղղություններով հետազոտությունները գիտական և գործնական մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում: Այս հետազոտությունների արժեքը բարձրանում է նաև նրանով, որ բազմաբաղադրիչ փոշեհամաձուլվածքների ստացման գործընթացը դիտվում է որպես ժամանակակից տեխնիկայի պահանջներին բավարարող նոր նյութերի ստացման գործընթաց:

Աշխատանքի նպատակն է՝ բացահայտել հալոգենային միջավայրում ելանյութերի օքսիդներից բարդ օքսիդների սինթեզման մեխանիզմը և կինետիկան, այդ թվում՝ պինդ ֆազային ռեակցիաների և նյութատեղափոխության թերմոդինամիկան, որոնք հանգեցնում են բազմակուլպոնենտային համակարգերի ստացմանը:

Մարտենսիտային ծերացող պողպատները գերմաքուր պողպատներ են, այդ իսկ պատճառով պետք է գերծ լինեն խառնուրդներից և ունենան որոշակի կառուցվածք: Այդ է պատճառը, որ պողպատափոշու ստացման համար ընտրվել է բաղադրամասերի պարզ օքսիդային համակարգերից բարդ օքսիդների սինթեզման և վերականգնման տեխնոլոգիան:

1 և 2 աղյուսակներում բերված են ПВ–H18K10M5 մակնիշի մարտենսիտային ծերացող պողպատափոշու ստացման համար ընտրված ելանյութերի հատկությունները և հաշվարկային բովախառնուրդի պարունակությունը: Բովախառնուրդի բոլոր բաղադրամասերը չորացվել են 150 - 200, իսկ NH_4Cl –ը՝ 100(С ջերմաստիճաններում 1,5...2,0 ժամ) տևողությամբ: NH_4Cl պարունակությունը նյութական հաշվեկշռի հաշվարկի մեջ չի մտել:

Օքսիդային միացություններից բարդ օքսիդների պինդ լուծույթ կարելի է ստանալ, եթե դրանք իզոմորֆ են և մետաղներն ունեն միևնույն իոնային շառավիղները: Ընդհանուր տեսքով բարդ օքսիդների սինթեզը հնարավոր է իրականացնել, եթե դրանցից մեկը թթվային է (Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 , MoO_3 և այլն), իսկ մյուսը՝ հիմնային (CuO , FeO , NiO , CoO և այլն): Եռավալենտ մետաղի թթվային օքսիդի ($\text{Me}'_2\text{O}_3$) և երկվալենտ մետաղի հիմնային օքսիդի ($\text{Me}''\text{O}$) փոխազդեցության հետևանքով առաջանում են հատուկ միացություններ՝ ֆերիտներ, ալյումինատներ, քրոմիտներ, տիտանիդներ, մոլիբդատներ և այլն:



Ֆերիտներն իոնային միացություններ են, որտեղ անիոնը թթվածինն է (O^{2-}):

Բյուրեղային ցանցի հանգույցներում տեղավորված են թթվածնի բացասական լիցքավորված անիոնները (O^{2-}), իսկ դրական լիցքավորված կատիոնները (Me^{2+} , Fe^{3+}) տեղավորված են դրանց ներսում, այսինքն թափուր տեղերում: Պինդ ֆազային ռեակցիայի դեպքում տեղի է ունենում մետաղի իոնների դիֆուզիա, այսինքն Me^{2+} և Fe^{3+} կատիոնների, իսկ O^{2-} անիոնները մնում են անշարժ (նկ.1):

Աղյուսակ 1

Ելանյութերի հատկությունները

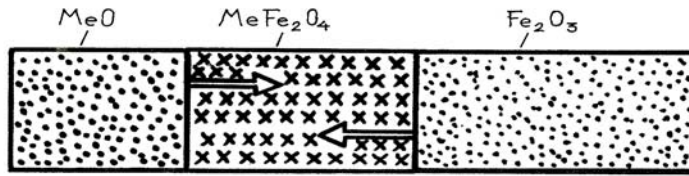
Նյութերի անվանումը	ГОСТ, ТУ	Հատիկաչափական կազմը մմ, %		Քիմիական բաղադրությունը, %
		- 0,07+0,045	- 0,045	
Երկաթի օքսիդ (Fe_2O_3)	ТУ 6 – 09 – 3600 – 78	10...5	90...95	մ.վ.հ.
Նիկելի օքսիդ (NiO)	ТУ 6 – 09 – 4125 – 80	8...4	92...96	մ.
Կոբալտի օքսիդ (CoO)	ТУ 6 – 09 – 2645 – 78	6...3	94...97	մ.
Մոլիբդենի եռօքսիդ (MoO_3)	ТУ 6 – 09 – 4471 – 77	12...6	88...94	մ.վ.հ.
Ամոնիումի քլորիդ (NH_4Cl)	ГОСТ 3773 – 72	15...10	85...90	մ.վ.հ.

Աղյուսակ 2

ПВ-Н18К10М5 մակնիշի մարտենսիտային ձեռացող պողպատափոշու բովախառնուրդի հաշվարկային բաղադրությունը

Բովախառնուրդի բաղադրամասերը	Բովախառնուրդում բաղադրամասերի քանակը, %	Բաղադրամասերի քանակը պողպատում վերականգնումից հետո, %
Fe_2O_3	68,5	67(Fe)
NiO	16,4	18(Ni)
CoO	9,7	10(Co)
MoO_3	5,4	5(Mo)
NH_4Cl	1,5...2,0 (ըստ բովախառնուրդի մասսայի)	

Էլեկտրաչեզոք վիճակ ստացվում է, եթե դիֆուզվում են ($3Me^{2+}$ և $2Fe^{3+}$) կատիոնների էկվիվալենտ քանակներ: Այսպիսի ենթադրությունը հիմնավորվում է իոնային շառավիղների մեծ տարբերությամբ (աղյուսակ 3): Քանի որ մոնոֆերիտների իոնային շառավիղները (աղ. 3) և բյուրեղային ցանցի պարամետրերը (աղ. 4) շատ մոտ են իրար, հետևապես դրանք կարող են առաջացնել անսահմանափակ լուծելիություն՝ առաջացնելով բարդ օքսիդներ պինդ լուծույթների կառուցվածքով:



Նկ.1. MeFe_2O_4 ֆերիտ – շպինելի առաջացման մեխանիզմի սխեման
(3Me^{2+} կատիոններ, (2Fe^{3+} կատիոններ

Աղյուսակ 3

Մետաղների իոնային տրամագծերը ($r_0^{2-} = 0,14$ նմ)

Իոն (2^+)	r, նմ	Իոն (3^+)	r, նմ	Իոն (4^+)	r, նմ
Fe	0,074	Fe	0,064	Mo	0,068
Ni	0,069	Co	0,063	Ti	0,068
C	0,070	Al	0,051	C	0,046

Աղյուսակ 4

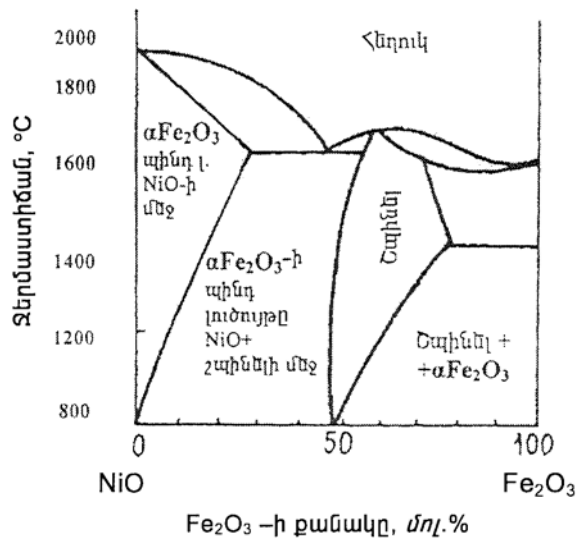
Ֆերիտների որոշ բնութագրեր

Ֆերիտներ	Կատիոնների բաշխվածությունը հանգույցներում	Ցանցի պարամետրերը α , նմ	Խտությունը, $q/\text{սմ}^3$
FeFe_2O_4	$\text{Fe}^{3+}[\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}]\text{O}_4$	0,839	5,24
NiFe_2O_4	$\text{Fe}^{3+}[\text{Ni}^{2+}\text{Fe}^{3+}]\text{O}_4$	0,834	5,38
CuFe_2O_4	$\text{Fe}^{3+}[\text{Cu}^{2+}\text{Fe}^{3+}]\text{O}_4$	0,822	5,35
MnFe_2O_4	$\text{Mn}^{2+}_{0,8}\text{Fe}^{3+}_{0,2}[\text{Mn}^{2+}_{0,2}\text{Fe}^{3+}_{1,8}]\text{O}_4$	0,850	5,00

Մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում Fe_2O_3 – NiO համակարգը, որովհետև մարտենսիտային ծեղացող պողպատների հիմքը Fe – Ni համաձուլվածքն է: Fe – Ni – O համակարգը ֆերիտաառաջացման հիմնական կոմպոզիցիան է: Այն մեծ կիրառություն է ստացել մագնիսական նյութերի մշակման ժամանակ և այդ նյութերի հիմքն է: Նկ.2-ում ցույց է տրված Fe_2O_3 – NiO բաղադրամասերի վիճակի դիագրամը, որից հետևում է, որ շպինելային տիրույթը 800(C-ից բարձր գտնվում է ստեխիոմետրիայից դուրս, այսինքն՝ 68,1% Fe_2O_3 :31,9% NiO : Սա նշանակում է, որ ավելցուկային Fe_2O_3 և NiO լուծվում են NiFe_2O_4 –ի մեջ: Մի շարք աշխատանքներում [1, 2] դա չի ընդունվում: Մեր կողմից՝ բազային տեխնոլոգիայով [1, 3], սինթեզվել է NiFe_2O_4 ֆերիտը, որը կատարվել է 1250...1300(C ջերմաստիճաններում 3ժ տևողության պայմաններում: Արդյունքները բերված են նկ.3-ում:

NiFe_2O_4 ֆերիտը պարունակում է 25,1%Ni, իսկ վերականգնելուց հետո՝ Fe – Ni համաձուլվածքը՝ 34,5%Ni: Նույնիսկ 1250...1300(C ջերմաստիճաններից հետո Ni –ի պարունակությունը չի գերազանցում 34,5%: [4, 5] աշխատանքներում ցույց է տրված շպինելային տիրույթի տարածում դեպի Ni ավելի մեծ կոնցենտրացիաները, քան առկա է NiFe_2O_4 -ում: 250...1000(C ջերմաստիճանում և 130մթն թթվածնի ճնշման տակ սինթեզվել է $\text{Ni}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ շպինել, որտեղ $1 \leq X \leq 2$: 370°C և 130 մթն ճնշման տակ ստացվել է միաֆազ $\text{Ni}_{1,73}\text{Fe}_{1,29}\text{O}_4$ շպինել: Կառուցվածքային

վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ Ni իոնները գտնվում են եռավալենտ վիճակում և Ni^{2+} -ի հետ միասին զբաղեցնում են բյուրեղային ցանցի միևնույն հանգույցները:



Նկ.2. NiO - Fe₂O₃ բաղադրիչների վիճակի դիագրամ

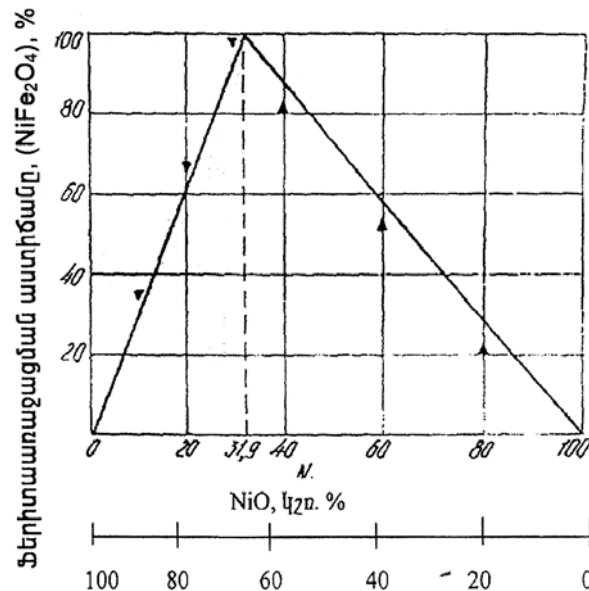
Fe₂O₃ – CoO օքսիդների սինթեզը, որի ելքը CoFe₂O₄ ֆերիտն է, շատ նման է Fe₂O₃-NiO բաղադրիչների սինթեզին և արտադրական պայմաններում իրականացվում է 1100...1200°C ջերմաստիճաններում՝ 3...4 ժ տևողությամբ: NiFe₂O₄ և CoFe₂O₄ ֆերիտները պարունակում են 25,1%Ni և Co, իսկ Fe-Ni և Fe-Co համաձուլվածքները, համապատասխանաբար, 34,5% Ni և Co: Հետևապես, Fe₂O₃ –NiO – CoO համասեռ համաձուլվածքի ստացման համար անհրաժեշտ է վերցնել ~31,9% (NiO + CoO): Այս դեպքում Fe-Ni-Co համաձուլվածքում (Ni+Co) քանակությունը կլինի ~34,5%: Մարտենսիտային ծեղացող պողպատներում Ni-ի օպտիմալ քանակը տատանվում է 15...20%-ի սահմաններում, իսկ Co –ը՝ 5...15%, որը միանգամայն իրականացնելի է օքսիդային տեխնոլոգիայով:

Fe₂O₃ – MoO₃ համակարգի սինթեզը կապված է որոշակի դժվարությունների հետ, որովհետև երկու օքսիդներն էլ թթվային են: Fe և Mo կրկնակի օքսիդների առաջացումը բերված է [6, 7] գրականության մեջ, որտեղ ուսումնասիրվել է ռեակցիաների հնարավոր ընթացք:



Fe և Mo օքսիդները խառնվել են ստեխիոմետրիկ քանակներով և ենթարկվել սինթեզի՝ արգոնի միջավայրում: 650...900°C ջերմաստիճաններում 6...9 ժամ տևողությունը հանգեցրել է ~100% ֆերիտաառաջացման, ըստ (2) ռեակցիայի: Ավելի ինտենսիվ այն ընթանում է 800...850°C ջերմաստիճաններում, երբ առաջանում է հեղուկ ֆազ (MoO₃-ը այս ջերմաստիճանում գտնվում է հեղուկ վիճակում): (3) ռեակցիայի համաձայն, մեզ չի հաջողվել ստանալ մոլիբդենիտ՝ Fe₂(MoO₄)₃: Նույն արդյունքներին է հանգեցրել նաև Fe₂O₃ – MoO₃ օքսիդների

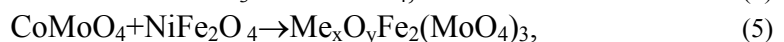
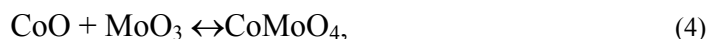
սինթեզը, որը կատարվել է 600...1000°C ջերմաստիճանային տիրույթում 3...24 ժամ տևողությամբ, այդ են վկայում նաև գրականության [8] տվյալները: Ուսումնասիրվել է մինչև ստեխիոմետրիկ բաղադրության տիրույթը (մինչև 47,4% MoO₃): Ֆերիտաառաջացման աստիճանը տատանվում է 3...6% սահմաններում, որը կարելի է բարձրացնել կառուցվածքային և միկրոծածկույթների առկայությամբ: Այսպես, օրինակ, մ.վ.հ. մակնիշի Fe₂O₃ պարունակում է ~0,1% հիմնային մետաղների օքսիդներ:



Նկ.3. NiFe₂O₄ ֆերիտաառաջացման աստիճանի կախվածությունը NiO/Fe₂O₃ հարաբերությունից

- հոծ գիծը հաշվարկային է;
- կետագիծը՝ փորձնական

Հետազոտվող Fe₂O₃-CoO-NiO-MoO₃-NH₄Cl համակարգի բաղադրամասերի սինթեզը ընթանում է պարզ սխեմայով: NH₄Cl -ի առկայությամբ տեղի է ունենում նյութատեղափոխություն գազային ֆազով, որը նպաստում է պինդ ֆազային դիֆուզիայի ընթացքին, այսինքն ֆերիտաառաջացմանը: Օքսիդների փոխակերպումը օքսիքլորիդների մեծացնում է դրանց ռեակցիոն ունակությունը, հետևապես և ակտիվացնում է սինթեզի գործընթացը: Բացի դրանից, պինդ լուծույթների առաջացումը հնարավոր է դառնում նաև այլ ճանապարհով, հատկապես՝



որտեղ CoMoO₄-ը պարտեզիտ բնական միներալն է; Me = Ni+Co:

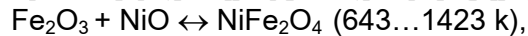
Fe_xO_yFe₂(MoO₄)₃ համակարգում, ավելի ճշգրիտ՝ CoMoO₄ - NiFe₂O₄, գոյություն ունեն մի շարք պինդ լուծույթներ: “Fe₂O₃-NiO-CoO-MoO₃-NH₄Cl”

համակարգի սինթեզի ռեակցիաների գնահատման համար կատարվել են թերմոդինամիկական հաշվարկներ:

Ինչպես հայտնի է, հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում ինքնաբերաբար ընթացող ռեակցիաների ընթացքի հավանականությունը պայմանավորված է Գիբսի էներգիայի (ΔG°) նվազումով, որը ստանդարտ պայմանների համար որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ - T \cdot \Delta S_{298}^\circ : \quad (6)$$

Թերմոդինամիկական հաշվարկները հաստատում են քլորացման ռեակցիաների ընթացքը և օքսիդների սինթեզը հետագոտվող ջերմաստիճանային տիրույթում: Այս դեպքում առաջանում են շպինելի տիպի բարդ օքսիդներ և օքսիդային պինդ լուծույթներ, ինչպիսիք են՝



$$\Delta G_T^\circ = -19,75 - 0,00418T \quad \text{կՋ/մոլ};$$



$$\Delta G_T^\circ = -22,6 - 0,0134T \quad \text{կՋ/մոլ};$$



$$\Delta G_T^\circ = -67,36 - 0,01T \quad \text{կՋ/մոլ};$$

Այսպիսով, հետագոտությունների արդյունքում ապացուցվել է, որ հնարավոր է սինթեզել $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CoO} - \text{NiO} - \text{MoO}_3$ օքսիդային համակարգը և ստանալ շպինելի տիպի բարդ օքսիդ, որի հետագա վերականգնմամբ հնարավոր կլինի ստանալ Fe-Co-Ni-Mo բաղադրամասերով լեգիրված մարտենսիտային ծերացող պողպատներ, որոնք ունակ կլինեն աշխատելու մեծ բեռնվածությունների տակ՝ ջերմաստիճանային մեծ տիրույթներում:

Աշխատանքը կատարվել է “Հայաստանի բնական հումքից նոր հատկություններով նյութերի ստացում” (դասիչ 04.10.27) գիտական և գիտատեխնիկական պետական նպատակային ծրագրի շրջանակներում՝ ”Կոմպոզիցիոն, այդ թվում միկրո- և նանո-կառուցվածքներով նյութերի ստացում” ենթափուլով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Журавлев Г.И. Химия и технология ферритов.-Л.: Химия, 1970.-192 с.
2. Третьяков Ю.Д. Термодинамика ферритов.-Л.: Химия, 1967.-320 с.
3. Рабкин Л.И., Соскин С.А., Энштейн Б.Ш. Ферриты.-М.: Энергия, 1968.-232 с.
4. Parker R., Smyth M.S. // I Phys. Chem. Solids. - 1961.- ¹ 21.
5. Shaffer M.W. // I. Appl. Phys.-1962.- ¹ 33.
6. Зеликман А.Н., Белявская П.В. // ЖПХ.-1954. - ¹ 27.
7. Brener S.I. Electrochem. Soc.-1955.- ¹ 102.
8. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии.-Ереван: Айастан, 1986.-232 с.

ՀՊՃԴ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 24.09.2005:

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ПЕТРОСЯН, А.С. АГБАЛЯН,
А.Н. КАЗАРЯН, А.О. ЕЗАКЯН, А.А. ФРАНГУЛЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ
ИЗ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{NiO} - \text{CoO} - \text{MoO}_3$**

Исследован процесс синтеза компонентов $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-NiO-CoO-MoO}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ систем, согласно которому при наличии NH_4Cl происходит массоперенос через газовую фазу, что способствует твердофазному диффузионному процессу, т.е. ферритообразованию. В результате получается сложный оксид типа шпинеля, восстановлением которого можно получить стальной порошок мартенситстареющих сталей, имеющих Fe – Ni – Co – Mo компоненты.

Ключевые слова: оксид, синтез, фаза, компонент, диффузия, феррит, шпинель, восстановление, мартенсит, старение, стальной порошок.

S.G. AGBALYAN, A.A. PETROSYAN, A.S. AGBALYAN,
A.N. GHAZARYAN, H.H. EZAKYAN, A.A. FRANGULYAN

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF COMPOUND OXIDE SYNTHESIS
FROM $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{NiO} - \text{CoO} - \text{MoO}_3$ OXIDE SYSTEMS**

The process of synthesis of compound oxide of $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-NiO-CoO-MoO}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ systems from components is observed and in the presence of NH_4Cl a mass transfer through gase phase is taken place which stimulating the process of solid-phase diffusion i.e. ferrite formation. Due to it a compound oxide shpinel type is obtained and a steel powder of martensite ageing steel having Fe – Ni – Co – Mo components is obtained by reconstructing it.

Keywords: oxide, synthesis, phase, component, diffusion, ferrite, shpinel, reconstruction, martensite, ageing, steel powder.

А.О. ТОНОЯН, Н.Н. КИРАКОСЯН, А.З. ВАРДЕРЕСЯН, С.П. ДАВТЯН

ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В УСЛОВИЯХ ФРОНТАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ, И ИХ СВОЙСТВА

Исследованы особенности фронтальной полимеризации акриламида в присутствии разных количеств мелкодисперсного сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Показано, что увеличение количества добавок полиэтилена приводит к снижению как скорости, так и предельных температур полимеризационных тепловых автоволн. Обнаружено, что порядок скорости фронта по инициатору в присутствии полиэтилена возрастает до 0,65. Изучены термохимические свойства полиэтилен-полиакриламидных композиций и показано увеличение температуры термоокислительной деструкции по сравнению с полиакриламидом и полиэтиленом.

Ключевые слова: фронтальная полимеризация, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полимер-полимерные композиции.

Введение. Фронтальная полимеризация - особый случай полимеризации в перемешиваемой среде, которая локализована в узкой реакционной зоне и распространяется по реакционному объему с постоянной скоростью.

Большинство работ в этой области относится к полимеризации жидких, кристаллических [1-11] и поликонденсации вязко-текучих [12-15] мономеров. Изучены: структура тепловых автоволн [2,7-13], влияние различных кинетических факторов на скорость фронта [1,3,4,6-15], глубину превращения [1,16-20], молекулярно-массовые характеристики [1,17,19], а также устойчивость [4,20-24] полимеризационных автоволн к разнохарактерным возмущениям.

Цель данной работы – синтез полимер-полимерных композиций в условиях фронтальной полимеризации и изучение их термохимических свойств.

Экспериментальная часть. Акриламид (ААм) очищали перекристаллизацией из раствора в этилацетате. Бензоил пероксид (БП) очищали двойной перекристаллизацией из раствора абсолютным этиловым спиртом, затем в определенных пропорциях вводили в ААм из растворов в ацетоне, после чего образцы сушили в вакуумном шкафу при комнатной температуре до постоянного веса.

Для синтеза полиэтилен-полиакриламидной композиции ААм равномерно перемешивали с нужным количеством мелкодисперсного порошка сверхвысокомолекулярного (СВПЭ) полиэтилена, затем вводили инициатор из растворов в ацетоне. Образцы сушили в вакуумном шкафу до постоянного веса. Высушенные смеси ААм + полиэтилен + инициатор использовали для фронтальной полимеризации. Далее их порциями перемещали в реакционные сосуды в виде цилиндрических стеклянных ампул (с внутренним диаметром 5,0 мм) с последовательным их уплотнением.

Плотность упаковки в реакционном сосуде определяли гравиметрически, рассчитывая объем образца по высоте его столбика в ампуле известного диаметра.

Скорость фронтальной полимеризации смеси ААм с СВПЭ в зависимости от различных параметров изучали в вертикально установленных стеклянных ампулах. Инициирование полимеризации осуществляли импульсным воздействием тепла на верхнюю или нижнюю часть реакционной системы, при этом соответственно полимеризационная волна распространялась сверху вниз или наоборот. За скоростью распространения фронта следили визуально, предварительно нанося разметки по длине реакционного сосуда. Температурные профили определяли посредством медь-константановой термопары, помещенной в смесь ААм с СВПЭ на глубину 1 см, на равном удалении от стенок реакционного сосуда.

Термограмму ААм и ААм с инициатором снимали на сканирующем калориметре ДСМ-3 при скорости нагрева $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Термохимические свойства СВПЭ, полиакриламида и композиции полиэтилен-полиакриламид исследовали на дериватографе Q-1500 фирмы МОМ.

Выбор условий фронтальной полимеризации. В работах [10,11], посвященных исследованию фронтальной полимеризации металлокомплексных мономеров ААм с нитратами переходных металлов, было показано, что при температурах их плавления сразу же начинается процесс полимеризации. Подобная картина обусловлена тем, что металлокомплексные мономеры полимеризуются без инициаторов, т.е. термически. Иная ситуация в условиях фронтальной полимеризации ААм. Действительно, как видно из рис.1, где представлены термограммы ААм без (кр.1) и с инициатором (кр.2), при температурах $70...75^{\circ}\text{C}$ начинается плавление ААм, а при $130...140^{\circ}\text{C}$ - термическая полимеризация (кр.1).

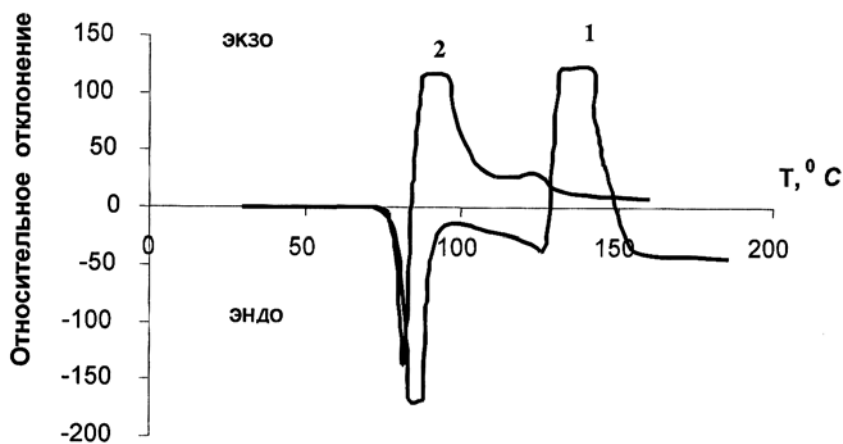


Рис.1. Диаграмма ААм без инициатора (кр.1) и с инициатором (кр.2) БП (1 масс. %), полученная ДСМ

При наличии же в исходной реакционной смеси ПБ, наподобие металлокомплексных мономеров, процесс инициированной полимеризации начинается в ходе плавления кристаллического ААм.

Попытки проведения фронтальной полимеризации ААм без инициаторов показывают, что, независимо от места подачи тепла на реакционную систему, формирование автоволновых режимов не наблюдается.

Если количество тепла, подаваемого на реакционную систему, содержащую инициатор, недостаточно для плавления ААм в верхней или нижней части реакционной ампулы, то формирование фронтальных стационарных режимов тоже не наблюдается. Необходимым условием для протекания фронтальной полимеризации является образование расплава мономера.

Таким образом, в выбранных условиях исследовалась фронтальная инициированная полимеризация ААм.

Влияние концентрации инициатора и количества СВПЭ на динамику фронта. Добавки разных количеств инертного СВПЭ в массовых соотношениях до 30% от ААм при концентрации инициатора 0,5 (масс.%) не влияют на стационарное состояние (рис.2, кр. 1,2), тогда как при 40 (масс.%) полиэтилена стационарный фронт не наблюдается (рис. 2, кр.3). Для осуществления фронтальной полимеризации с более высокими степенями добавок полиэтилена необходимо увеличить концентрацию инициатора. Увеличение количества добавок полиэтилена приводит к снижению как скорости, так и предельных температур полимеризационных тепловых автоволн.

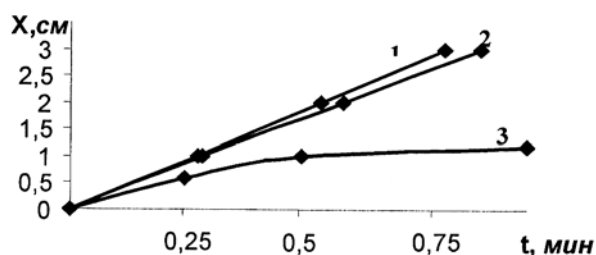


Рис.2. Зависимость координаты фронта полимеризации ААм в присутствии 20 масс.% (кр.1), 30 масс.% (кр.2) и 40 масс.% (кр.3) СВПЭ и 1% - ПБ

Температурные профили тепловых полимеризационных волн при разных концентрациях БП представлены на рис.3 (кр.1-3). Как видно, структура тепловых полимеризационных волн является двухступенчатой, при этом вторая ступень повышения температуры связана с кристаллизацией образовавшегося в зоне реакции полиакриламида.

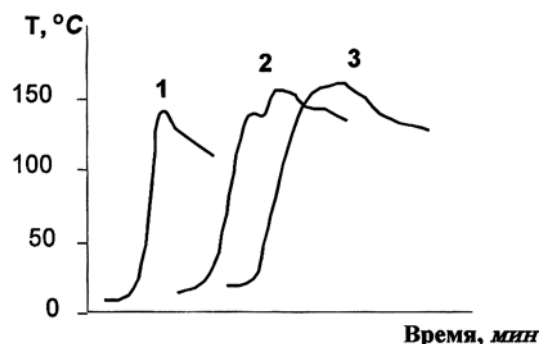


Рис.3. Температурные профили фронтальной полимеризации ААм в присутствии 300 масс. % полиэтилена. Инициатор БП, масс. %: 1-2%. 3-4%, плотность исходной реакционной среды 0,95 г/см³

Представляет интерес определение порядка по инициатору при фронтальной полимеризации ААм в присутствии СВПЭ. Влияние концентрации ПБ на стационарную скорость фронта представлено на рис. 4.

Как видно из рисунка, с увеличением концентрации инициатора скорость фронта монотонно растет. Представленная на рис. 4 зависимость описывается выражением: $U \sim [I_0]^{0,65}$. Таким образом, порядок скорости фронта от концентрации инициатора в присутствии СВПЭ возрастает и становится равным 0,65.

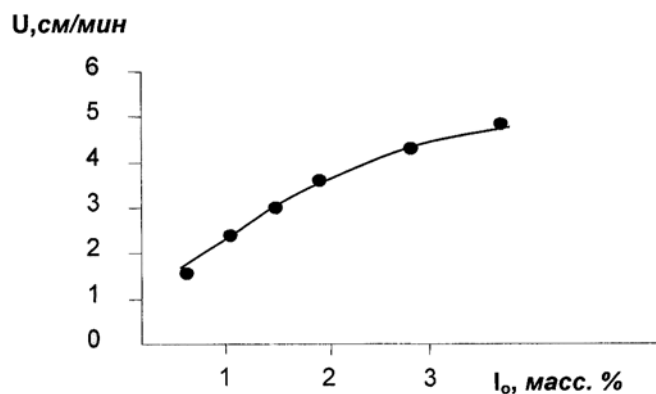


Рис.4. Влияние начальной концентрации инициатора на скорость фронта при $\rho=0,95$ г/см³, $T_0=21^\circ\text{C}$ и добавках СВП 30 масс.% реакционной среды

Тот факт, что при фронтальной радикальной полимеризации ААм значение n не зависит от природы инициатора и близко к теоретическому [10], а в присутствии СВПЭ возрастает до 0,65, вносит неясность в понимание вопроса и требует дальнейших исследований в этом направлении.

Изучение влияния разных количеств добавок СВПЭ на фронтальную полимеризацию ААм показало, что с увеличением добавляемого количества

полиэтилена скорость фронта уменьшается (рис.5). Наблюдаемое линейное падение скорости фронта связано с потерей тепла в зоне фронта из-за разогрева инертного полиэтиленового наполнителя, приводящего к уменьшению предельных температур тепловых полимеризационных автоволн.

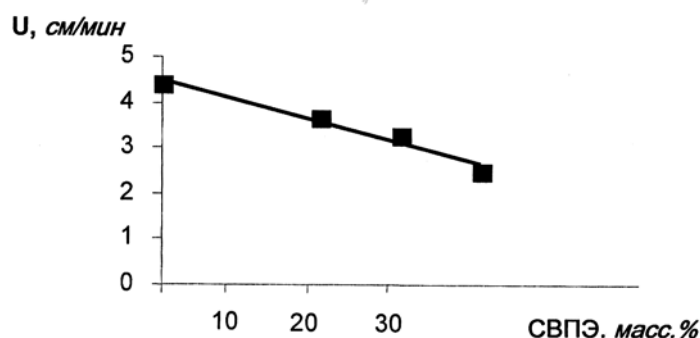


Рис.5. Влияние добавок СВП на скорость фронта при $\rho=0,95 \text{ г/см}^3$, $T_0=21^\circ\text{C}$ и 1 масс.% БП

Термохимические свойства полиэтилен-полиакриламидной композиции. Термохимические свойства образцов полиакриламида, СВПЭ и полимер-полимерных композиций, полученных механическим перемешиванием полиакриламида, СВПЭ и полимер-полимерных композиций, полученных фронтальной полимеризацией, исследовались на дериватографе Q-1500.

Данные по дифференциальному термическому анализу (ДТА) и потере массы при сканировании температуры со скоростью 5°C/ч представлены на рис. 6 - 8. Как видно из рис.6 (кр.1), термоокислительная деструкция полиакриламида начинается примерно при температурах $160...170^\circ\text{C}$ и ускоряется с дальнейшим ее повышением. Она полностью завершается при $440...450^\circ\text{C}$. Наблюдаемый эндотермический пик ($T=150^\circ\text{C}$) на кривой ДТА (рис.6, кр.2) связан с температурой плавления полиакриламида.

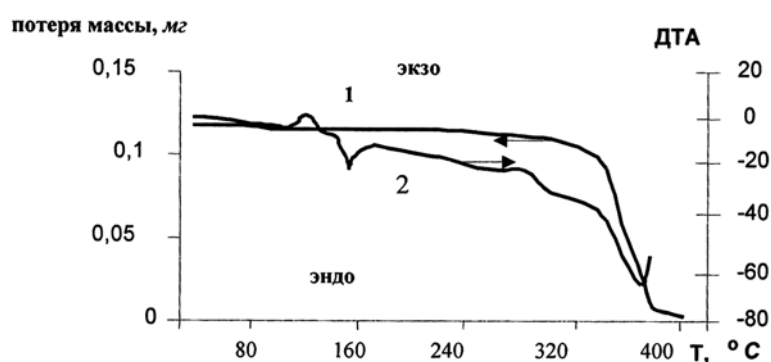


Рис.6. Потеря массы (кр.1) и дифференциальный термический анализ (кр.2) для полиакриламида

Потеря массы (рис. 7, кр.1) СВПЭ начинается при температуре 300°C , и его полное сгорание завершается при 400°C . Эндотермический переход на рис. 7 (кр.2), наблюдаемый в интервале $140...150^{\circ}\text{C}$, связан с процессом плавления СВПЭ. Девитатограмма полиэтилен-полиакриламидной композиции, полученной механическим перемешиванием 70 масс. % полиакриламида и 30 масс. % СВПЭ, аналогична рис. 6 и 7, поэтому здесь не приводится. В интервале температур $160...170^{\circ}\text{C}$ начинается термоокислительная деструкция, далее потеря массы ускоряется при 300°C , масса композиции скачкообразно уменьшается, а полное сгорание смесевой композиции завершается в области температур $\sim 400^{\circ}\text{C}$.

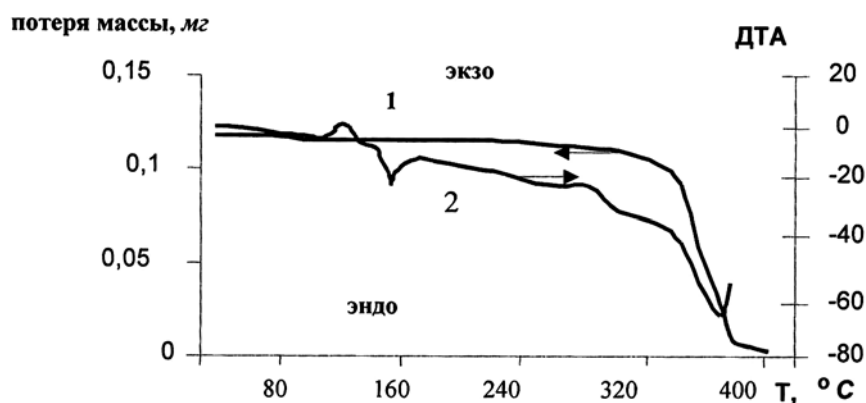


Рис.7. Потеря массы (кр.1) и дифференциальный термический анализ (кр.2) для СВПЭ

Наблюдается иное поведение термохимических свойств полиэтилен-полиакриламидной композиции, синтезированной в условиях фронтальной полимеризации. Как видно из рис.8, до температуры 300°C в системе вообще не наблюдается потеря массы.

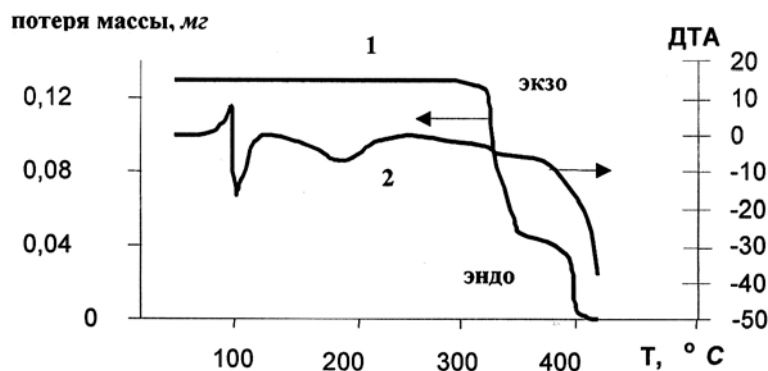


Рис.8. Потеря массы (кр.1) и дифференциально-термический анализ (кр.2) композиции полиакриламид (70 масс.%) – полиэтилен (30 масс.%), полученной фронтальной полимеризацией

Выше 300⁰С происходит скачкообразное термическое разложение полиакриламида, а затем при 400⁰С – полное сгорание СВПЭ.

Таким образом, достаточно сильное отличие в термохимических свойствах полимер-полимерных композиций, полученных фронтальной полимеризацией и механическим перемешиванием, свидетельствует о разнохарактерных надмолекулярных строениях. Для полного понимания подобного отличия необходимо исследовать динамическо-механические, физико-механические свойства полимер-полимерных композиций и их кристаллическую структуру, что и является целью наших дальнейших исследований.

Полученные результаты позволяют предположить, что в процессе фронтальной полимеризации ААм, в присутствии добавок СВПЭ, в зоне прогрева гранульные частички кристаллического полиэтилена пропитываются смесью расплавленного ААм с инициатором. Далее образованные в зоне реакции полиакриламидные цепочки на макромолекулярном уровне взаимодействуют с полиэтиленовыми, вплоть до образования взаимопроникающих цепей с многократно повторяющимися физическими узлами. При этом природа физических узлов между разнородными цепями, по всей вероятности, определяется окутыванием (скручиванием) полиакриламидных цепей вокруг полиэтиленовых. Подобное строение полимер-полимерных композиций по своим свойствам должно отличаться от аналогичных композиций, полученных механическим перемешиванием соответствующих гомополимеров, что и наблюдается на кривых 1, 2 рис. 6 – 8.

Работа проведена при финансовой поддержке фонда NFSAT-CRDF (Проект - BRAU - 01-05).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чечило Н.М., Ениколопан Н.С. О структуре фронта полимеризационной волны и механизме распространения полимеризации // Докл. АН СССР.-1974.- Т.214, N5.- С.1131.
2. Давтян С.П., Сурков Н.Ф., Розенберг Б.А., Ениколопан Н.С. Кинетика радикальной полимеризации в условиях распространения фронта реакции. // Докл. АН СССР.-1977.-Т.232, N2.- С.379.
3. Вольперт В.А., Меграбова И.Н., Давтян С.П. Распространение волны полимеризации (- капролактама // Физика горения и взрыва. - 1985.- N4.- С.46.
4. Бегишев В.П., Вольперт В.А., Давтян С.П., Малкин А.Я. О некоторых особенностях фронтальной анионной активированной полимеризации ε- капролактоина // Докл. АН СССР.- 1985.- Т.279, N4.- С.909.
5. Помогайло А.Д., Давтян С.П., Тамчак А.А., Джарджималиева Г.А. Твердофазная фронтальная полимеризация металломономеров // Сб. 8-го Всесоюзного симпозиума хим. физики процессов горения и взрыва: Кинетика и горение. - Ташкент, 1986.- С.8.
6. Savostyanow V.S., Kritskaya D.A., Ponomarev A.N., Pomogailo A.D. Thermally Initiated Frontal Polymerization of Transition Metal Nitrate Acrylamide Complexes// J. of Pol. Sci P.A. Polym. Chem.-1994.-V.32. - P.1201.
7. Pojman J.A. Traveling fronts of methacrylic acid Polymerization// J. Am. Chem. Soc.- 1991.- V.113.- P.6285.
8. Nagy I.P., Pojman J.A. Measurement of temperature profiles of chemical waves by thermocolor imaging// Chem Phys. Let.- 1992.- V.200, N1,2.- P.147.

9. **Давтян Д.С., Багдасарян А.Э., Тоноян А.О., Карапетян З.А., Давтян С.П.** The mechanism of Convective Mass Trasfer during the Frontal (Radical) Polymerization of Methyl Metacrilate// Polymer Sci.-2000 A.V.- 42, N11.- P.1197.
10. **Багян С.Э., Манукян Л.С., Хачатрян А.Р., Тоноян А.О., Давтян С.П.** Особенности твердофазной фронтальной полимеризации металлокомплексов акриламида с нитратами переходных металлов// Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2002.- Т.55, N1.- С.38.
11. **Davtyan S.P., Hambartzumyan A.F., Tonoyan A.H., Hajrapetyan S.M., Bagyan S.E., Manukyan L.S.** The structure, stability of autowaves during polimerization of Co metal-complexes with acrylamide// European polymer.- 2002.- V.38, N12.- P.2423.
12. **Арутюнян Х.А., Давтян С.П., Розенберг Б.А., Ениколопян Н.С.** Отверждение эпоксианового олигомера ЭД-20 аминами в режиме распространения фронта реакции // Докл. АН СССР. - 1975.- Т.223.- С.657.
13. **Арутюнян Х.А., Тоноян А.О., Давтян С.П., Розенберг Б.А., Ениколопян Н.С.** Отверждение эпоксидных олигомеров в режиме распространения фронта реакции// Высокомолек. соедин.- 1977. - А.19.- С.2726.
14. **Давтян Д.С., Багдасарян А.Э., Тоноян А.О., Давтян С.П.** Влияние теплопотерь и скорости тепловыделения на тепловые режимы отверждения эпоксиановых олигомеров и физико-механические свойства образующихся материалов// Хим. Физ.- 2000.- Т.19, N8.- С.83.
15. **Давтян Д.С., Багдасарян А.Э., Тоноян А.О., Давтян С.П.** О роли теплового конвективного массопереноса компонентов реакционной смеси в процессах фронтального отверждения эпоксиановых олигомеров// Хим. Физ.-2000.-Т.19, N9.- С.100.
16. **Чечило Н.М., Ениколопян Н.С.** О роли давления и начальной температуры реакционной смеси при распространении реакции полимеризации// Докл. АН СССР.- 1976.- Т.230, N3. - С.160.
17. **Pojman J.A., Willis J. Fortenberry D.I., Pyashenko V.M., Khan A.M.** Factors Affecting Propagating Profile, Conversion and Molecular Weight Distribution// J. of Pol. Sci P.A. Polym. Chem.-1995.- V.33.- P.643.
18. **Давтян С.П., Тоноян А.О., Радугина А.А., Давтян Д.С., Савченко В.И., Абросимов А.Ф.** Frontal Radical Polymerization of Methyl Metacrilate in a Cylindrical Flow Reactor// Polymer Sci. - 1999 A. -V.41, N2.- P.232.
19. **Давтян С.П., Тоноян А.О., Радугина А.А., Давтян Д.С., Савченко В.И., Абросимов А.Ф.** Control of Conversion and Molecular Masses during the Frontal Polymerization of Methyl Metacrilate in a Cylindrical Flow Reactor// Polymer Sci.-1999 A.-V.41, N2.- P.242.
20. **Давтян С.П., Тоноян А.О., Радугина А.А., Давтян Д.С., Савченко В.И., Абросимов А.Ф.** Geometric Shape and Stability of Frontal Regimes during Radical Polymerization of Methyl Metacrilate in a Cylindrical Flow Reactor // Polymer Sci.- 1999 A.- V.41, N2.- P.249.
21. **Меграбова И.Н., Вольперт В.А., Вольперт Вл.А., Давтян С.П.** Двумерные режимы химического превращения в потоке // Докл.АН СССР. - 1989.-Т.307, N4.- С.899.
22. **Вольперт В.А., Вольперт Вл.А., Меграбова И.Н., Давтян С.П.** Периодические двумерные режимы химического превращения в реакторе идеального вытеснения// Математическое моделирование.-1990.- N6. - С.381.
23. **Вольперт В.А., Вольперт Вл.А., Соловьев С.Е., Сурков Н.Ф., Давтян С.П.** Two-dimesional combytion modes condensed flow // SIAM. J. Appl. Math.- 1992.-V.52.- P.368.
24. **Pojman J.A., Greven R., Khan A., West W.** Convective instabilite in traveling Fronts of addition Polymerization// J. Phiz. Chem. - 2002.- V.96.- P.7466.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 25.06.2005.

Ա.Հ. ՏՈՆՈՅԱՆ, Ն.Ն. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ա.Զ. ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ

ՊՈԼԻՄԵՐ-ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ԿՈՄՊԶԻՏՆԵՐԻ ՍՏԱՑՈՒՄ ՖՐՈՆՏԱԼ ՊՈԼԻՄԵՐԱՑՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԵՎ ՆՐԱՆՑ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ուսումնասիրվել են ակրիլամիդի ֆրոնտալ պոլիմերացման առանձնահատկությունները գերբարձրամոլեկուլյար պոլիէթիլենի՝ տարբեր քանակների առկայությամբ: Ցույց է տրված, որ պոլիէթիլենի հավելյալի քանակի մեծացումը հանգեցնում է ինչպես ֆրոնտի արագության, այնպես էլ ջերմային ալիքների սահմանային ջերմաստիճանի փոքրացմանը: Նկատվել է, որ պոլիէթիլենի առկայությամբ ֆրոնտի արագության կարգն ըստ հարուցչի աճում է մինչև 0,65: Հետազոտվել են պոլիէթիլեն-պոլիակրիլամիդային կոմպոզիտների ջերմաքիմիական հատկությունները և ցույց է տրվել, որ, համեմատած պոլիէթիլենի և պոլիակրիլամիդի հետ, նկատվում է ջերմօքսիդացման ջերմաստիճանի բարձրացում:

Առանցքային բառեր. ֆրոնտալ պոլիմերացում, գերբարձրամոլեկուլյար պոլիէթիլեն, պոլիմեր-պոլիմերային կոմպոզիտներ:

A.H. TONOYAN, N.N. KIRAKOSYAN, A.Z. VARDERESYAN, S.P. DAVTYAN

POLYMER-POLYMERIC COMPOSITES OBTAINED BY FRONTAL POLYMERIZATION AND THEIR PROPERTIES

The peculiarities of acrylamide frontal polymerization in the presence of various amounts of finely-dispersed super-highmolecular polyethylene are analyzed. It is shown that the increase of polyethylene additives amounts leads to decrease of both velocity and boundary temperatures of the polymerization thermal waves. It is revealed that the rate number by initiator increases up to 0.65. The thermochemical properties of polyethylene-polyacrylamide composites have been investigated. It is shown that the temperature of thermooxidation distruction increases compaired with polyacrilamide and polyethylene.

Keywords: frontal polymerization, super-highmolecular polyethylene, polymer-polymeric composites.

А.И. САГРАДЯН, С.Г. МАМЯН, А.В. АНДРИАСЯН

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ БЕЗУГЛЕРОДИСТЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПЛАВОВ С ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Исследованы пути повышения производительности и износостойкости инструментов из безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением, создания оптимальной структуры и свойств инструментального материала при использовании прогрессивных наукоемких технологий ТМО с установленными температурно-деформационными параметрами. С целью выявления эффекта упрочнения безуглеродистых быстрорежущих сплавов В14М7К25 при ТМО изучены особенности структурных изменений и внутридиффузионные процессы при коагуляции.

Ключевые слова: дисперсность структуры, высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), ДМО-2, коагуляция, диффузия, зернистость, теплостойкость.

Качество и эксплуатационные характеристики высоколегированных инструментальных сталей и сплавов в основном зависят от размеров зерна и дисперсности упрочняющих фаз – карбидов и интерметаллидов.

При термической обработке быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов с интерметаллидным упрочнением в связи с высокой температурой плавления и, соответственно, высоким интервалом оптимальных температур окончательного нагрева при закалке получение мелкозернистости и дисперсности рабочей структуры является актуальной научно-технической задачей.

Высокая температура закалки исследуемых инструментальных материалов обусловлена необходимостью максимального растворения упрочняющих фаз, что обеспечивает повышение основной характеристики – теплостойкости матрицы – и формирование сравнительно дисперсной упрочняющей вторичной фазы при последующем отпуске.

Дисперсность частиц новой упрочняющей фазы и характер их распределения по объему сплава в процессе отпуска при гетерогенном зарождении определяются числом и расположением мест предпочтительного зарождения. В отличие от гомогенного зарождения, центры фазового превращения при гетерогенном выделении упрочняющих фаз могут быть резко неоднородно распределены по объему матрицы сплава, концентрируясь, например, на границах крупных зерен. Часто кристаллы новой упрочняющей фазы, расположенные по границам зерен матричной фазы, дают четкие контуры этих границ. Подобная структура характеризуется повышенной хрупкостью и низкой износостойкостью. При этом они могут весьма равномерно распределяться по объему матрицы, если места предпочтительного зарождения сами равномерно распределены по объему исходной фазы, что

возможно в случае зарождения на дислокациях, дефектах упаковки и включениях.

Изменение числа и характера расположения мест гетерогенного зарождения вследствие термической обработки, пластической деформации и других способов температурно-деформационного воздействия является одним из эффективных путей регулирования структуры, получающейся при фазовых превращениях [1-4].

Исследованы безуглеродистые сплавы типа В11М7К23, В14М7К25, которые по своему составу сложные и относятся к высоколегированным сплавам системы Fe-Co-W-Mo. Фазовый состав в закаленном состоянии, с невысокой твердостью 32 ...38 HRC, безуглеродистый мартенсит и первичные интерметаллиды типа $(\text{FeCo})_7(\text{W},\text{Mo})_6$, а у углеродистых быстрорежущих сталей марок Р18, Р9К5, Р6М5 карбиды WC и MoC. Их дисперсностью обусловлено формирование оптимальной структуры и комплекса механических свойств, в частности, теплостойкость, твердость, прочность, ударная вязкость и износостойкость инструментального материала после полного цикла ТО [5].

В данной работе исследованы пути повышения производительности быстрорежущих сталей и сплавов, создания оптимальной структуры и свойств при использовании прогрессивных наукоемких технологий ТМО с установленными температурно-деформационными и кинетическими параметрами.

Для выявления эффекта упрочнения безуглеродистых быстрорежущих сплавов типа В11М7К23, В14М7К25 с интерметаллидным упрочнением при ТМО одновременно исследованы особенности структурных изменений и внутридиффузионные процессы при коагуляции. В работе изучены механизм и особенности образования суб-, микро- и макроструктуры при использовании различных схем ТМО, в том числе и принципиально новые технологии с использованием естественных деформационно-температурных воздействий в процессе резания [6].

При анализе влияния ТМО на теплостойкость особый интерес вызывает процесс дисперсионного твердения, вызываемого выделением ε - фазы в быстрорежущих сплавах. Так как константа самодиффузии в γ - железе меньше, чем в α - железе, то следует ожидать, что при одинаковых температурах процесс выделения интерметаллидов из α - раствора протекает быстрее, чем из γ - раствора, что создает более тонкое строение. Следовательно, деформацию при ВТМО быстрорежущего сплава для создания структуры с высокой дефектностью матрицы необходимо проводить в γ - области, а последующий отпуск, с целью выделения дисперсных упрочняющих фаз, в интервале температур 600... 650°С. Этим объясняется положительное влияние пластической деформации перед отпуском.

Проведенные исследования на быстрорежущих сплавах типа В14М7К25 показали, что вследствие ТМО по схеме ВТМО и деформации мартенсита после ВТМО (ДМО-2) повышаются дисперсность структуры, твердость и износостойкость (рис.1). При этом созданная развитая субструктура устраняет основной недостаток этих сплавов – повышает ударную вязкость.

Механизм увеличения дисперсности упрочняющих фаз путем ТМО имеет большое практическое значение. При ВТМО и ДМО-2 создание высокой плотности дислокации и мозаичной развитой структуры мартенсита приводит к резкому увеличению дисперсности структуры безуглеродистых быстрорежущих сплавов типа В14М7К25 по сравнению с обычной ОТО (рис. 1а,б,в).

В результате проведенных экспериментов уменьшаются размеры, улучшается дисперсность распределения упрочняющих фаз – интерметаллидов.

Проведенные структурные исследования сплавов типа В14М7К25 после ОТО, ВТМО и ДМО-2 на металлографическом микроскопе Neophot-21 показывают измельчение структуры, повышение дисперсности (рис.1). При обычной ТО указанных сплавов закалка проводилась при 1280°С, отпуск - 600°С продолжительностью 2 часа.

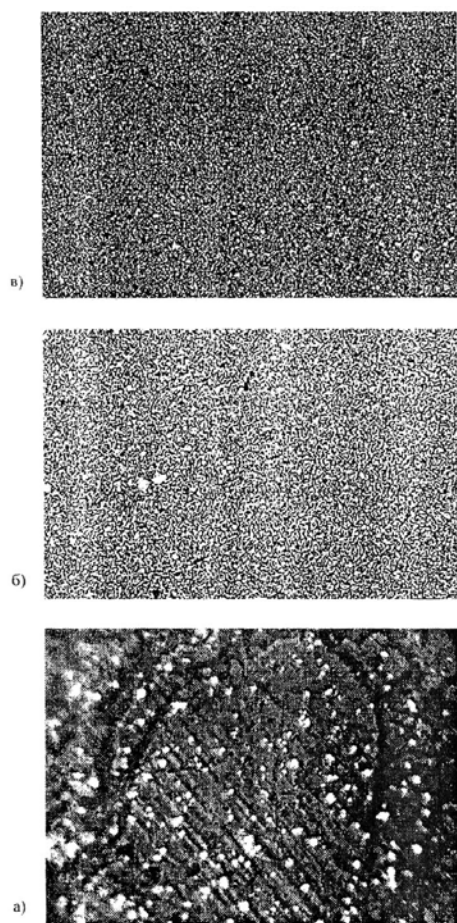


Рис. 1. Микроструктура быстрорежущего сплава типа В14М7К25 с интерметаллидным упрочнением после: а - обычной термообработки (ОТО); б - высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО, $T_{\text{деф}}=1050^{\circ}\text{C}$, $\varepsilon=22\%$, $\dot{\varepsilon}'=0,02...0,003 \text{ c}^{-1}$); в - ВТМО + ДМО-1 (при холодной деформации $\varepsilon=15\%$), $\times 500$

Термомеханическая обработка по схеме ВТМО проводилась в интервале температур 950...1050 °С, степень деформации - $\varepsilon = 22\%$, скорость деформации - $\dot{\varepsilon}' = 0,02...0,003 \text{ с}^{-1}$.

Термомеханическая обработка по схеме ДМО-2 проводилась последовательно: ВТМО согласно вышеизложенным режимам с последующей холодной деформацией, степенью обжатия деформации $\varepsilon = 15\%$. Причем наилучшие результаты по улучшению комплекса физико-механических свойств быстрорежущих сплавов получены при обработке по схеме ДМО-2 (рис. 1 в).

В результате изменения структуры при термической и термомеханической обработках создается тонкая субмикроскопическая неоднородность строения, характерная для высокопрочного состояния инструментального сплава. В то же время изменение в строении и составе упрочняющей интерметаллидной фазы означает, что меняется не только кинетика, но и механизм превращения при ТМО исследуемых быстрорежущих сплавов.

Одновременно в результате ТМО исследуемых сплавов, проведенных по установленным режимам, образуется специфичная структура (полигонизированная), определяющая замедление процессов коагуляции частиц упрочняющих фаз и рекристаллизации. Причем при низкотемпературной ТМО с деформацией мартенсита происходит частичное торможение процессов выделения и коагуляции фаз упрочнений - интерметаллидов.

При диспергировании структуры быстрорежущего сплава после различных схем ТМО резко уменьшается концентрационный градиент dc/dx , что приводит к замедлению коагуляции даже при повышенных температурах 650...700 °С (рис.2). Подобный процесс замечен при естественной самоорганизующейся низкотемпературной термомеханической обработке (ЕСНТМО).

В зависимости от значений температуры деформирования при ТМО в процессе резания процессы перестройки дислокации будут протекать по-разному, при этом поглощенная пластической деформацией энергия определяет изменения в тонком строении кристаллов в связи с созданием их новых конфигураций в результате самодиффузии в объеме тонких поверхностных слоев инструментального материала (рис.2).

Коэффициент самодиффузии для быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов, имеющих в основном симметричные кубические решетки, определяется по формуле [3]

$$D_{CD} = a^2 / \tau = D_0 \exp(-U_{CD} / KT),$$

где a – параметр решетки; τ - усредненное время перескока атома, определяющее заметное развитие энергии самодиффузии, которое для инструментальных быстрорежущих сталей и сплавов связано с их температурой плавления T_s [K] полуэмпирической зависимостью $U_{CD} \approx 38T_s \text{ кал/мол}$, когда $T = 38T_s / k \ln(\tau D_0 / a^2)$ [3]; при типичных значениях: $D_0 \approx 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$, $\tau \approx 10^3 \text{ с}$, $a = 10^{-8} \text{ см}$ получим $T_{пер} \approx 1/2 T_s$. На основе данной формулы оценивается граница температур переползания дислокаций. Причем ниже этой границы при $0,3 T_s$ для инструментальных сталей и сплавов будет

происходить холодная деформация, при $(0,3...0,6) T_s$ - теплая, а при $(0,6...0,7)T_s$ и выше - горячая, сопровождающаяся интенсивной перестройкой дислокационной структуры и миграцией границ с самодиффузионными явлениями. Теплостойкость инструментальных сталей и сплавов зависит от кинетики коагуляции упрочняющих фаз – карбидов и интерметаллидов в процессе отпуска или эксплуатации инструмента. Диффузионные процессы, контролирующие процесс коагуляции при данной температуре, резко зависят от градиента концентрации легирующих элементов.

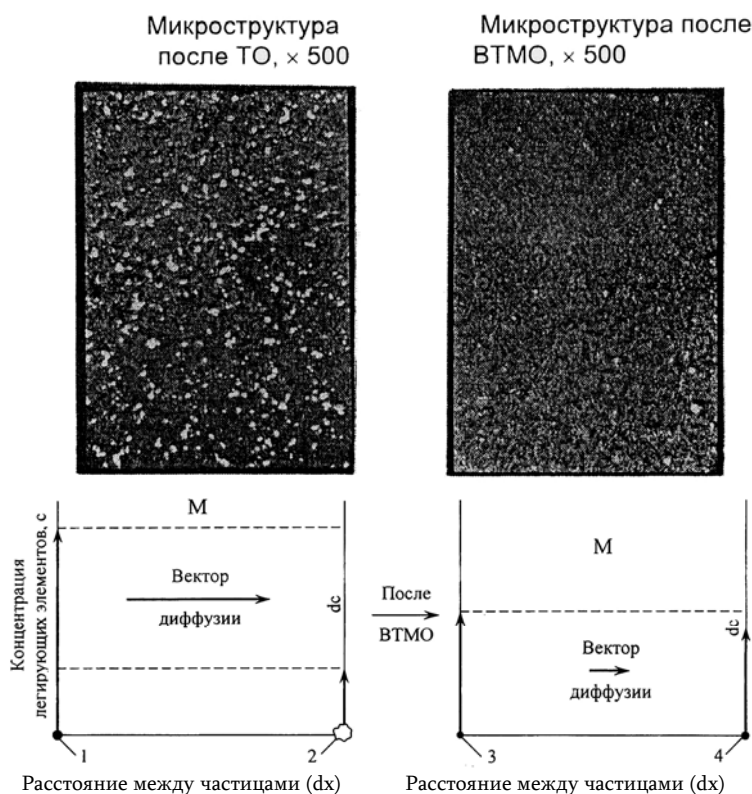


Рис.2. Зависимость скорости диффузии при коагуляции дисперсных частиц от градиента концентрации dc/dx : 1...4 - карбиды или интерметаллиды

На рис.2 дается зависимость скорости диффузии при коагуляции дисперсных частиц от градиента концентрации dc/dx . Как видно из рисунка, в левой нижней части видны механизм действия и направление диффузии, а в верхней части - металлографическое фото микроструктуры инструментального материала с распределением упрочняющих частиц – интерметаллидов после обычной ТО. В правой части рис. 2 показана микроструктура после ТМО, на которой четко выслеживается измельчение структуры с повышенной дисперсностью распределения упрочняющих частиц. Под рисунком микроструктуры показано снижение градиента концентрации после ВТМО и

скорости диффузии, что приводит к торможению процесса коагуляции. В соответствии с полученными результатами обнаружено повышение дисперсности структуры и комплекса физико-механических свойств.

Необходимо отметить, что в процессе ТМО быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов в результате динамической рекристаллизации формируется мелкое зерно. При этом термомеханическое упрочнение создает развитую субструктуру мартенсита и влияет на размеры зерна, кинетику и морфологию превращения в разных стадиях ТМО.

Таким образом, рациональное применение ТМО для быстрорежущих сталей и безуглеродистых сплавов приводит к весьма благоприятным структурным изменениям, что позволяет рекомендовать ТМО как перспективную технологию для безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением с целью получения мелкозернистой и дисперсной структуры, повышения комплекса физико-механических свойств - долговечности, износостойкости, а также эксплуатационных характеристик инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М.** Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. – 479 с.
2. **Бернштейн М.Л.** Структура деформированных металлов. – М.: Металлургия, 1977. – 430 с.
3. **Алексеев А.А.** Механизм образования зерен в процессе деформации // Прочность неоднородных структур: Материалы II Евразийской конференции.-М.: МИСИС, 2004. – С. 104-105.
4. **Штремель М.А.** Об участии диффузии в процессах механического легирования // М и ТОМ. - 2002. - ¹ 8. – С. 10-12.
5. **Геллер Ю.А.** Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 525 с.
6. **Сагрядян А.И.** Исследование естественной термомеханической обработки инструментальных быстрорежущих сталей и сплавов в процессе резания // Доклады НАН Армении. – 2005. - Т. 105, ¹ 4. – С. 369-376.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 01.12.2006.

Ա.Ի. ՍԱՀՐԱԴՅԱՆ, Ս.Գ. ՄԱՄՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ

ԶԵՐՄԱՍԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՄԻՋՄԵՏԱՂԱԿԱՆ
ԱՄՐԱՑՄԱՍԲ ԱՐԱԳԱՀԱՏ ՀԱՄԱՁՈՒԼ ՎԱԾՔՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Հետազոտված են միջմետաղական ամրացմամբ արագահատ համաձուլվածքների արտադրողականության բարձրացման ուղիները գործիքանյութի լավարկված կառուցվածքի և հատկությունների ձևավորմամբ՝ օգտագործելով գիտականորեն հիմնավորված ջերմա-դեֆորմացման և կինետիկական պարամետրով ՋՄՄ առաջավոր, գիտատար տեխնոլոգիաներ: Թ11Օ7Խ23, Թ14Օ7Խ25 ածխածնազուրկ արագահատ համաձուլվածքների ՋՄՄ ժամանակ ամրացման էֆեկտի բացահայտման որոշման հետ միաժամանակ հետազոտված են գործիքանյութի կառուցվածքային փոփոխությունների առանձնահատկությունները և կոագուլացման հետ կապված դիֆուզիոն գործընթացները:

Առանցքային բառեր. կառուցվածքի համասեռություն, ԲՋՄՄ, ՄԴՄ-2, կոագուլյացիա, մարտենսիտ, հատիկայնություն, ամրություն, ջերմակայունություն:

A.I. SAGRADYAN, S.G. MAMYAN, A.V. ANDRIASYAN

CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL CHANGES AND FORMATION OF NONCARBON
HIGH-CUTTING ALLOY PROPERTIES WITH INTERMETALLIC STRENGTH FOR
THERMOMECHANICAL TREATMENT

Ways of increasing the productivity and wearability of tools made of noncarbon high-cutting alloys with intermetallic strength, and developing optimal structure and properties of tool material using progressive scientific technologies of temperature strain parameters are investigated. To reveal the strength effect of noncarbon high-cutting alloys B14M7K25 for TMT, the structural changes and infra-diffusive process characteristics in coagulation have been studied.

Keywords: structure dispersion, high temperature thermomechanical treatment (TMT), martensite strain, MST-2, coagulation, graininess, diffusion strength.

К.Г. КАРАПЕТЯН, А.А. АЛАЯН, Г.С. ОВСЕПЯН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ ПРИ РЕШЕНИИ КОНКРЕТНЫХ МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Применением методов количественной металлографии С.А. Салтыкова определены количества структурных составляющих ренированного твердого сплава (ВК8) и их ориентации при различных состояниях материалов.

Ключевые слова: стереометрия, металлография, фаза, рентгеноструктурный анализ, зерно, диффузия, износостойкость.

Исследована структура, возникаемая в результате диффузионной металлизации пластинки из твердого сплава ВК8 тугоплавким металлом – рением. Структура данной композиции исследована методом количественной металлографии и рентгеноструктурным анализом.

Метод случайных и направленных секущих С.А. Салтыкова [1], наряду с линейным методом А. Розиваля и методом хорд А.Г. Спектора (количество микрочастиц в объеме и их распределение по размерам), является наиболее приемлемым при решении металловедческих задач, так как позволяет автоматизировать процесс подсчета сканированием картины поверхности шлифа лучом. Однако выбор метода при решении различных задач зависит от многих факторов. Например, при наличии очень малых количеств избыточной фазы (до 2...3 %) метод точек А. Глаголева нецелесообразен, поскольку при количествах 0,1...1,0 % в нескольких полях зрения может не совпасть ни одна точка. Линейный метод А. Розиваля или метод случайных секущих С.А. Салтыкова также затруднены, особенно, если фаза очень мелкая. В этих случаях более приемлемым является планиметрический метод, так как он учитывает все частицы, попавшие в поле зрения микроскопа, и задача заключается в учете этих частиц во всех полях зрения. Метод случайных и направленных секущих применен для определения степени ориентации линий.

Степень ориентации рассчитана для частично ориентированной системы и определялась по формуле С.А. Салтыкова [1]:

$$\alpha = \frac{\overline{m}_\perp - \overline{m}_\parallel}{\overline{m}_\perp + \left(\frac{\pi}{2} - 1\right)\overline{m}_\parallel} \cdot 100,$$

где α - степень ориентации зерен, %; $\overline{m}_\perp$ - среднее число пересечений границ зерен секущими, перпендикулярными направлению прокатки; $\overline{m}_\parallel$ - то же, параллельными этому направлению.

Рентгеноструктурный анализ проведен на дифрактометре D/тах - 2500 фирмы RIGAKU (Япония) в условиях симметричной и асимметричной съемок на

Си к α - излучении. Диапазон сканирования угла 2θ при симметричной съемке составлял $10...90^\circ$.

При симметричной съемке установлены (в порядке убывания интенсивности) линии рения (Re), карбида вольфрама (WC), чистого вольфрама (W), карбидов кобальта ($\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$, $\text{Co}_2\text{W}_4\text{C}$), фаз Re_3W и Co_3W . Симметричная съемка образца, не подвергнутого диффузионной металлизации, подтвердила отсутствие вольфрама и наличие фаз - WC и $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$. Это, видимо, доказывает, что при ренировании происходит замещение атомов вольфрама рением, выделение вольфрама и его взаимодействие с рением.

В условиях асимметричной съемки ("скользящий режим") угол между падающим лучом и поверхностью образца составляет 2° , поэтому информация о фазовом составе относится преимущественно к поверхностному слою, а подложки вносят в рентгеновский спектр минимальный вклад. При асимметричной съемке установлены (в порядке убывания интенсивности) линии Re, W, $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$, Re_3W , WC (следы). В таблице приведены данные асимметричной съемки.

Результаты рентгеноструктурного исследования и анализа диаграммы состояния W-Re (рис. 1) показывают, что при ренировании твердого сплава (BK8) происходит довольно быстрая диффузия вольфрама в поверхностный слой с образованием интерметаллической фазы Re_3W . Для металлографического исследования границ был изготовлен косой шлиф, микроструктура которого приведена на рис. 2. Используя линейный метод А. Розиваля, совмещенный с методом направленных секущих С.А. Салтыкова, было определено количество избыточной фазы в приграничной со стороны рения зоне, которое в среднем по двум направлениям составило 7,93%.

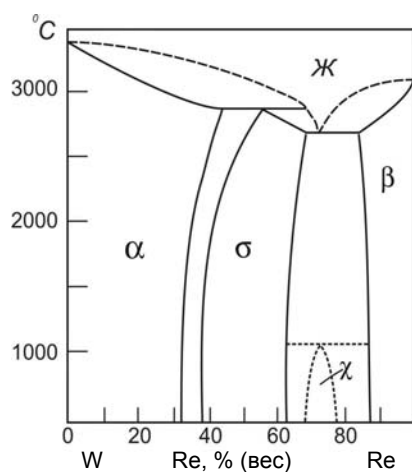


Рис. 1. Диаграмма состояния системы вольфрам-рений

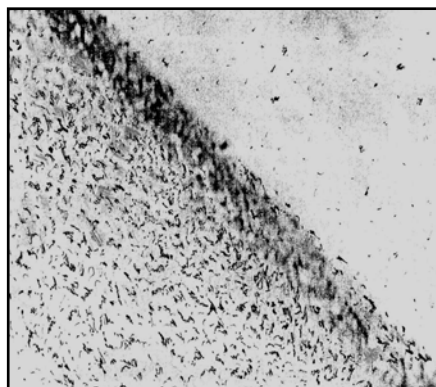


Рис. 2. Микроструктуры границы ренированного твердого сплава (BK8)

Данные асимметричной рентгеновской съемки

[Re-2a1, raw] Re-2a1				2gr-Re-2a1		2gr					Peak ID Report		
SCAN. 10.0/90.0/0.02/3(sec). Cu(30KV.200mA). I(cps)=610, 11-30-04 13:18													
PEAK: 19-pts/para,olic Filter. Threshold = 3.0. cutoff = 0.1%. BG = 3/1.0. Peak-Top = Summit													
NOTE: Intensity = CPS. 2T(0)=0.0(0). Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54056A(Cu/K-alpha1)													
#	2- Theta	d(A) Intensity		I%	Phase ID		d(A)	I %	h	K	l	2- Theta	Delta
1	12.446	7.1059	10	1.8									
2	24.944	3.5667	4	0.7									
3	29.400	3.0355	3	0.5									
4	36.104	2.4858	14	2.5	Co6W6C		2.4900	60.0	3	3	1	36.040	-0.064
5	37.720	2.3828	173	31.3	Re		2.3800	33.0	1	0	0	37.767	0.047
6	40.501	2.2255	234	42.3	Co6W6C		2.2200	80.0	4	2	2	40.605	0.104
7	42.980	2.1026	553	100.0	Re		2.1000	100.0	1	0	1	43.037	0.156
8	44.302	2.0429	17	3.1	Re3W		2.0450	80.0	3	3	2	44.255	-0.048
9	46.440	1.9537	2	0.4	Re3W		1.9570	60.0	4	2	2	46.358	-0.082
10	48.542	1.8739	5	0.9	WC		1.8700	100.0	1	0	1	48.650	0.108
11	56.461	1.6284	46	8.3									
12	57.720	1.5959	3	0.5									
13	58.665	1.5724	4	0.7									
14	60.740	1.5236	3	0.5	Co6W6C		1.5240	60.0	5	5	1	60.720	-0.020
15	68.058	1.3765	72	13.0	Re		1.3800	17.0	1	1	0	67.859	-0.198
16	69.240	1.3558	2	0.4	Re3W		1.3550	60.0	7	1	0	69.288	0.048
17	72.580	1.3014	3	0.5	Re3W		1.3050	80.0	7	2	1	72.350	-0.230
18	73.447	1.2882	5	0.9	WC		1.2900	60.0	1	1	1	73.327	-0.120
19	75.360	1.2602	58	10.5	Re		1.2600	13.0	1	0	3	75.372	0.012
20	80.421	1.1931	10	1.8	Co6W6C		1.1960	10.0	9	1	1	80.188	-0.232
21	82.159	1.1722	60	10.8	Re		1.1700	17.0	1	1	2	82.350	0.190
22	83.881	1.1525	36	6.5	Re		1.1500	17.0	2	0	1	84.105	0.224
23	87.540	1.1135	11	2.0									

Этим же методом была определена степень частичной направленности избыточной фазы относительно границы металлизации по вышеприведенной формуле С.А. Салтыкова, которая составила $\alpha = 39,0 \pm 1\%$. Очевидно, избыточная фаза Re_3W образована в результате диффузии по межграницным поверхностям зерен осаждаемого рения с образованием σ -фазы на этих границах.

При охлаждении с температуры металлизации (1180...1150(С) σ -фаза, реагируя с β -твердым раствором, на основе рения по перитектоидной реакции (ост.) образует интерметаллид Re_3W - χ -фазу в тех же местах, т.е. по границам зерен β -твердого раствора вольфрама в рении. Таким образом, можно констатировать образование непрерывного, структурно связанного твердого

раствора на основе рения с постепенным переходом к подложке (ВК8) и соответствующим изменением твердости (твердость χ - фазы - HV - 1500 МПа).

Твердосплавные металлизированные рением неперетачиваемые пластинки с механическим креплением были опробованы в качестве режущего инструмента при обработке образцов из стали марок 45 и 40Х.

Физико-механические свойства и химический состав сталей соответствовали ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 4543-71. Обрабатываемые материалы (образцы) были в виде круглых заготовок $\varnothing 180...200$ мм длиной $L = 350...400$ мм.

Эксперименты по исследованию износостойкости твердых сплавов проводились на токарно-винторезном станке модели 163 с бесступенчатым регулированием числа оборотов в пределах $n = 10...1250$ об/мин, предельные подачи $S = 0,1...1,6$ мм/об, глубина резания $t = 1,2$ мм. Фактическое число оборотов проверялось с помощью тахометра типа ТК-20. Износ резца определялся по задней грани. В качестве основного критерия принималась величина фаски износа резца по задней грани $h_z = 1,0$ мм.

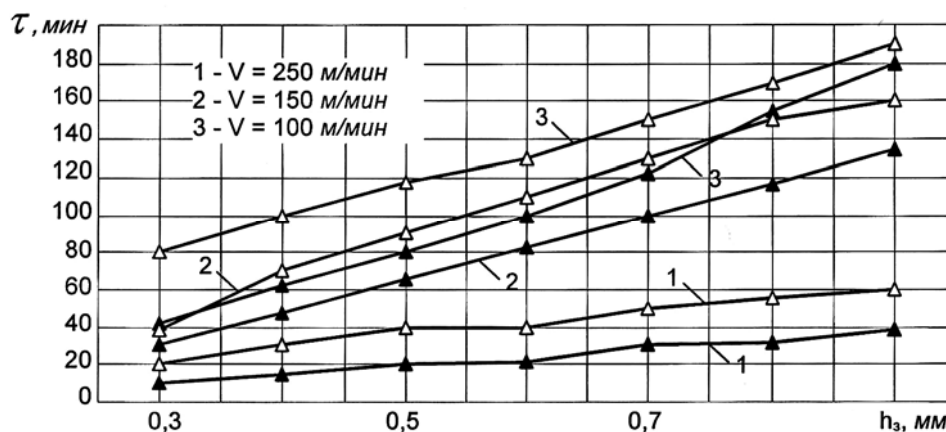


Рис. 3. Зависимость стойкости твердосплавного режущего инструмента от величины износа по задней грани резца при точении стали марки 45; подача – $S = 0,1$ мм/об, глубина резания – $t = 1,2$ мм

$\triangle$ — $\triangle$ - упрочнение тугоплавким металлом - рением
 $\bullet$ — $\bullet$ - без дополнительной обработки (стандартные)

Для сравнения параллельно проводились испытания на стойкость тех же пластинок без металлизации при тех же режимах резания. Результаты экспериментальных данных приведены на рис.3. Как видно из рисунка, стойкость металлизированных, ренированных, твердосплавных пластинок, по сравнению со стандартными, без покрытия, выше в 1,5...2,0 раза. Ренированные твердосплавные пластинки имеют следующие особенности (рис. 4).

Рений с кобальтом образуют непрерывный ряд твердых растворов [2], что, в свою очередь, способствует укреплению связи между кобальтом и карбидами (рис. 4). Рениевый слой обладает высокой теплопроводностью и увеличивает прочность твердого сплава наряду с высокой пластичностью и коррозионной стойкостью.

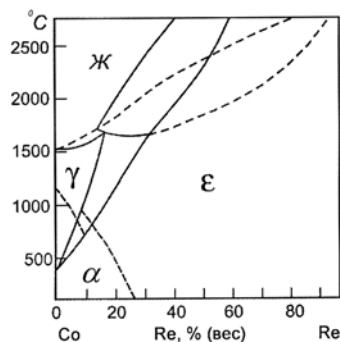


Рис. 4. Диаграмма состояния системы кобальт – рений

Таким образом, в результате металлизации рением образуется непрерывное, структурно связанное с подложкой твердого сплава покрытие, которое способствует повышению износостойкости и работоспособности твердосплавного режущего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салтыкова С.А. Стереометрическая металлография. - М.: Металлургия, 1970.-375 с.
2. Хамидов О.Х., Тылкина М.А., Савицкий Е.М. Структура и свойства соединений рения // В кн.: Рений в новой технике. – М.: Наука, 1970. – С. 41-45.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 29.10.2005.

Կ.Գ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա.Ա. ԱԼԱՅԱՆ, Գ.Ս. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

ՏԱՐԱԾԱԶՈՓԱԿԱՆ ՄԵՏԱՂԱԳՐՈՒԹՅԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԿՈՆԿՐԵՏ ՄԵՏԱՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ս.Ա.Սալտիկովի քանակական մետաղագրության եղանակների կիրառմամբ ստացվել են ռենիումացված կարծր համաձուլվածքի (BK8) կառուցվածքային բաղադրիչների քանակները և դիրքավորումները նյութերի տարբեր վիճակների դեպքում և դրանց ազդեցությունը հատկությունների վրա:

Առանցքային բառեր. տարածաչափություն, մետաղագրություն, ֆազ, ռենտգենաստրուկտուր վերլուծություն, հատիկ, դիֆուզիա, մաշակայունություն:

K.G. KARAPETYAN, A.A. ALAYAN, G.S. HOVSEPYAN

APPLICATION OF THE METHODS OF STEREOMETRIC MATERIALS SCIENCE TO SOLVING CONCRETE PROBLEMS IN MATERIALS SCIENCE

The quantities and observations of the rhenium hard alloys (BK8) for different states of materials, and their influence on properties have been determined by employing S.A. Saltykov's methods of quantitative materials science.

Keywords: stereometry, materials science, phases, roentgen-structural analysis, grain, diffusion, wearability.

Հ.Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Հ.Ժ. ԳԱԼՍՏՅԱՆ, Կ.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ

ՊԱՀԱՆՋՎՈՂ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ՑԱԾՐ ԼԵԳԻՐՎԱԾ ՊՂՆՁԻ
ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Կատարվել է մինչև 1,0% լեգիրող տարրերի ընտրություն և դրանց հիման վրա պղնձի նոր համաձուլվածքների մշակում: Հետազոտությունների արդյունքում մշակվել են ցածր լեգիրված և օպտիմալ հատկություններով օժտված պղնձի հիմքով համաձուլվածքներ:

Առանցքային բառեր. լեգիրում, լիգատուրա, թթվածնագերծում, ֆլյուս, խարամ, ներխառնուկ:

Պղնձի հիմքով համաձուլվածքների մեծ մասն ստացվում է բաց հալման վառարաններում, ինչը պայմանավորված է հալույթի՝ շրջապատող մթնոլորտի թթվածնով օքսիդացմամբ: Պղնձի համաձուլվածքներում Cr - ի, Ca - ի, Cd - ի, Mg - ի և այլ տարրերի առկայությունն ինտենսիվացնում է այդ գործընթացները: Այս դեպքում առաջացող օքսիդային միացությունները ձուլվածքում լարումների առաջացման պատճառ են դառնում, որի հետևանքով խախտվում է ձուլվածքի հոծությունը, ինչպես նաև կտրուկ իջնում են մեխանիկական և տեխնոլոգիական հատկությունները: Հետևաբար, առաջնահերթ խնդիր է՝ մշակել տեխնոլոգիական այնպիսի նոր գործընթացներ, որոնք ապահովեն նվազագույն օքսիդային միացություններով ձուլման համաձուլվածքների ստացումը:

Ձուլման համաձուլվածքների որակի ապահովման համար առավել կարևոր է դրանց պատրաստման ընթացքում տեղի ունեցող ֆիզիկաքիմիական գործընթացների հսկումը, հատկապես հալույթի փոխազդեցությունը թթվածնի, ջրածնի, խարամի, վառարանի շարվածքի և ֆլյուսի հետ: Թթվածինն ու ջրածինը պղնձում անցանկալի խառնուրդներ են, հետևաբար համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիական բոլոր փուլերում պետք է ձգտել կանխելու դրանց ներթափանցումը պղնձի հալույթի մեջ: Միևնույն մակնիշի կաթոդային պղինձը (ԳՕՍՍ 859 - 78) կարող է ունենալ տարբեր խտություն և ջրածնի ու թթվածնի տարբեր պարունակություն: Բարձր ջերմաստիճաններում (1200°C) հեղուկ պղնձում թթվածինը լուծվում է մինչև 1,5%, սակայն պինդ պղնձում այն 100°C - ում լուծվում է ընդամենը 0,005%, իսկ ջրածնի լուծելիությունը 1100...1300°C- ում կազմում է 6...8 սմ³/100 գ [1]:

Աշխատանքի նպատակն է՝ մշակել ցածր լեգիրված պղնձի համաձուլվածքների ստացման այնպիսի տեխնոլոգիական գործընթաց, որն ապահովի բաց հալման պայմաններում կայուն բաղադրություն և հնարավորություն ընձեռի դրանք օգտագործել բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված ձևավոր ձուլվածքներ պատրաստելու համար:

Cu - ի հիմքով բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված համաձուլվածքների ստացման գործընթացը մշակելիս և դրանցից ձևավոր ձուլվածքներ պատրաստելու համար առաջնային են համարվում՝

- բարձր որակի լիգատուրաների օգտագործումը,

- համաձուլվածքների պատրաստման համար միայն զտված պղնձի և մաքուր ելանյութերի օգտագործումը,

- բաց տիպի հալման վառարանում կայուն քիմիական բաղադրությամբ ձուլման համաձուլվածքների հալման տեխնոլոգիայի մշակումը,

- ձուլման արդյունավետ եղանակի ընտրությունը:

Լիգատուրաները միջանկյալ համաձուլվածքներ են և օգտագործվում են դժվարահալ կամ հեշտահալ բաղադրիչները համաձուլվածքների մեջ ներմուծելու համար, ուստի դրանց մեխանիկական ու ֆիզիկաքիմիական հատկություններին հատուկ պահանջներ չեն ներկայացվում, սակայն դրանք պետք է ունենան հիմնական մետաղի հալման ջերմաստիճանին մոտ ջերմաստիճան, պետք է օժտված լինեն փխրունությամբ, համաձուլվածքի մեջ լավ լուծելիությամբ, քիմիական բաղադրության համասեռությամբ և այլն:

Պղնձի համաձուլվածքների թթվածնագերծման համար օգտագործվել է ֆոսֆորային պղինձ, որն ըստ ԳՕՍՍ 4515 - 75 - ի, կարող է պարունակել 8,5...10% (ՄՓ 1) և 7,0...8,5% (ՄՓ 3) ֆոսֆոր [2]: Թթվածնագերծման համար օգտագործվող ֆոսֆորային պղնձի քանակը կազմում է 0,1...0,15%: Այն 1150...1200°C - ում հալույթի մեջ է ներմուծվել նախապես 500...700°C - ում տաքացված վիճակում: Ֆոսֆորով պղնձի թթվածնագերծումն ուղեկցվում է ֆոսֆորային անհիդրիդի (P_2O_5) գոլորշիների և միաժամանակ պղնձի ֆոսֆորաթթվային աղի ($CuPO_3$) առաջացումով, որոնք հեշտությամբ հեռացվում են հալույթից: Թթվածնագերծումից հետո հալույթում ֆոսֆորի մնացորդային քանակը միջին հաշվով կազմել է 0,02%:

Պղնձի ձուլման և ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների վրա լեգիրող տարրերի ազդեցության վերաբերյալ կատարված հետազոտությունների հիման վրա այդ տարրերը կարելի է բաժանել 2 խմբի՝

- լեգիրող տարրեր, որոնք բարձրացնում են պղնձի հեղուկահոսունությունն ու էլեկտրահաղորդականությունը, ինչպիսիք են կադմիումը և կալցիումը,

- լեգիրող տարրեր, որոնք զգալիորեն բարձրացնում են պղնձի մեխանիկական հատկությունները ոչ միայն սենյակային ջերմաստիճանում, այլ նաև պղնձի (0,85...0,95)Thալման ջերմաստիճաններում: Այդպիսի տարրերից են մագնեզիումն ու քրոմը, որոնք միաժամանակ բարձրացնում են նաև պղնձի ճաքակայունությունը:

Cu - Cd - ալին և Cu - Mg - ալին համաձուլվածքները, պղնձի հետ համեմատած, բնութագրվում են բարձր մեխանիկական հատկություններով, օժտված են բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ, ջերմահաղորդականությամբ և մաշակայունությամբ: Կադմիումի առավելագույն լուծելիությունը պղնձում կազմում է 2,2...2,7 կշռային %, իսկ Mg - ի լուծելիությունը պղնձում պինդ վիճակում մինչև այժմ ճշգրիտ հայտնի չէ, սակայն 722°C - ում միջին հաշվով այն կազմում է 2,8 կշռային %: Տաք և սառը վիճակում այս համաձուլվածքներն ավելի լավ են մշակվում ճնշմամբ, քան կիրառելի են ձուլման բնագավառում: Cu - Cd - ալին համաձուլվածքները մեծ մասամբ օգտագործվում են էլեկտրաարդյունաբերության մեջ, էլեկտրիֆիկացված տրանսպորտում հպակների պատրաստման համար, ռեակտիվ տեխնիկայում, եռակցման մեքենաների մեջ և այլն: Cu - Mg - ալին համաձուլվածքները կարող են փոխարինել Cu - Cd - ալին համաձուլվածքներին էլեկտրական մեքենաների հպակային օղակներ և թիթեղներ պատրաստելիս, որոնք աշխատում են մեծ ջերմային, էլեկտրական և մեխանիկական բեռնվածությունների տակ:

Կալցիումով լեգիրված պղնձի համաձուլվածքների պատրաստման մեծ դժվարության պատճառով Cu - Ca համաձուլվածքները գործնականում ձևավոր բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված ձուլվածքներ ստանալու համար չեն օգտագործվում: Բաց տիպի հալման վառարաններում Ca - ով պղնձի լեգիրման հիմնական դժվարությունը կալցիումի չնչին լուծելիությունն է, ինչպես նաև տվյալ դեպքում առաջացող CaCu_2 միջմետաղական միացությունը: Կալցիումի լուծելիությունը պինդ պղնձում շատ ցածր է՝ 850°C - ում այն կազմում է մինչև 0,015 ատ. %, իսկ 700°C - ում՝ 0,015...0,47 ատ. % [3]: Միջմետաղական միացությունները կարևոր նշանակություն ունեն ոչ միայն որպես համաձուլվածքի կառուցվածքային բաղադրիչներ, այլ նաև որպես ինքնուրույն նյութեր, որոնք հաղորդականությամբ, հալման ջերմաստիճանով, կարծրությամբ, կրակակայունությամբ և այլ հատկություններով գերազանցում են մի շարք մետաղներին ու համաձուլվածքներին, իսկ պլաստիկությամբ զիջում են: CaCu_2 միացությունն ունի հեքսագոնալ բյուրեղավանդակ և հալվում է 950°C - ում:

Ca - ը քիմիապես շատ ակտիվ մետաղ է և ունի բարձր թթվածնազերծող ունակություն, բայց առաջացնում է պինդ, թաղանթանման թթվածնազերծման արգասիք, որը դժվար է հեռացվում հալույթից: 20°C -ում Ca- ը փոխազդում է օդի հետ, առաջացնելով օքսիդներ և նիտրիդներ, իսկ տաքացնելիս այն ռեակցիայի մեջ է մտնում նաև ջրածնի հետ: Օդում կամ թթվածնի միջավայրում տաքացնելիս կալցիումը բոցավառվում է՝ առաջացնելով հիմնական օքսիդ՝ CaO :

Գործընթացում առաջացող CaO - ն գրեթե չի լուծվում հեղուկ պղնձում, նրա մի մասը լողում է խարամի մեջ, իսկ մնացած մասը մնում է հալույթում՝ աղտոտելով այն:

Կալցիումով պղնձի լեգիրման մետալուրգիական պարամետրերի վերաբերյալ կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ բաց հալման վառարաններում Cu - Ca համաձուլվածքներ ստանալիս տեղի է ունենում Ca - ի զգալի կորուստ՝ կապված պղնձի հալույթում գտնվող թթվածնի նկատմամբ կալցիումի բարձր ակտիվության հետ: Այս դեպքում առաջացող հալույթից դժվար հեռացվող պինդ օքսիդն անցնելով ձուլվածքի մեջ, կտրուկ իջեցնում է նրա ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները:

Բաց հալման պայմաններում Cu-Cr - ային համաձուլվածքների ստացման հիմնական դժվարությունը նրա զգալի կորուստներն են, ինչպես նաև հալման ընթացքում առաջացող դժվար հեռացվող ոչ մետաղական ներխառնուկները: Ոչ մետաղական ներխառնուկները կարող են լինել «չլուծված» քրոմի ներխառնուկներ, օքսիդային (Cr_2O_3) ոչ մետաղական ներխառնուկներ և մակրոխառնուկներ: «Չլուծված» քրոմի ներխառնուկների առկայությունը հիմնավորվում է նրանով, որ պղնձի հալույթի մեջ ներմուծվող քրոմի մի մասը չի հասցնում լուծվել նրանում՝ քրոմի մակերևույթում օքսիդային թաղանթի առաջացման հետևանքով: Ոչ մետաղական պինդ ներխառնուկներն աղտոտում են հալույթն ու կտրուկ իջեցնում նրա տեխնոլոգիական ու շահագործման հատկությունները:

Պղնձի հալույթում ներմուծվող քրոմի լուծելիությունը կախված է մի շարք գործոններից, որոնցից առավել կարևորներն են.

- Cu - Cr լիգատուրայի պատրաստման եղանակը,
- հալույթում պարունակվող խառնուրդները (O_2 , Al, Si),
- քրոմի լուծելիության ջերմաստիճանը,
- հալույթում քրոմը պահելու ժամանակը,

- հալույթի մեջ ներմուծվող լիգատուրայի բաղադրությունը:

Գոյություն ունեցող Cu - Cr լիգատուրաները պարունակում են 3...12% Cr: Հալման եղանակով քրոմով հարուստ լիգատուրայի ստացման ամբողջ դժվարությունը կապված է պղնձում քրոմի ցածր լուծելիության հետ: Այդպիսի լիգատուրաների արժեքը համեմատաբար բարձր է և նրանց կիրառումը ցածր լեգիրված պղնձաքրոմային համաձուլվածքների ստացման ժամանակ չի երաշխավորվում կայուն քիմիական բաղադրությամբ Cu - Cr - ալին համաձուլվածքների ստացումը բաց հալման պայմաններում, քանի որ այդ լիգատուրաներում ցածր է քրոմի պարունակությունը և զգալի են նրա կորուստները՝ հեղուկ պղնձում լուծելիության ժամանակ:

Պղնձում քրոմի լուծելիությունը զգալիորեն փոքրացնում են O_2 - ն ու Al - ը, ինչը պայմանավորված է լուծվող քրոմի մակերևույթում ամուր օքսիդային թաղանթի (Cr_2O_3 , Al_2O_3) առաջացմամբ:

Cu-Cr - ալին համաձուլվածքների հալման ժամանակ առաջացող ոչ մետաղական ներխառնուկներն ունեն բարդ բաղադրություն, նրանցում Cr_2O_3 - ից բացի պարունակվում են նաև SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO և FeO : SiO_2 - ը, CaO - ի, MgO - ի և FeO - ի հետ առաջացնում է տարբեր սիլիկատային միացություններ, որոնք և լողում են դեպի խարամ: Այս դեպքում քրոմի կորուստը կազմում է 45 - 50%:

Փորձերը ցույց են տվել, որ 1150...1200°C - ում քրոմի լուծումը պղնձում ընթանում է շատ դանդաղ (4...5 ժամ), և արագանում է՝ ջերմաստիճանը մինչև 1300...1350°C բարձրացնելիս: Այս դեպքում տեղի է ունենում քրոմի և նրա օքսիդների ակտիվ փոխազդեցությունը հալման ագրեգատի հրակայուն շարվածքի հետ, որի արդյունքում Cu - Cr - ալին համաձուլվածքներն էլ ավելի են աղտոտվում տարբեր ներխառնուկներով, իսկ հալման վառարանի շարվածքի կայունությունը կտրուկ նվազում է:

Ձևավոր ձուլվածքներ ստանալու համար բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված ճաքակայուն պղնձի ձուլման համաձուլվածքներ մշակելիս վերոհիշյալ երկու խմբերից ընտրվել է քրոմը, քանի որ այն ունի որոշակի առավելություններ, այդ թվում՝

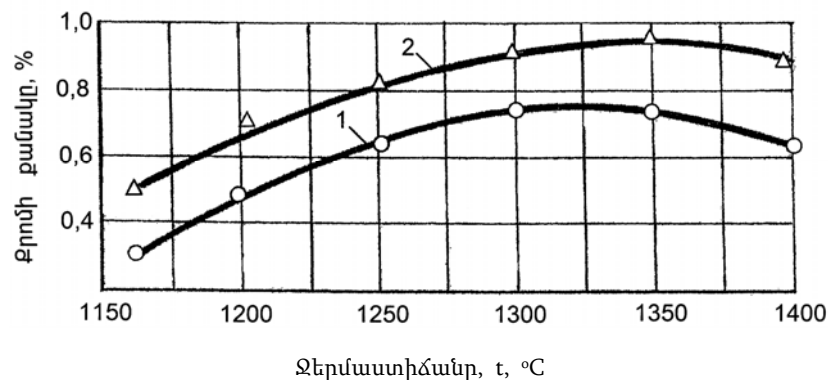
- քիչ է ազդում պղնձի էլեկտրահաղորդականության վրա,
- բարձրացնում է պղնձի ճաքակայունությունը,
- զգալիորեն փոքրացնում է պղնձի ծակոտկենությունը:

Cu-Cr համաձուլվածքի պատրաստման համար տեխնոլոգիական հավելանյութ ընտրելու նպատակով, որը պետք է փոքրացնի Cr - ի կորուստը, կատարվել են համապատասխան թերմոդինամիկական պարամետրերի համեմատություններ, որոնց արդյունքում էլ որպես այդպիսի տարր ընտրվել է բորը:

Հայտնի է, որ բորը առաջացնում է թթվային օքսիդ (B_2O_3), իսկ քրոմը՝ ամֆոտեր օքսիդ (Cr_2O_3): B_2O_3 հեղուկ օքսիդը, փոխազդելով Cr_2O_3 պինդ օքսիդի հետ, առաջացնում է ավելի բարդ միացություն և ավելի ցածր հալման ջերմաստիճանով, քան Cr_2O_3 - ը, որն էլ կարող է հեշտությամբ անջատվել հալույթից ու տեղափոխվել խարամ: Cu - Cr համաձուլվածքների պատրաստման համար որպես վերջնական թթվածնազերծիչ օգտագործվել է Cu + 2% B լիգատուրան: Նշված լիգատուրայում բորի քանակը 2 % - ից ցածր լինելու դեպքում հալություն մնացորդային թթվածնի հաշվին տեղի է ունենում քրոմի մասնակի օքսիդացում և քրոմի օքսիդի առաջացում, իսկ 2 % - ից բարձր լինելու դեպքում փոքրանում է համաձուլվածքի էլեկտրահաղորդականությունը: Թթվածնազերծման արգասիքները՝ բորատները ($mB_2O_3 \times nCu_2O$) հալման ջերմաստիճանում

գտնվում են հեղուկ վիճակում և լողում են դեպի հալույթի մակերևույթ, ինչը ապահովում է թթվածնի լրիվ հեռացումը հալույթից: Բոլոր պղնձի համար ուժեղ թթվածնագերծիչ է, որը 0,02% - ի չափով ներմուծելիս հալույթից թթվածինը հեռացվում է՝ նրա պարունակությունը թողնելով մինչև $7 \cdot 10^{-8}$ %: Այս ընթացքում առաջանում է հեղուկ թթվային օքսիդ՝ B_2O_3 , որը գտնվում և գազագերծում է հալույթը՝ բարձրացնելով պղնձի հեղուկահոսունությունն ու ձևալրացվելիությունը: Սակայն բոլոր թանկարժեք և դեֆիցիտ թթվածնագերծիչ է և նպատակահարմար է օգտագործել միայն պատասխանատու ձուլվածքների ստացման ժամանակ, որոնցից պահանջվում է բավարար ամրություն, կարծրություն, անհրաժեշտ էլեկտրահաղորդականություն, ջերմահաղորդականություն և այլն:

Բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված Cu - Cr - ալին համաձուլվածքներ ստանալու նպատակով կատարվել են փորձագիտական հետազոտություններ՝ հեղուկ պղնձի ջերմաստիճանից կախված քրոմի լուծելիության, լուծելիության տևողության, քրոմի ներմուծման եղանակի և հալույթում ներմուծվող քրոմի քանակության կախվածությունը պարզելու նպատակով: Փորձերի արդյունքները բերված են նկ. 1-ում և 2-ում: Ինչպես երևում է նկ. 1 - ից, պղնձի հալույթի ջերմաստիճանի բարձրացումից կախված, քրոմի լուծելիությունը մեծանում է: Սակայն 1300°C - ից բարձր ջերմաստիճաններում քրոմը Cu + 6% Cr լիգատուրայի ձևով ներմուծելիս ինտենսիվ այրման շնորհիվ տեղի է ունենում քրոմի լուծելիության նվազում (1-կորը), իսկ Cu + 6% Cr և Cu + 2% B լիգատուրաների ձևով ներմուծելու դեպքում Cr-ի լուծելիությունը նվազում է 1350°C - ից բարձր ջերմաստիճաններում (2-կորը):



Նկ. 1. Քրոմի լուծելիության կախվածությունը լիգատուրայի բաղադրությունից և հեղուկ պղնձի ջերմաստիճանից 1 - Cu + 6% Cr լիգատուրայով ներմուծելիս;
2 - Cu + 6% Cr և Cu + 2% B լիգատուրաներով ներմուծելիս

Քրոմի ամենալավ լուծելիություն է նկատվում այն 0,35...0,45% - ի չափով ներմուծելիս, որը և համապատասխանում է պղնձում քրոմի լուծելիության սահմանին: Քրոմի լուծելիությունը էվտեկտիկայի ջերմաստիճանում (1075°C) հասնում է 0,65%: Ջերմաստիճանի իջեցումից այն կտրուկ նվազում է և 400°C - ում կազմում է 0,02%: Համապատասխան ջերմամշակումից հետո (950°C - ում մխում ջրում և 400°C - ում ձերացում 6 ժամ տևողությամբ) կարելի է զգալիորեն բարձրացնել Cu - Cr - ալին համաձուլվածքների ամրությունը, կարծրությունը, էլեկտրահաղորդականությունը և այլն:

Պղնձի հալույթում քրոմի ներմուծման եղանակից և լուծելիության տևողությունից կախված՝ քրոմի պարունակությունը Cu - Cr - ալին համաձուլվածքներում տարբեր է: Փորձերը կատարվել են ICT - 0,06 մակնիշի ինդուկցիոն հալման վառարանում, 5 կգ տարողությամբ տիգելում:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ պղնձի հալույթում քրոմն ու բոլոր համատեղ ներմուծելիս, քրոմն օքսիդանում է ավելի քիչ, քան միայն Cu - Cr լիգատուրայի ձևով ներմուծելիս (աղ. 1):

Քրոմը և բոլոր լիգատուրաների ձևով համատեղ ներմուծելու դեպքում, համեմատած առանց բորի նրա ներմուծման հետ, քրոմի կորուստները փոքրանում են միջին հաշվով 25...30% - ով: Այս դեպքում Cu - Cr - ալին համաձուլվածքների տեսակարար դիմադրությունը նվազում է մոտ 7% - ով, ամրության սահմանը բարձրանում է 15...18% - ով, հարաբերական երկարացումը մեծանում է 55...60 % - ով, իսկ հեղուկահոսունությունը՝ 55...60% - ով, որոնք և միանգամայն բավարար են պղնձի հիմքով բարձրաէլեկտրահաղորդիչ ձուլման համաձուլվածքներին ներկայացվող պահանջների համար:

Աղյուսակ 1

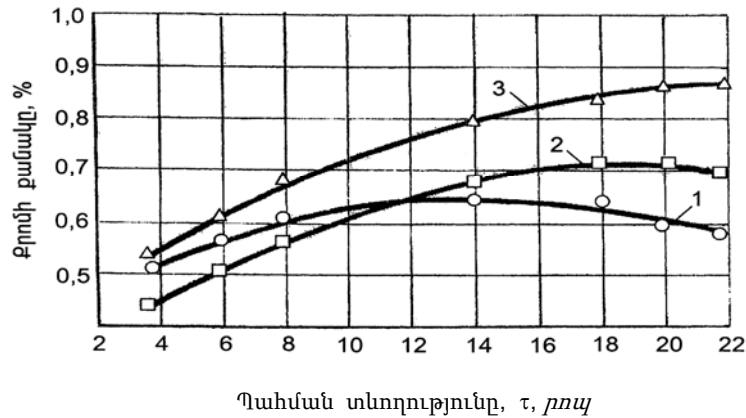
Cu - Cr և (Cu - Cr) + (Cu - B) լիգատուրաների օգնությամբ ստացված Cu - Cr - ալին համաձուլվածքների ֆիզիկամեխանիկական և ձուլման հատկությունների համեմատական ցուցանիշները

Հեղուկ պղնձում քրոմի ներմուծման, քերմ., °C	Քրոմի քանակը, %	Cu - Cr - ալին համաձուլվածքների հատկությունները				
		ներմուծված	իրական հալույթում	ρ , $Ohm \cdot mm^2/m$	σ_b , ՄՊա	δ %
Cr-ը ներմուծվել է Cu+3% Cr լիգատուրայի ձևով						
1250	1	0,46	0,0233	297	12,4	0,24
Cr-ը ներմուծվել է Cu+6% Cr լիգատուրայի ձևով						
1250	1	0,74	0,0228	325	16,3	0,37
Cr-ը ներմուծվել է Cu+6% Cr և Cu+2% B լիգատուրաների ձևով						
1250	1	0,88	0,0215	354	37,6	0,59

Պղինձը Cu + 30% Cr լիգատուրայի ձևով հալույթի մեջ ներմուծելիս (նկ. 2) Cr - ի պարունակությունը Cu - Cr - ալին համաձուլվածքներում փոքրանում է 14 րոպեից հետո (1 - կորը), իսկ Cu + 6% Cr լիգատուրայի ձևով ներմուծելու դեպքում՝ 18 րոպեից հետո (2 - կորը): Քրոմի լավագույն լուծելիություն է ստացվում Cu + 6% Cr և Cu + 2% B լիգատուրաների ձևով համատեղ ներմուծելու դեպքում՝ 22 րոպեից հետո (3 - կորը): Քրոմն ու բոլոր համատեղ ներմուծելու դեպքում փոքրանում է քրոմի օքսիդացումը: Cu - B - Cr վիճակի եռակի դիագրամի բացակայությունը, ինչպես նաև քրոմով ու բորով միաժամանակյա լեգիրման վերաբերյալ ուսումնասիրությունների անբավարար քանակը պատճառ են հանդիսացել զգալի թվով փորձեր կատարելու ձուլման և ֆիզիկամեխանիկական օպտիմալ հատկություններով օժտված պղնձի հիմքով համաձուլվածքներ մշակելիս:

Բաց հալման պայմաններում Cu - Cr - ալին համաձուլվածքների ստացման օպտիմալ մետալուրգիական պարամետրերն ընտրելու համար կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ քրոմը երկակի լիգատուրայի ձևով

ներմուծելու դեպքում նկատվում է քրոմի զգալի կորուստ, ինչպես նաև հալույթն աղտոտվում է պինդ, դժվար հեռացվող Cr - ի օքսիդներով, որոնք և իջեցնում են վերոհիշյալ համաձուլվածքների ֆիզիկամեխանիկական ու ձուլման հատկությունները, բացի դրանից, միան Cu - Cr լիգատուրայի օգտագործումով ցածր լեգիրված պղնձաքրոմային համաձուլվածքների ստացումը արտադրության պայմաններում շահավետ չէ, քանի որ էլեկտրաէներգիայի ծախսերն զգալի են:



Նկ. 2. Քրոմի լուծելիության կախվածությունը հեղուկ պղնձում նրա պահման տևողությունից
 1 - Cu + 30% Cr լիգատուրա; 2 - Cu + 6% Cr լիգատուրա; 3 - Cu + 6% Cr և Cu + 2% B լիգատուրաներ; Cu - ի հալույթի ջերմաստիճանը՝ $T = 1250^{\circ}\text{C}$

Կատարված հետազոտությունների արդյունքում մշակվել են պղնձի հիմքով ցածր լեգիրված՝ Cu + 0,05% B + 0,15% Cr և Cu + 0,06% B + 0,4% Cr բաղադրությամբ բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված ձուլման համաձուլվածքներ, որոնց ձուլման և անհրաժեշտ ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները բերված են աղ. 2 - ում:

Քրոմը բոլոր թթվածնազերծելու դեպքում համաձուլվածքում ապահովվում է պղնձի էլեկտրահաղորդականության մոտ 90% - ը:

Պղնձի հիմքով ցածր լեգիրված ձուլման համաձուլվածքների ստացման ժամանակ կատարված հետազոտությունները հնարավորություն են տվել գալ եզրահանգման, համաձայն որի՝

- բաց հալման վառարաններում Cu - Cr - ային համաձուլվածքներ ստանալիս նկատելի են քրոմի զգալի կորուստներ՝ կապված պղնձի հալույթում գտնվող թթվածնի հանդեպ նրա մեծ ակտիվության հետ: Այս դեպքում առաջացող և հալույթից դժվար հեռացվող պինդ օքսիդները (Cr_2O_3), անցնելով ձուլվածքի մեջ, կտրուկ իջեցնում են նրա ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները,

- բաց հալման պայմաններում Cu - Cr - ային համաձուլվածքներ ստանալիս դրական արդյունք կարելի է ապահովել, եթե պղնձի հալույթի մեջ քրոմի հետ համատեղ ներմուծվեն թթվածնի հանդեպ ավելի բարձր ակտիվություն ունեցող տարրեր, օրինակ՝ բոր,

- փորձագիտական հետազոտությունների արդյունքում մշակվել են պղնձի հիմքով բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ճաքակայունությամբ օժտված համաձուլվածքներ:

Աղյուսակ 2

Cu + 0,05% B + 0,15% Cr և Cu + 0,06% B + 0,4% Cr համաձուլվածքների ֆիզիկամեխանիկական և ձուլման հատկությունները			
N	Համաձուլվածքի հատկությունները	Չափման միավորը	Չափման արդյունքները 1180...1200°C - ում հալույթը լցնելիս
1	հեղուկահոսունություն	Մ	0,58...0,61
2	զծային կծկվածք	%	1,7...1,8
3	շիկաբեկունություն	Մ ²	(6...10) · 10 ⁻⁶
4	տեսակարար էլեկտրական դիմադրություն	Ohm.մմ ² /մ	0,0205...0,0230
5	հարաբերական երկարացում	%	35...40
6	ամրության սահմանը ըստ ձգման	ՄՆ/մմ ²	350...360
7	խտություն	կգ/մ ³	8850...8870

Ելնելով կատարված համալիր ուսումնասիրություններից և ստացված գիտափորձական արդյունքների տվյալներից՝ առաջարկվում է բարձր ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով օժտված պղնձի ձուլման համաձուլվածք ստանալ քրոմով և բորով համատեղ լեգիրելով և կիրառելով լիգատորաների ներմուծման համապատասխան ռեժիմներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Теория и технология литейных процессов / Под ред. **И.Е. Илларионова**. - Чебоксары, 1984. - 121 с.
2. Цветное литье / Под общ. ред. **Н. М. Галдина**. - М.: Машиностроение, 1989. - 528 с.
3. **Ватишка А., Брадик Й., Мацашек И., Словак С.** Теоретические основы литейной технологии / Пер. с чешск. - Киев: Вища школа, 1981. - 320 с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 21.03.2005:

Г.А. КАРАПЕТЯН, А.Ж. ГАЛСТЯН, К.С. АГБАЛЯН, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ С ТРЕБУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

Произведен выбор легирующих элементов с содержанием до 1,0% и на их основе разработаны новые медные сплавы. Разработаны низколегированные медные сплавы, обладающие оптимальными свойствами.

Ключевые слова: легирование, лигатура, обескислороживание, флюс, шлак.

H.A. KARAPETYAN, H.Zh. GALSTYAN, K.S. AGHBALYAN TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR OBTAINING LOW-ALLOYED COPPER ALLOYS WITH REQUIRED PROPERTIES

The choice of alloying elements containing up to 1,0% is carried out and on their bases new copper alloys are developed. Low-alloyed copper alloys possessing optimal properties are worked out.

Keywords: alloying, alloying composition, deoxygenation, flux, slag.

Ն.Գ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ

ԲԱՍՏԵՆԻՏ ԴԱՍԻ ԱՍԲԵՍՏԱԶԵՐԾ ՇՓԱԿԱՆ ԱՐԳԵԼԱԿԱՑԻՆ ՆԵՐՂԻՐՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՄԱՐԴԱՏԱՐ ԱՎՏՈՄԵՔԵՆԱՆԵՐՈՒՄ

Կատարվում է PL21209M-Peugeot, PL20137M-Paykan, Telda-Paykan և Բաստենիտ-3 մակնիշների նյութերից պատրաստված շփական արգելակային ներդիրների շփագիտական հատկությունների համեմատական վերլուծություն: Ցույց է տրվում, որ Բաստենիտ-3 մակնիշի նյութն ունի բարձր աշխատունակություն և առաջարկվում է այն կիրառել Paykan, Pride, Peugeot և Mazda մարդատար ավտոմեքենաների սկավառակակոճղավոր արգելակների շփական ներդիրների պատրաստման համար:

Առանցքային բառեր. տրանսպորտային միջոցներ, շփական ներդիրներ, ասբեստազերծ պոլիմերային նյութեր, շփման գործակից, սկավառակակոճղավոր արգելակ:

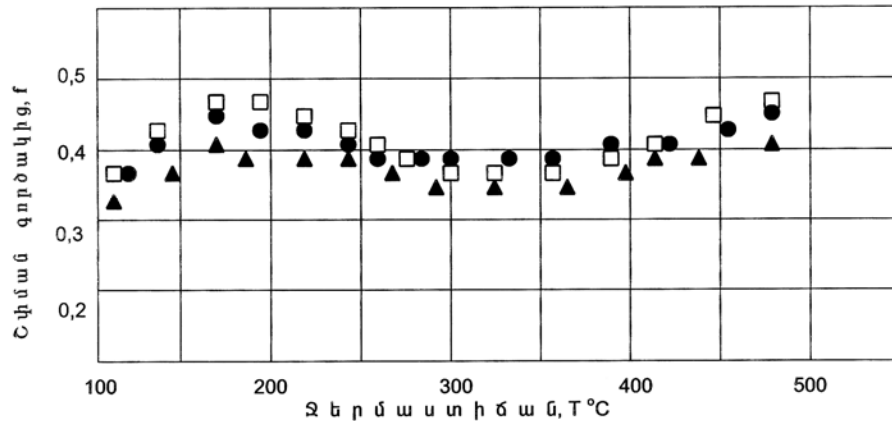
Վերջին տարիներին Հայաստանի Հանրապետությունում ավելանում է Իրանի Իսլամական Հանրապետության արտադրության Paykan, Pride, Peugeot և Mazda մակնիշների մարդատար ավտոմեքենաների հոսքը: Լեռնային և ներքաղաքային երթևեկության պայմաններում անվտանգ շահագործում ապահովելու նպատակով արդիական են դառնում վերջիններիս արգելակային հանգույցների աշխատունակության հետազոտությունները: Մասնավորապես, անհրաժեշտ պայման է նաև այդ մեքենաների արգելակային հանգույցներում բարձր շփման գործակցով (0,45...0,60) և էկոլոգիապես մաքուր արգելակային նյութերի օգտագործումը:

Այս մեքենաների արգելակային ներդիրների արտադրության ոլորտում առաջատար դիրք են գրավում “Pars Lent” “Iran Lent” և “Mashine Lent” ֆիրմաները, որոնք ապահովում են Paykan, Pride, Peugeot և Mazda մակնիշների մարդատար ավտոմեքենաների մեքենաշինական գործարանների սերիական արտադրությունը, ինչպես նաև սպասարկում են ավտոպահեստամասերի շուկան: Օգտագործվում են ասբեստազերծ և ասբեստի հիմքով շփական ներդիրներ, որոնց շփման գործակիցը գտնվում է 0,38...0,45 միջակայքում, իսկ ավտոմեքենայի վազքը մինչև ներդիրների սահմանային մաշումը կազմում է 12...15 հազ. կմ: Արգելակման արդյունավետության և երկարակեցության այսպիսի ցուցանիշները նշված մակնիշների ավտոմեքենաների լեռնային և ներքաղաքային երթևեկության ժամանակ շարժման ուժգնության մեծացման պայմաններում անբավարար են և անհրաժեշտություն է առաջանում մշակել ներդիրների պատրաստման նոր, ավելի մաշակայուն և շփման բարձր գործակից ունեցող ասբեստազերծ շփական նյութեր:

Այս խնդիրը լուծելու համար մեր կողմից նախապես փորձարկման ենթարկվեցին Հայաստանի Հանրապետության ավտոպահեստամասերի շուկայում մեծ պահանջարկ ունեցող սերիական արտադրության PL21209M-Peugeot, PL20137M-Paykan և Telda-Paykan մակնիշների շփական արգելակային ներդիրները: Առաջին երկուսը ասբեստազերծ են, իսկ երրորդը պարունակում է մոտ 42% ասբեստի թելք:

Մշակվեց փորձարկումների եռաստիճան ցիկլ՝ հետևյալ փուլերով. 1) մոդելավորված փորձարկումներ $T-32$ Մ լաբորատոր սարքավորման վրա և ընտրված նյութերի շփական ջերմակայունության (շփման գործակցի կախումը ջերմաստիճանից) բացահայտում, 2) մոդելավորված փորձարկումներ Իրանի Իսլամական Հանրապետությունում գործող ST 586 ստանդարտի պահանջներին համապատասխան, 3) ճանապարհային փորձարկումներ:

Փորձարկման առաջին փուլի արդյունքները բերված են նկ.1-ում:



Նկ.1. PL21209M-Peugeot ($\square$), PL20137M-Paykan ($\bullet$) և Telda-Paykan ($\blacktriangle$) նյութերի շփման գործակցի կախումը ջերմաստիճանից

Ինչպես երևում է արդյունքներից, փորձարկվող նյութերի շփման գործակցի կախումը ջերմաստիճանից ընդգրկում է երեք տիրույթներ. ա) շփման գործակցի մեծացման տիրույթ (100...210 °C), բ) շփման գործակցի փոքրացման տիրույթ (210...330 °C), գ) շփման գործակցի կրկնակի մեծացման տիրույթ (330...500 °C): Համեմատաբար բարձր ջերմակայունություն ունեն PL21209M-Peugeot նյութից պատրաստված ներդիրները, իսկ Telda-Paykan նյութից պատրաստված ներդիրները ցուցաբերում են ցածր ջերմակայունություն: Գրաֆիկներից երևում է նաև, որ տրանսպորտային միջոցների ներքաղաքային երթևեկության պայմաններում այս նյութերից պատրաստված արգելակային ներդիրները կարող են ապահովել շփման գործակցից 0,32...0,40 սահմաններում, քանի որ այդ պայմաններում աշխատող արգելակների շփման մակերևույթի ջերմաստիճանը, համաձայն ճանապարհային փորձարկումների արդյունքների, կազմում է 250...300 °C:

Հետևաբար, առաջադրված խնդրի լուծումը հանգեցնում է այնպիսի շփական կոմպոզիտային ասբեստազերծ նյութերի ստեղծմանը, որոնք շփման մակերևույթի 250...300 °C ջերմաստիճանի պայմաններում կապահովեն 0,45-ից բարձր շփման գործակցից:

Նախկինում մեր կոմից համալիր հետազոտությունների [1] արդյունքում բացահայտվել են ասբեստի հիմքով և ասբեստազերծ շփական կոմպոզիտային արգելակային նյութերի շփամաշվածքային օրինաչափությունները և առաջարկվել նոր, էկոլոգիապես մաքուր Բաստենիտ տիպի պոլիմերային հիմքով կոմպոզիտային շփական նյութեր, որոնք ապահովում են արգելակային հանգույցի բավարար աշխատունակություն շփման մակերևույթի ջերմաստիճանային լայն տիրույթում

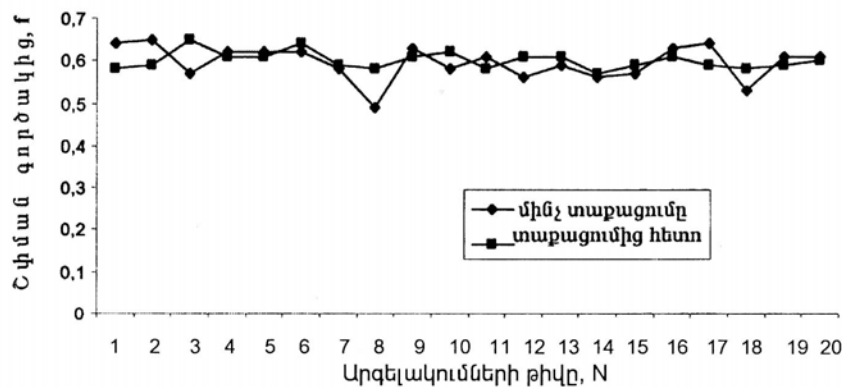
(120...850 °C): Պարզվել է, որ այս նյութերի շփման ժամանակ ձևավորվում է իր ֆիզիկական հատկություններով բուն նյութից տարբերվող որոշակի հաստությամբ բանվորական մակերևութային շերտ, որի մաշման գործընթացն իրականացվում է հետևյալ չորս հիմնական փուլերով՝ 1) թոչող (ցնդող) բաղադրիչների ցածր մոլեկուլային կշռային պիրոլիզ և կոմպոզիտի խոնավության կորուստ (մինչև 200 °C); 2) կապակցող պոլիմերաին նյութի քայքայում (մինչև 600 °C); 3) ամրանային բաղադրիչի քայքայում (մինչև 850 °C); 4) շփման մակերևութի կարբոնիզացում (բարձր 850 °C): Ընդ որում, չկա հստակ սահմանագատում այս գործընթացների ջերմաստիճանային ռեժիմների միջև և բանվորական շերտի միևնույն ծավալում կարող են ընթանալ միաժամանակ բոլոր չորս փոփոխությունները կախված ջերմաստիճանի գրադիենտից:

Այսպիսով, տրանսպորտային միջոցների ներքաղաքային երթևեկության պայմաններում, երբ արգելակային ներդիրների մակերևութային միջին ջերմաստիճանը տատանվում է 250...300 °C սահմաններում, արգելակային ներդիրների մաշման գործընթացը կախված ջերմաստիճանային ռեժիմից, հիմնականում պայմանավորված կլինի կապակցող պոլիմերաին նյութի քայքայման ուժգնությունից, որը, ինչպես հայտնի է, ուղեկցվում է շփման գործակցի փոքրացմամբ [2]: Լեռնային պայմաններում այն կբնորոշվի ամրանային բաղադրիչի քայքայումով, քանի որ արգելակային ներդիրների մակերևութային միջին ջերմաստիճանն այս դեպքում բարձր է 550 °C-ից:

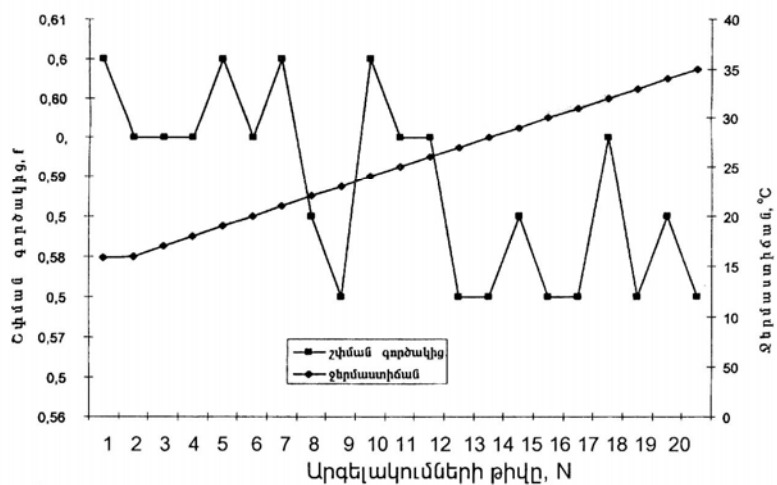
Մեր կողմից մշակված Բաստենիտ-3 նյութը [3], որը բաղկացած է համակցված կապակցող պոլիմերից, բազալտե և ապակե թելքերից ու փոշե լցուկներից, շփման մակերևութի ջերմաստիճանի լայն տիրույթում ապահովում է բարձր շփման գործակից: Կապակցող պոլիմերի դեր է կատարում Ռուսաստանի Դաշնության արտադրության ռեզոլային տիպի ֆենոլֆորմալդեհիդային խեժը, որը բազալտի և ապակյա թելքերի հետ ապահովում է բարձր ադգեզիա, ինչպես նաև ունի մեծ ջերմակայունություն: Ինքնարժեքի իջեցման նպատակով փորձ է արվել օգտագործելու տեղական հումք՝ նովոլակային տիպի ֆենոլֆորմալդեհիդային խեժի և հեքսամեթիլենտետրամինի խառնուրդ: Բաստենիտ-3 նյութի բաղադրակազմով և այդ խեժով պատրաստվեցին արգելակային ներդիրներ, որոնք համեմատական փորձարկման ենթարկվեցին բարձր ջերմակայունություն ունեցող PL 21209M-Peugeot նյութից պատրաստված ներդիրների հետ՝ ըստ ST 586 ստանդարտի պահանջների: Փորձարկման արդյունքները բերված են նկ.2 և նկ.3-ում: Դրանց վերլուծությունը ցույց է տալիս հետևյալը. շփման մակերևութի իզոթերմիկ պայմաններում արգելակումների թվից կախված՝ Բաստենիտ-3-ը մինչ տաքացման ցիկլը և տաքացման ցիկլից հետո ունի համեմատաբար ավելի բարձր և հաստատուն շփման գործակից (նկ. 2ա), քան PL21209M-Peugeot-ը (նկ.3ա): Շփման մակերևութի ջերմաստիճանի բարձրացման պայմաններում տաքացման ցիկլի ժամանակ այս նյութի շփման գործակիցը տատանվում է 0,58...0,61 սահմաններում (նկ.2բ) այն դեպքում, երբ PL21209M-Peugeot-ը նմանատիպ պայմաններում ունի 0,40...0,53 արժեքների շփման գործակից (նկ.3բ): Փորձարկման ընթացքում Բաստենիտ-3-ի կշռային մաշման չափը կազմել է 0,28 մգ, ինչը բավարարում է ST 586 ստանդարտի պահանջներին:

Այս արդյունքների հիման վրա Իրանի Իսլամական Հանրապետության Razmehr Ltd. Co. ձեռնարկության կողմից Paykan և Peugeot մակնիշի մարդատար ավտոմեքենաների սկավառակակոճղավոր արգելակներում կատարվեցին Բաստենիտ-3-ից պատրաստված արգելակային ներդիրների ճանապարհային փորձարկումներ Թեհրան-Արաք-Խորամաբադ մայրուղու լեռնային ճանապարհահատվածներում

և Թեհրան քաղաքում: Ներքաղաքային երթևեկության պայմաններում այս ներդիրների արգելակման արդյունավետությունը 1,25 անգամ մեծ էր սերիական նյութերից պատրաստված ներդիրների արգելակման արդյունավետությունը, իսկ արգելակային սկավառակի դանդաղեցումը կազմում էր 6,2 մ/վ², որը համապատասխանում է միջազգային [4] ստանդարտի պահանջներին: Լեռնային ճանապարհահատվածներում կարճատև կրկնվող ռեժիմով արգելակումների պայմաններում արգելակման արդյունավետության կորուստը չի գերազանցել 5%, որը ևս բավարարում է [4] անվտանգության պահանջները: Ավտոմեքենաների՝ 2000 կՄ վազքից հետո կատարված չափումների և հաշվարկների համաձայն՝ մինչև արգելակային ներդիրների սահմանային մաշումը ավտոմեքենայի վազքը կազմում է մոտ 17 հազ. կմ:

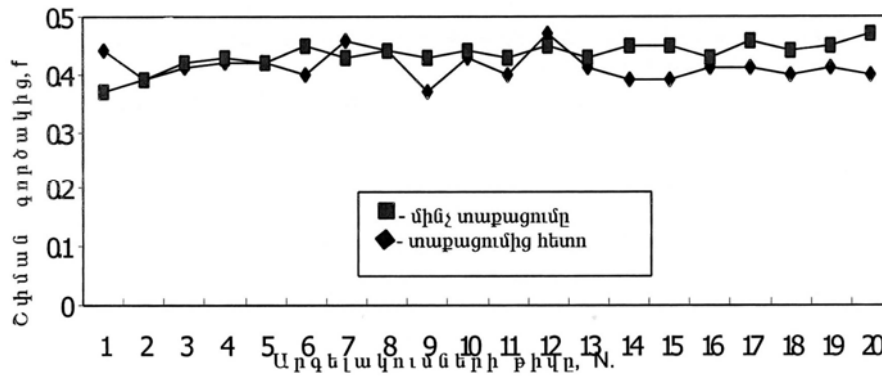


ա)

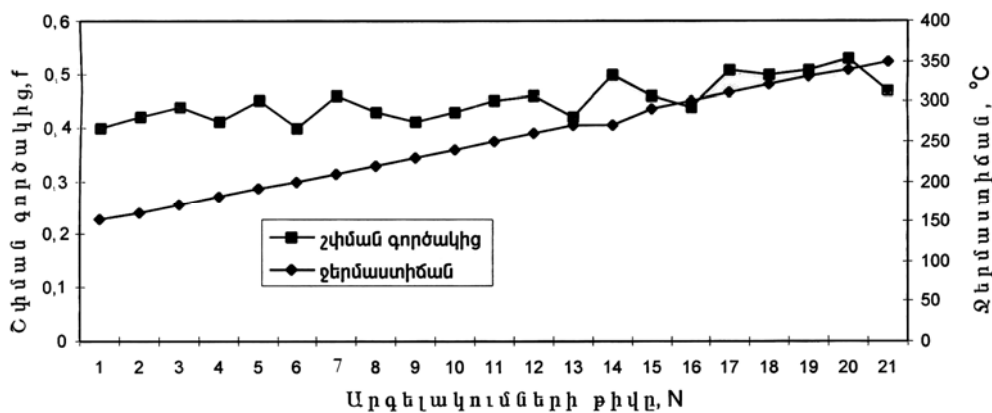


բ)

Նկ.2. Բաստենիտ-3-ի շփման գործակցի կախումը արգելակումների թվից՝
(ա) հաստատուն ջերմաստիճանի և (բ) տաքացման ցիկլի ժամանակ



ա)



բ)

Նկ.3. PL21209M-Peugeot-ի նյութի շփման գործակցի կախումն արգելակումների թվից՝ (ա) հաստատուն ջերմաստիճանի և (բ) տաքացման ցիկլի ժամանակ

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Погосян А.К., Сысоев П.В., Меликсетян Н.Г.** Фрикционные композиты на основе полимеров.-Минск: Информтрибо, 1992.-218 с.
2. **Белый В.А., Свириденко А.И., Петроковец М.И.,Савкин В.Г.** Трение и износ материалов на основе полимеров.-Минск: Наука и техника, 1976.-432 с.
3. Պողոսյան Ա.Կ., Մելիքսեթյան Ն.Գ., Մամուլյան Ն.Բ., Լամբարյան Ն.Ա. Շփական պոլիմերային բաղադրանյութ. - ՀՀ N 702 Գյուտի արտոնագիր.-1999.-4թ:
4. Единые предписания, касающиеся официального подтверждения транспортных средств в отношении торможения: Правило ЕЭК ООН. - N13, 1993.-45 с.

ՀՊՃՀ-ի Վանաձորի մասնաճյուղ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.05.2005:

Н.Г. МЕЛИКСЕТЯН

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗАСБЕСТОВЫХ ФРИКЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ НАКЛАДОК КЛАССА
БАСТЕНИТ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ ИСЛАМСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ИРАН**

Произведен сравнительный анализ трибологических свойств фрикционных тормозных накладок, изготовленных из материалов марок PL21209M-Peugeot, PL20137M-Paykan, Telda-Paykan и Бастенит-3. Показано, что материал Бастенит-3 имеет высокую работоспособность. Предлагается его использовать для изготовления фрикционных накладок дисковых колодочных тормозов легковых автомобилей марок Paykan, Pride, Peugeot и Mazda.

Ключевые слова: транспортные средства, фрикционные накладки, безасбестовые полимерные материалы, коэффициент трения, дисковый колодочный тормоз.

N.G. MELIKSETYAN

**THE UTILIZATION OF ASBESTOS-FREE FRICTION BRAKE NODES
ON BASTENITE TYPE IN VEHICLES OF ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN**

A comparative analysis of friction node's with tribological characteristics made of PL21209M-Peugeot, PL20137M-Paykan, Telda-Paykan and Bastenit materials is carried out. It is shown that Bastenit-3 has a higher serviceability. It is suggested to manufacture disk brakes' nodes of cars Paykan, Pride, Peugeot and Mazda.

Keywords: vehicle, friction nodes, asbestos-free polymers, friction coefficient, disc brake.

А.А. ХАЧОЯН

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЦЕННОСТЕЙ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЕЙ СТАДИЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

На примере простой последовательной реакции проведено сравнение двух методов численного анализа кинетических моделей многостадийных химических реакций – анализа чувствительностей и ценностей. Рассмотрены возможности обоих методов при определении кинетической значимости отдельных стадий реакционного механизма.

Ключевые слова: кинетическая модель реакции, численный анализ чувствительностей, ценностный анализ.

1. Введение. При математическом моделировании сложных (многостадийных) химических реакций актуальной задачей является численный анализ, который сводится к выявлению кинетической значимости отдельных химических стадий [1-4]. Использование численных методов способствует выявлению как наиболее существенных химических превращений, так и незначимых – “избыточных” для кинетической модели. Это позволяет построить базовую кинетическую модель, с помощью которой можно удачно управлять химическим процессом с малыми объемами вычислений. При численном выявлении роли отдельных стадий кинетических моделей широко используется метод анализа чувствительностей к константам скоростей стадий [1-3]. Сравнительно недавно предложен и успешно применен также новый “ценностный” метод определения роли отдельных стадий сложного реакционного механизма [4]. В настоящей работе ставится цель сравнить результаты, полученные указанными выше двумя методами анализа реакционных механизмов на примере простой последовательной реакции [5-7]:



где A, B, C – химические компоненты; k_1 , k_2 – константы скорости стадий.

2. Численные методы исследования.

2.1. Метод анализа чувствительностей. Данный метод определяет чувствительность по изменению выходных параметров реакции: чаще текущих концентраций компонентов реакции при малой вариации константы скорости изучаемой стадии. Таким образом, относительная чувствительность определяется как $S_{ij}^N(t) = \frac{k_j}{c_i(t)} \frac{\partial c_i(t)}{\partial k_j} = \frac{\partial \ln c_i(t)}{\partial \ln k_j}$. Подробнее см. в [3].

2.2. Ценностный анализ. В ценностном подходе кинетическая значимость стадий реакционного механизма многостадийной химической реакции определяется как отношение отклика целевого параметра в момент времени t на малое возмущение скорости стадии в начальный момент времени t_0 . Таким образом, ценность – значимость стадии определяется как

$G_j(t) = \frac{\partial f_0[r_1(t), \dots, r_n(t)]}{\partial r_j} \bigg|_{r_j = r_j(t_0)}, j = 1, 2, \dots, n$. С теоретическими основами ценностного анализа реакционных механизмов можно ознакомиться, обратившись к [4].

3. Результаты и обсуждение. Для численных расчетов использовалась разработанная в НП ЗАО “АРЕВ” и ИХФ НАН РА вычислительная программа VALKIN [4]. В данной компьютерной программе системы дифференциальных уравнений интегрировались с помощью вычислительной подпрограммы ROW-4A [8]. Анализ ценностей осуществлялся по воздействию скорости стадий на кинетику накопления конечного продукта С.

Численный анализ реакции $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ проводился при трех соотношениях констант скоростей, приведенных в величинах τ^{-1} , ($k_1 = \tau^{-1}$), где τ – время жизни исходного компонента А, равное одной секунде (см. табл.).

Таблица

Соотношение констант скорости стадий	$k_1 < k_2$	$k_1 = k_2$	$k_1 > k_2$
Константы скорости стадий	$k_1 = \tau^{-1}$ $k_2 = 100\tau^{-1}$	$k_1 = \tau^{-1}$ $k_2 = \tau^{-1}$	$k_1 = \tau^{-1}$ $k_2 = 0,01\tau^{-1}$

Время реакции приводится в относительных единицах (t/τ) .

В расчетах использовались следующие исходные концентрации компонентов: $[A]_0 = 1$ М; $[B]_0 = 0$ М; $[C]_0 = 0$ М.

На рис. 1 приведены расчетные кинетические траектории концентраций компонентов последовательной реакции при различных соотношениях констант скоростей стадий.

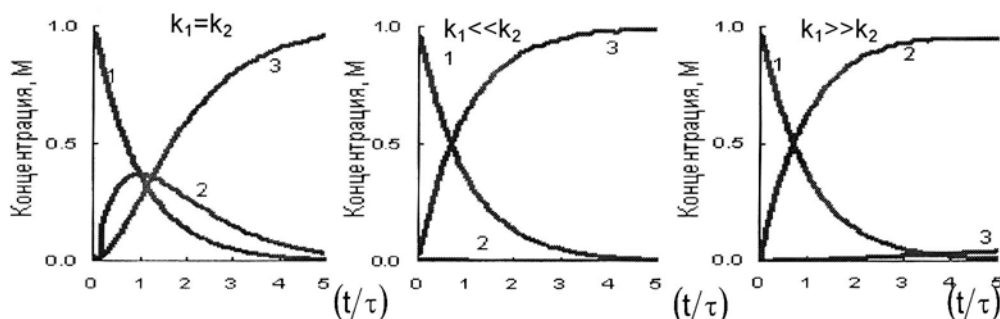


Рис. 1. Расчетные кинетические кривые компонентов реакции $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$, 1-[A], 2-[B], 3-[C] для трех соотношений констант скорости (см. табл.)

Анализ кинетики накопления конечного продукта реакции С. Относительные чувствительности и ценностные вклады отдельных стадий для случая, когда выявляется их роль в кинетике накопления конечного продукта С, приведены на рис. 2.

Как следует из результатов, представленных на рис. 2, метод анализа чувствительностей является эффективным средством выявления лимитирующей стадии реакции. Для случая $k_1 \ll k_2$ относительная чувствительность второй стадии $B \rightarrow C$ стремится во времени к нулю, тогда как чувствительность стадии $A \rightarrow B$ сохраняет высокое значение и выявляет эту стадию как лимитирующую. Аналогично, для случая $k_1 \gg k_2$.

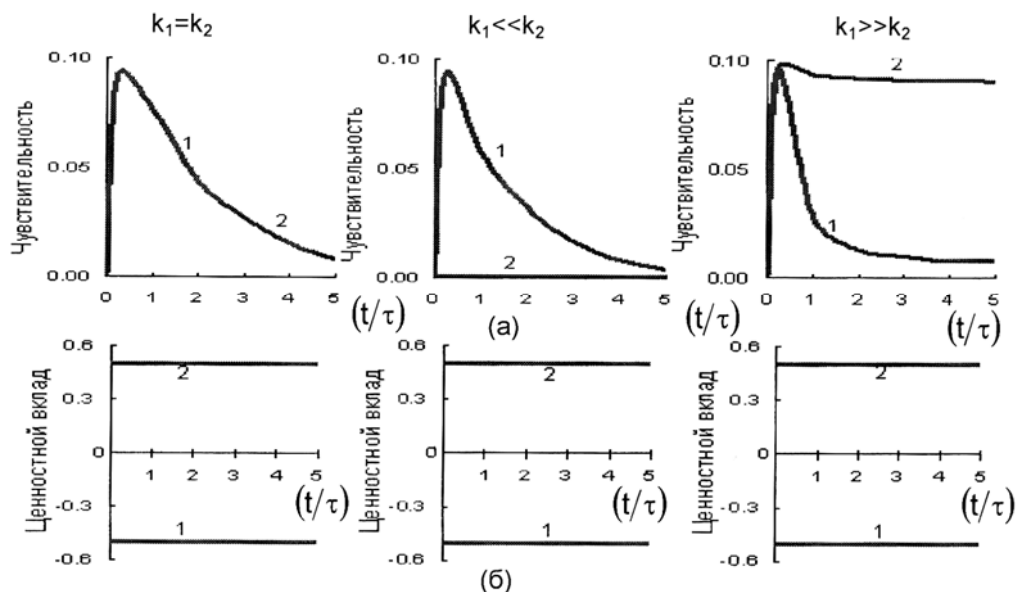


Рис. 2. Расчетные траектории локальных чувствительностей (а) и ценностных вкладов (б) стадий $A \xrightarrow{k_1} B$ (1) и $B \xrightarrow{k_2} C$ (2) последовательной реакции $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ при выявлении их роли в кинетике накопления конечного продукта С

Высокое значение относительной чувствительности стадии $B \rightarrow C$ однозначно выделяет ее как стадию, лимитирующую химический процесс. Для случая $k_1 = k_2$ величины относительных чувствительностей обеих стадий соизмеримы, и в этом случае говорить о лимитирующей роли какой-либо стадии неуместно. Таким образом, метод анализа чувствительностей однозначно выявляет лимитирующие стадии сложного химического превращения. Между тем, близкое к нулю значение относительной чувствительности отдельной стадии, как это следует из рассмотренного простого примера последовательной реакции, не дает оснований для исключения из реакционного механизма.

Обратимся теперь к результатам ценностного анализа. При рассмотрении роли стадий на кинетику накопления конечного продукта С временные профили приведенных ценностных вкладов указывают на одинаковую кинетическую значимость обеих стадий последовательной реакции, тем самым подчеркивая необходимость обязательного “присутствия” обеих стадий при описании простой последовательной реакции.

4. Заключение. Метод анализа чувствительностей лучше выявляет лимитирующие стадии реакций, однако этого недостаточно для построения базовой кинетической модели. С этой целью использование ценностного анализа представляется более предпочтительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полак Л.С., Гольденберг М.Я., Левицкий А.А. Вычислительные методы в химической кинетике. –М.: Наука, 1984. –312 с.
2. Tomlin A.S., Turanyi T.P., Pilling M.J. Mathematical tools for construction, investigation and reduction of combustion mechanisms //Low-temperature combustion and autoignition: In Comprehensive chemical kinetics. Ed. M.J. Pilling. Amsterdam: Elsevier. –1997. – P. 293–437.
3. Chan K., Scott E.M. Sensitivity analysis. -New York: John Willey Sons, 2000. - 325 p.
4. Тавадян Л.А., Мартоян Г.А. Анализ кинетических моделей химических реакционных систем. Ценностный подход. -Ереван: Гитутюн, 2005. –247 с.
5. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. -М.: Наука, 1984. – 413 с.
6. Helfferich F.G. Kinetics of homogeneous multistep reactions // In comprehensive chemical kinetics.- Amsterdam: Elsevier, 2001. –P. 125–131.
7. Денисов Е.Т., Саркисов О.М., Лихтенштейн Г.И. Химическая кинетика. – М.: Химия, 2000. - 503 с.
8. Gottwald B.A., Wanner G.A. Digital simulation system for coupled chemical reactions. simulation // Simulation. - 1982.- V. 37. -P.169.

Ин-т химической физики НАН РА. Материал поступил в редакцию 21.06.2006.

Ա.Ա. ԽԱՉՈՅԱՆ

ՀԱՋՈՂԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՌԵԱԿՑԻԱՅԻ ՓՈԻԼԵՐԻ ԱՐԺԵՔԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ԶԳԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԹՎԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Պարզ հաջորդական ռեակցիայի օրինակով իրականացված է կինետիկական մոդելի թվային վերլուծության երկու մեթոդների՝ զգայունությունների վերլուծության և արժեքավորման մեթոդների համեմատություն: Դիտարկված են ռեակցիոն մեխանիզմի առանձին փուլերի կինետիկական արժեքավորությունների որոշման երկու մեթոդների հնարավորությունները:

Առանցքային բառեր. ռեակցիայի կինետիկական մոդել, զգայունությունների թվային վերլուծություն, արժեքավորությունների վերլուծություն:

A.A. KHACHOYAN

NUMERICAL ANALYSIS OF VALUES AND SENSITIVITIES OF CONSECUTIVE CHEMICAL REACTION STEPS

Two method comparison of numerical analysis of kinetic models in chemical reactions is given on the example of simple consecutive reaction, i.e. analysis of sensitivities and value analysis. The possibility of each method for determining the kinetic significance of individual steps of reaction mechanism is considered.

Keywords: kinetics model of reaction, numerical analysis of sensitivities, value analysis.

Հ.Մ. ՖԱՀՐԱՅԱՆ

ՏԱՐԲԵՐ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐՈՎ ՋԵՐՄԱՄՇԱԿՎԱԾ ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ
ՖԻԶԻԿԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Աշխատանքի նպատակն է՝ միջին ածխածնային պողպատներից պատրաստված և տարբեր եղանակներով ջերմամշակված մեքենամասերի աշխատանքային մակերևույթների միկրոկառուցվածքի ֆիզիկամեխանիկական վիճակը բնութագրող պարամետրերի, դրանց քանակական գնահատականների բաշխման օրենքների բացահայտումը և միմյանց նկատմամբ փոխադարձ կապերի ուսումնասիրումը:

Առանցքային բառեր. բարձրջերմաստիճանային և ցածրջերմաստիճանային միամեղմում, միկրոկարծրություն, փոփոխակային շարք, ձևափոխիչ ֆունկցիա, նորմալ բաշխման օրենք:

Մեքենամասերի շահագործման ընթացքում մետաղի պլաստիկ դեֆորմացիաների և ջերմային երևույթների հետևանքով փոխվում են նրա մեխանիկական և ֆիզիկական հատկությունները: Մեքենամասերի ստացման ժամանակ դրանք մեծ մասամբ ենթարկվում են տարբեր եղանակներով ջերմամշակման, որից հետո ձեռք են բերում նոր հատկություններ՝ բարձր երկարակեցություն և հուսալիություն: Մեքենաշինության մեջ ծանր բեռնվածքների տակ աշխատող պատասխանատու մեքենամասերը (հաստոցների իլեր, լիսեռներ, ընթացային պտուտակներ և այլն) հիմնականում պատրաստվում են կոնստրուկցիոն պողպատներից, այդ իսկ պատճառով հետազոտման նյութ է ընտրվել ոլորտում լայնորեն օգտագործվող պողպատ 45-ը:

Հետազոտման համար պատրաստվել են պողպատ 45-ից 5 փորձանմուշներ (10 մմ կողի երկարությամբ և 5 մմ հաստությամբ՝ վեցանկյան տեսքի), որոնք ենթարկվել են տարբեր եղանակներով ջերմամշակման՝ միմյան, միմյան՝ հաջորդող ցածրջերմաստիճանային ($170...200^{\circ}\text{C}$) և բարձրջերմաստիճանային ($600\pm 20^{\circ}\text{C}$) միամեղմմամբ, նորմալացման ($\sim 850^{\circ}\text{C}$) և թրծման ($\sim 850^{\circ}\text{C}$):

Կատարվել են փորձանմուշների միկրոկարծրության (HV) և ստրուկտուր ֆազերի չափերի (D) մեծ թվով չափումներ ($n=250...300$), որի համար փորձանմուշների մակերևույթները ենթարկվել են հղկման, փայլեցման, իսկ կառուցվածքը մանրադիտակի տակ տեսանելի դարձնելու նպատակով՝ խաճատման: Մակերևույթների միկրոկարծրությունները չափվել են ПМТ-3 միկրոկարծրաչափի, իսկ ստրուկտուր ֆազերի չափերը՝ МИМ-8 մանրադիտակի միջոցով: Վերջիններիս չափման դեպքում դիտարկել են միկրոկառուցվածքի պեռլիտային և մարտենսիտային ֆազերի չափերը: Պեռլիտային ֆազի դեպքում վերցվել է պեռլիտի հատիկի միջինացված տրամագիծը, իսկ մարտենսիտային ֆազի դեպքում՝ մարտենսիտի ասեղների միջինացված երկարությունը:

Փորձանմուշների միկրոկարծրությունների և ֆազերի զանգվածային չափումների արդյունքում ստացվել են 5-ական փոփոխակային շարքեր, որոնց վիճակագրական հետազոտության առաջնային խնդիրը փոփոխակային շարքերի՝

նորմալ բաշխման օրենքին համապատասխանելու «գրոյական» վարկածի համալիր ստուգումն է, որի համար օգտագործվել է SMDA հաշվողական ծրագիրը [1]: Ձևափոխիչ ֆունկցիաների կիրարկումը (աղ. 1) ապահովել է վիճակագրական հաշվարկների հուսալիության ելքի՝ $\alpha > 0.05$ պայմանը: $\alpha_{\max}$ արժեքները միկրոկարծրության և ֆազերի չափումների դեպքերում տատանվում են 0,5...0,99 միջակայքում, որը շատ բարձր ցուցանիշ է ($\alpha_{\max} \approx 1$ դեպքում տվյալների նորմալ բաշխման փորձառական և տեսական ֆունկցիաների կորերը համընկնում են):

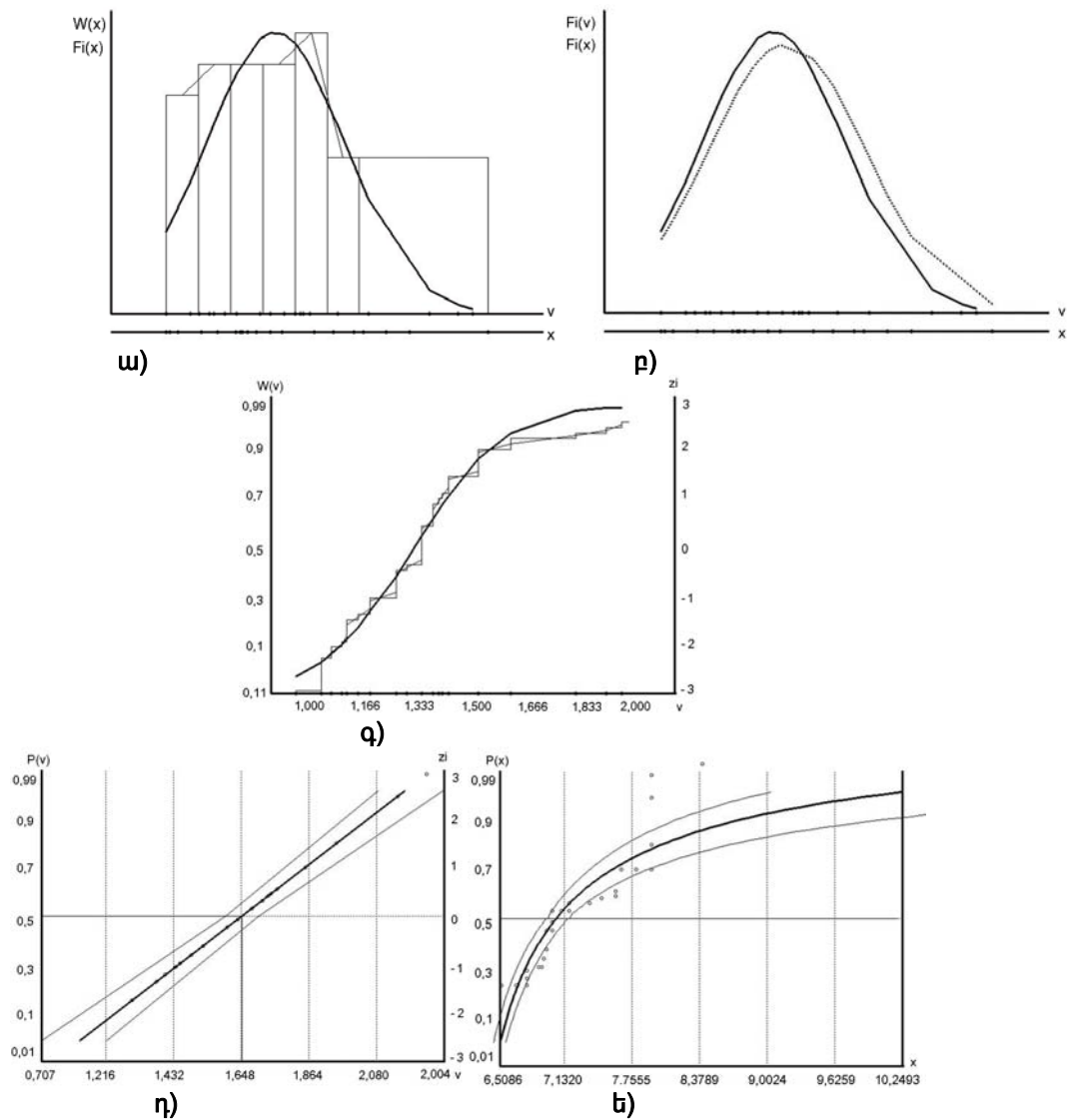
Աղյուսակ 1

Օպտիմալ ձևափոխիչ $F(x, k, \gamma, m)$ ֆունկցիայի ընտրությունը միկրոկարծրության և միկրոմասնիկների չափումների արդյունքներով կազմված փոփոխական շարքերի համար

Ձևափոխիչ ֆունկցիաները		Նորմալա- ցումից հետո	Միաված՝ առանց միսամեղմ- ման	Միաված՝ 170...200°C միսամեղմ- մամբ	Միաված՝ 600±20°C միսամեղմ- մամբ	Թրծված վիճակում
		$\alpha_{\max}$ -ի արժեքները				
$(x + \gamma)^m$	HV	0,9547	0,9692	0,9901	0,8188	0,9365
	D	0,1272	0,9693	0,9071	0,8222	0,5802
$(x + \gamma)^{1/m}$	HV	0,9694	0,8909	0,9930	0,8555	0,9337
	D	0,6968	0,0497	0,8570	0,6857	0,6670
$[\lg(x + \gamma)]^m$	HV	0,9785	0,9645	0,9382	0,7967	0,9180
	D	0,3032	0,9902	0,7856	0,5481	0,2422
$[\lg(x + \gamma)]^{1/m}$	HV	0,8909	0,8350	0,9840	0,8305	0,9200
	D	0,5945	0,5308	0,9203	0,7334	0,6560
$\exp[(x + \gamma)^m]$	HV	0,9186	0,8217	0,8270	0,5364	0,7202
	D	0	0,8832	0,8755	0,0000	0,0000
$\exp[(x + \gamma)/m]$	HV	0,9503	0,8777	0,8588	0,7587	0,9129
	D	0,4082	0,0000	0,3689	0,0043	0,1321
$\exp[(x + \gamma)^{1/m}]$	HV	0,9877	0,9111	0,9984	0,8756	0,9287
	D	0,7170	0,5359	0,9033	0,6850	0,6368

Երկու դեպքերում էլ նորմալ բաշխման օրենքին առավել համապատասխանել են աստիճանային, էքսպոնենտային և լոգարիթմական ֆունկցիաներով ձևափոխված շարքերը (աղյուսակում $\alpha_{\max}$ -ի ստվերապատված արժեքները):

Նշված դեպքերը վկայում են տվյալների բավականին բարձր աստիճանի համապատասխանության մասին, որն էլ հաստատվում է գրաֆիկական ստուգումներով (նկ. 1):



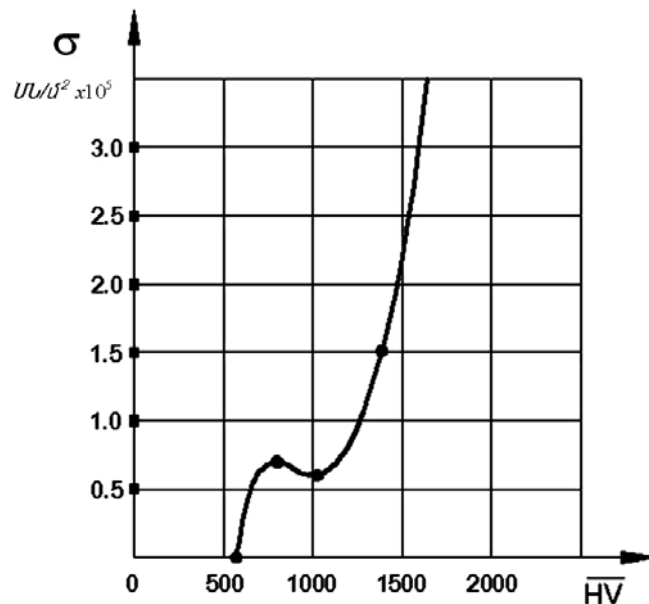
Նկ. 1. Տվյալների ներկայացումը միաված՝ 170...200 °C միասամեղմամբ ջերմամշակման համար. ա) հիստոգրամը և բաշխման դիֆերենցիալ ֆունկցիան, բ) բաշխման դիֆերենցիալ ֆունկցիայի տեսական և փորձառական կորերը, գ) նույնը՝ բաշխման ինտեգրալային ֆունկցիայի համար, դ) բաշխման միջնարժեքային գիծը և նրա 90%-անոց վստահական սահմանները, ե) նույնը՝ չձևափոխված տվյալների փոփոխականի շարքի համար

Ձևափոխված շարքերի զրոյական վարկածի համալիր ստուգումներն ըստ Պիրսոնի χ^2 , Կոլմոգորով-Սմիրնովի λ և Միգեսի ω^2 համաձայնության չափանիշների հաստատում են շարքերի՝ նորմալ բաշխման օրենքին համապատասխանելու բարձր աստիճանը [2]:

Մեքենամասերի ձևավորման ընթացքում նրանց մակերևութային շերտը կամ ամբողջ կտրվածքը ենթարկվում են արտաքին ուժերի ազդեցությանը, որն ուղեկցվում է զգալի պլաստիկ դեֆորմացիայով՝ առաջացնելով մետաղի բյուրեղային ցանցի աղավաղում:

Ցանցի նման կառուցվածքային աղավաղումը հանգեցնում է դիսլոկացիաների առաջացմանը, այսինքն՝ միջատոմային հարթությունների շեղմանը: Կախված տեխնոլոգիական գործընթացների բնույթից, այդ շեղումները կարող են տարբեր լինել, որոնց արդյունքում մետաղում առաջանում են միկրոլարումներ, որոնք գումարվելով աշխատանքային լարումներին, կարող են հանգույցի քայքայման պատճառ դառնալ [3]: Տեխնոլոգիական ներքին լարումների առկայությունը և դրանց բաշխումը մեծ նշանակություն ունի մեքենամասերի երկարաժամկետ անխափան աշխատանքի համար:

Փորձանմուշներում մնացորդային լարումները չափվել են ռենտգենակառուցվածքային եղանակով՝ օգտագործելով ընդհանուր նշանակության DPOH-2 դիֆրակտաչափ [4]: Նախապատրաստվածքի մակերևույթը նախօրոք ենթարկվել է հղկման, ողորկման, իսկ վերջիններից առաջացած լրացուցիչ միկրոլարումներից խուսափելու համար՝ քիմիական ողորկման:



Նկ. 2. Մնացորդային ներքին լարումների և միկրոկարծրությունների կապը

Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծությամբ որոշված մետաղի բյուրեղային ցանցի հարթությունների հեռավորությունների միջոցով հաշվարկելով գլխավոր ներքին լարումների արժեքները յուրաքանչյուր փորձանմուշի համար, պարզվել է, որ առավել գերլարվածային վիճակում է գտնվում մխումից հետո առանց միամեղմման փորձանմուշը, իսկ ամենաքիչ (համարյա զրոյական) լարվածային վիճակում՝ թրծաթողված փորձանմուշը (աղ. 2):

Ներքին լարումների և միկրոկարծրությունների արժեքները

Ջերմամշակման ռեժիմներ	Նորմալա- ցումից հետո	Միսված՝ առանց միսամեղմ- ման	Միսված՝ 170...200°C միսամեղմ- մամբ	Միսված՝ 600±20°C միսամեղմ- մամբ	Թրծված վիճակում
Մնացորդային լարումներ և միկրոկարծր.					
σ, MPa^2	0,7	26,6	1,51	0,7	≈ 0
$\overline{HV}$	761,7	1323,3	1029,9	933	741,7

Ստացված արդյունքները համեմատելով նույն նմուշների միկրոկարծրությունների հետ (նկ. 2)՝ կարելի է եզրակացնել, որ որքան մեծ է միկրոկարծրությունը, այնքան մեծ են մնացորդային ներքին լարումները, ընդ որում՝ կապը ոչ գծային է:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Стакян М.Г., Демирханян А.Р.** Модифицированный метод проверки нормальности распределения мех. испытаний //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2000.-Т.53, №3.-С.271-280.
2. Ֆահրադյան Հ.Մ. Լիսեռների մակերևութային շերտում միկրոկարծրությունների բաշխման օրենքի բացահայտումը և ծրագրային ապահովումը // Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ: Միջազգային երիտասարդական գիտաժողով. - Երևան, 2005.-էջ 99-103:
3. **Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н.** Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия.-М.: Металлургия,1982.-С.338-346.
4. Приборы и методы физического металловедения. Том 1 / Под ред. **Ф. Вайнберга.** - М.: Мир, 1973.- С.406-412.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացված է խմագրություն 10.06.2006:

А.М. ФАГРАДЯН

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ, ТЕРМООБРАБОТАННЫХ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

Цель работы – исследование параметров, характеризующих физико-механическое состояние микроструктуры рабочих поверхностей деталей, изготовленных из средних углеродистых сталей и обработанных в разных режимах термообработки, их взаимных связей и выявление законов распределения их количественных оценок.

Ключевые слова: высокотемпературный и низкотемпературный отпуск, микротвердость, вариационный ряд, модифицирующая функция, закон нормального распределения.

H.M. FAHRADYAN

STATISTICAL ANALYSIS OF PHYSICOMECHANICAL PARAMETERS OF DETAILS, THERMALLY PROCESSED IN DIFFERENT WAYS

The purpose of this work is to study parameters, characterizing physicomachanical condition of the microstructure of operations detail surface made from medium carbonic steels and processed in different rate of thermal processing, their interconnections and revealing of distributions laws of their quantitative estimations.

Keywords: high-temperature and low-temperature drawback, microhardness, the variational series, modifying function, law of normal distribution.

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Տ.Ս. ԱՂԱՍՅԱՆ, Մ.Է. ՄԱՍՈՒՆՅԱՆ

ՊՂՆՁԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԻ ԼՈՒԾԵԼԻՈՒԹՅՈՒՆԸ ՋՐՈՒՄ՝ ԹՐԹՈՒՍՂԱՑՈՒՄ ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՄԱՆՐԱՑՈՒՄԻՑ ՀԵՏՈ

Ուսումնասիրվել է պղնձային խտանյութերի լուծելիությունը ջրում, թրթռադացում մեխանաքիմիական ակտիվացումից հետո: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ակտիվացման շնորհիվ պղնձային խտանյութում պարունակվող երկաթի և պղնձի սուլֆիդները ենթարկվում են խորը քիմիական փոխարկումների՝ առաջացնելով ջրում լուծվող սուլֆատներ և հիդրոսուլֆատներ, իսկ երկաթի դեպքում՝ նաև մագնետիտ: Այս երևույթը կարելի է կիրառել պղինձ պարունակող սուլֆիդային հանքանյութերի և խտանյութերի նախնական հարստացման աշխատանքներում:

Առանցքային բառեր. մեխանաքիմիա, ակտիվացում, պղնձային խտանյութ, մանրացում, լուծելիություն, պղնձի և երկաթի սուլֆիդներ:

Մեր հանրապետությունը հարուստ է պղինձ պարունակող զանազան սուլֆիդային հանքանյութերով: Հարստացման կոմբինատները կատարում են նախնական հարստացում՝ ստանալով բազմաթիվ պղնձային խտանյութեր: Այսօր հաջողվում է ստանալ մոտ 25...27% Cu և 25...30% Fe պարունակող պիրիտ-խալկոպիրիտային խտանյութեր, որոնք պահանջում են հետագա մետալուրգիական մշակման արդյունավետ տեխնոլոգիաներ: Մեծ մետալուրգիայով այդ խտանյութերի մշակումը արդյունավետ չէ՝ պղնձին համարժեք քանակով երկաթը չի կորզվում և դեն է շարժվում թափոնների ձևով: Բացի դրանից՝ մեծ մետալուրգիայի կիրառությունը Հայաստանում անարդյունավետ է, քանի որ հանրապետությունը չունի էներգետիկական, ջրային և տնտեսական բարենպաստ պայմաններ: Հարց է դրվում՝ ինտենսիվացնել տեխնոլոգիական գործընթացները, ստեղծել մշակման արդյունավետ և բնապահպանական տեսակետից պաշտպանված եղանակներ, որոնք հնարավորություն կընձեռեն համալիր ձևով այդ խտանյութերից կորզել ինչպես պղինձ, այնպես էլ երկաթ: Տեխնոլոգիական գործընթացների ինտենսիվացման արդյունավետ եղանակ է համարվում մետալուրգիական մշակումից առաջ պղնձային խտանյութերի մեխանաքիմիական ակտիվացումը:

Մեխանաքիմիական ակտիվացումը վերջին տարիներին դարձել է հատուկ ուսումնասիրությունների առարկա՝ չնայած նուրբ մանրացման հետևանքով նյութերի ֆիզիկաքիմիական հատկությունների և նույնիսկ քիմիական կապի փոփոխությունները հայտնի էին ավելի վաղուց [1, 2]:

Մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացը կարելի է ներկայացնել երկու փուլով: Առաջին փուլում կատարվում է նյութերի տեսակարար մակերեսի, հետևաբար նաև մակերևութային էներգիայի մեծացում, որը, ինչպես հայտնի է, հանգեցնում է քիմիական ակտիվության մեծացման: Երկրորդ փուլում նուրբ մանրացման հետևանքով տեսակարար մակերեսը չի մեծանում, մնում է հավասարակշռային վիճակում կամ նույնիսկ փոքրանում է՝ շնորհիվ նուրբ մանրացված մասնիկների ագրեգացիայի, սակայն այդպիսի ագրեգացիաներում քիմիական կապերի աճն ավելի թույլ է՝ սկզբնական կառույցի հետ համեմատած:

Մեխանաքիմիական ակտիվացումն այստեղ ուղեկցվում է բյուրեղային ցանցի անկարգության մեծացումով, վերաբյուրեղացումով, իսկ ավելի երկար մանրացնելիս՝ ի վերջո միներալի ամորֆացումով: Այսպիսով, չնայած հավասարակշռության հաստատման կամ տեսակարար մակերեսի փոքրացման, մանրացված նյութի ռեակցիոն կարողությունը խիստ աճում է:

Սուլֆիդների մեխանաքիմիական ակտիվացման ուղղությամբ կատարված են բազմաթիվ ուսումնասիրություններ Մալչանովի, Գոլոսովի, Բոլդիրևի և մյուսների կողմից [3-8], սակայն այդ հետազոտությունները կատարվել են LS-16 տիպի պլանետար աղացում, որի մանրացման աստիճանը այնքան էլ մեծ չէ կամ ապահովում է նուրբ մանրացում՝ մեծ տևողությունների հաշվին:

Մեր աշխատանքում օգտագործվել է M-30 տիպի գնդային թրթռաղաց, որում մանրացվող գնդերի ծանրության ուժը փոխարինված է կենտրոնախույս ուժով, ինչը թույլ է տալիս մեծացնելով թմբուկի պտտման արագությունները՝ ինտենսիվացնել մանրացումը: Աղացն ունի երկու պողպատյա թմբուկներ, յուրաքանչյուրը 600 *սմ* ծավալով: Մանրացվող գնդերի զանգվածը յուրաքանչյուր թմբուկում կազմել է 1750 *գ*, իսկ փորձանմուշի զանգվածը՝ 50 *գ*: Մանրացման է ենթարկվել Կապանի ֆլոտացիոն հարստացումից ստացված պղնձային խտանյութը՝ 18,8% Cu, 28,29% Fe և 29% S պարունակությամբ: Մանրացման ենթարկվող խտանյութը մինչև ակտիվացումն ունեցել է 0,15 *սմ* մանրացման աստիճան, որի տեսակարար մակերեսը որոշված է ԲԷՏ-ի մեթոդով և որպես սորբենտ օգտագործելով արգոնը կազմել է 5,1 *մ²/գ*: Մանրացումը տարվել է չոր օդում և ջրային միջավայրում: Մանրացման տևողությունը կազմել է 30, 60, 90 և 120 *րոպե*: Նույն տևողությամբ երկու հակադիր թմբուկներից մեկում կատարվել է չոր մանրացում, մյուսում՝ թաց: Թաց մանրացումը կատարվել է պինդ-հեղուկ 1:1, 1:2; 1:5 և 1:10 հարաբերությունների պայմաններում: Փորձերից հետո ստացվող զանգվածը ֆիլտրվել է Բյուխների ձագարով: Ֆիլտրատի ծավալը բերվել է որոշակի ծավալի (200...300 *սմ*) և քանակապես որոշվել պղնձի և երկաթի զանգվածը լուծույթում՝ ինչպես ատոմաադսորբցիոն, այնպես էլ ֆոտոկոլորիոմետրիկ եղանակներով:

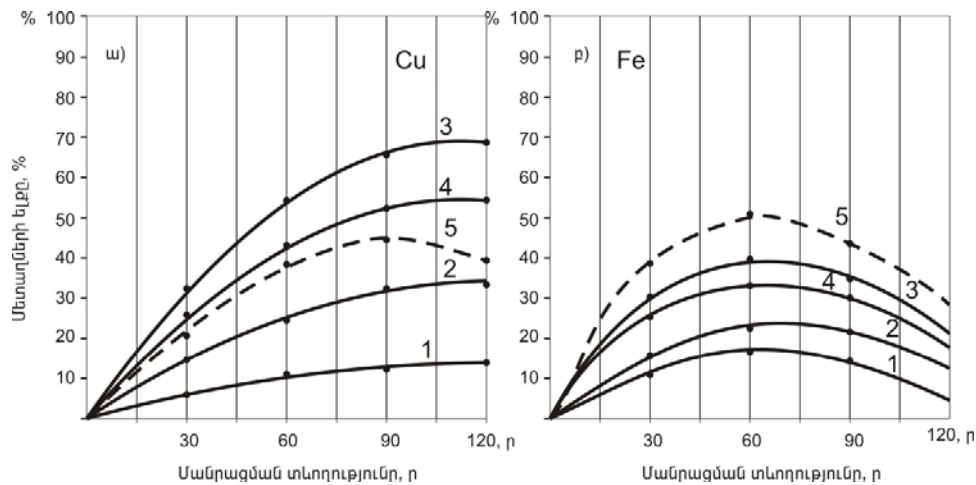
Պինդ զանգվածը նախապես քիմիական վերլուծության է ենթարկվել երեք թթուներում (HCl, HNO₃ և H₂SO₄) հաջորդաբար լուծելով: Լուծելուց հետո ծավալը բերվել է 200 *մլ*-ի և որոշվել երկաթի պարունակությունը տրիլոնմետրային, իսկ պղնձինը՝ յոդոմետրային եղանակներով [5]:

Չոր մանրացման դեպքում ստացված փորձանմուշը լվացվել է 50 *սմ* ջրում՝ պինդ- հեղուկ 1:1 հարաբերության պայմաններում: Լվացող ջրերի զանգվածը կազմել է 200 *սմ*: Քիմիական վերլուծությունը կատարվել է նույն ձևով: Բոլոր փորձերից հետո որոշվել է լուծույթի PH-ը և SO₄²⁻ իոնի առկայությունը: Լուծույթների PH-ը ընկած էր 8...9-ի սահմաններում: Մետաղների կորզման աստիճանը որոշվել է վերջիններիս լուծույթ անցած քանակության և խտանյութում մետաղի ընդհանուր պարունակության հարաբերությամբ:

Մեր նախորդ աշխատանքներում ցույց էր տրվել, որ պղնձային խտանյութերի մեխանաքիմիական ակտիվացման ժամանակ չոր օդում և ջրում ստացվում են պղնձի և երկաթի հիդրոսուլֆատներ և սուլֆատներ, իսկ երկաթի դեպքում՝ նաև օքսիդներ (Fe₂O₃ և Fe₃O₄): Այդ ուսումնասիրությունների արդյունքները հաստատվել են ռենտգենաֆազ վերլուծության եղանակով:

Կատարվել են փորձարարական հետազոտություններ՝ ստացված արգասիքների քանակական օրինաչափությունները պարզելու նպատակով:

Փորձերի արդյունքները ներկայացված են նկարում, որտեղ պատկերված են պղնձային խտանյութի մեխանաքիմիական ակտիվացման արդյունքները՝ կախված մանրացման աստիճանից և պինդ-հեղուկ հարաբերությունից:



Նկ. Պղնձի (ա) և երկաթի (բ) էլքերը՝ կախված պղնձային խտանյութի մեխանաքիմիական մշակման տևողությունից, պինդ - հեղուկ հետևյալ հարաբերությունների դեպքում

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. $\text{Պ:Հ} = 1:1$ | 2. $\text{Պ:Հ} = 1:2$ |
| 3. $\text{Պ:Հ} = 1:5$ | 4. $\text{Պ:Հ} = 1:10$ |
| 5. Չոր մանրացում | |

Ինչպես ցույց են տալիս արդյունքները, պղնձի և երկաթի լուծելիությունը ջրում ուղղակիորեն կախված է խտանյութի մանրացման աստիճանից. այն մեծացնելիս մետաղների էլքը մեծանում է: Հատկապես մեծ է պղնձի էլքը. 90 րոպե մանրացնելիս այն հասնում է 75%-ի: Երկաթի դեպքում էլքը համեմատաբար ցածր է: Դա բացատրվում է նրանով, որ ինչպես ռենտգենաֆազ վերլուծության տվյալներն էին հաստատում, երկաթի դեպքում առաջանում են նաև օքսիդներ, հատկապես մագնետիտ, որը ջրում չի լուծվում: Այսինքն՝ երկաթի իրական ակտիվացումը կարող է ավելի մեծ լինել: Ըստ երևույթին, մանրացման տևողությունը մեծացնելիս մագնետիտի քանակը աճում է, ինչը հանգեցնում է էլքի նվազման: Նման պայմաններում երկաթի առավելագույն էլքը 60 ր մանրացնելիս հասնում է 42 %-ի:

Երկու դեպքերում էլ առավելագույն արդյունքներն ստացվում են պինդ:հեղուկ = 1:5 հարաբերության պայմաններում: Պինդ:հեղուկ = 1:1 հարաբերությունում մետաղների էլքը նվազագույն է և չի անցնում պղնձի դեպքում 10 և երկաթի դեպքում 15%-ից: Ելքը նվազում է նաև պինդ: հեղուկ = 1:10 հարաբերության պայմաններում: Չոր մանրացման դեպքում նույնպես մետաղների էլքը աճում է՝ մանրացման տևողության մեծացումից կախված: Պղնձի առավելագույն էլքը նկատվում է 90 ր մանրացումից հետո՝ հասնելով 38%-ի, մինչդեռ երկաթի առավելագույն էլքն այս դեպքում ավելի մեծ է և 60 ր մանրացնելիս կազմում է մոտ 50%:

Այսպիսով՝ փորձարարական ուսումնասիրությունները հաստատում են, որ պղնձային խտանյութի մեխանաքիմիական մշակումից հետո ընթանում են խորը

քիմիական փոխարկումներ և ստացվում են պղնձի և երկաթի հիդրոսուլֆատներ և սուլֆատներ, իսկ երկաթի դեպքում՝ նաև մագնետիտ:

Պղնձային խտանյութերի մեխանաքիմիական ակտիվացման արդյունքում երկաթի և պղնձի լուծվող սուլֆատների ստացումը նոր հնարավորություններ է բացում ինչպես հիդրո-, այնպես էլ պիրոմետալուրգիական գործընթացներում, որը թույլ է տալիս մշակել պղնձային խտանյութի տեխնոլոգիան ոչ ավանդական և ավելի արդյունավետ եղանակներով:

Այս գործընթացը կարելի է կիրառել նաև որպես հարստացման եղանակ: Պղնձային խտանյութը, մեխանաքիմիական ակտիվացումից հետո ենթարկվելով թաց մագնիսական հարստացման, ազատվում է երկաթից և դրանով իսկ բաժրացնում պղնձի զանգվածը խտանյութում:

Պղնձային խտանյութերի ակտիվացումը կարող է նաև ինտենսիվացնել այդ խտանյութերի հետագա ավանդական եղանակներով մետալուրգիական մշակման գործընթացները՝ օքսիդիչ թրծում, վերականգնում և այլն:

Աշխատանքը կատարվել է ՀՊՀՀ «ՔՏ և ԲՀ» դեպարտամենտի տեսական քիմիայի ամբիոնի և Լեռնամետալուրգիա ՓԲԸ լաբորատորիաներում (դասիչ՝ 01.10.27):

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Голосов С.И., Молчанов В.И.** Центробежная планетарная мельница, ее технические возможности и применение в практике геологических исследований // В кн.: Физико-химические изменения минералов в процессе сверхтонкого измельчения. - Новосибирск: Наука, 1966. - С. 5-15.
2. **Свиридов В.В., Браницкий Г.А.** Гетерогенные химические реакции. - Минск, 1961.
3. **Болдырев В.В., Лихий В.И., Обливанцев А.Н.** Кинетика и катализ. - 1978. - N 7. - С. 732.
4. **Молчанов В.И., Юсупов Т.С.** Физические и химические свойства дисперсных минералов. - М.: Недра, 1981. - 201 с.
5. **Файнберг С. Ю., Филиппова Н.А.** Анализ руд цветных металлов. - М.: Гос. научно-техн. изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1963. - 871 с.
6. **Уракаев Ф.Х., Болдырев В.В., Поздняков О.Ф., Регель В.Р.** Кинетика и катализ. - 1977.- N2. - С. 350-358.
7. **Уракаев Ф., Шевченко В., Болдырев В.** // Доклады РАН. - 2001. - Т. 377, N 1. - С. 69-71.
8. **Болдырев В.В., Цыбуля С.В., Черепанова С.В., Крюкова Г.Н., Григорьева Т.Ф., Иванов Е.Ю.** // Докл. РАН. - 1988. - 361, ¹ 6.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 7.11.2005:

В.А. МАРТИРОСЯН, Т.С. АГАМЯН, М.Э. САСУНЦЯН

**РАСТВОРИМОСТЬ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА В ВОДЕ ВСЛЕДСТВИЕ
МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
В ВИБРОМЕЛЬНИЦЕ**

Исследована растворимость медных сульфидных концентратов после механохимической активации в вибромельнице. Экспериментально установлено, что вследствие активации сульфиды меди и железа в медном концентрате подвергаются глубокому химическому изменению, образуя растворимые в воде сульфаты, гидросульфаты, а в случае железа - также магнетит. Это явление необходимо использовать для предварительного обогащения медьсодержащих сульфидных руд и концентратов.

Ключевые слова: механохимия, активация, медный концентрат, измельчение, растворимость, сульфиды меди и железа.

V.H. MARTIROSYAN, T.S. AGHAMYAN, M.E. SASUNTSYAN

**WATER SOLUBILITY OF COPPER CONCENTRATE AFTER THE MECHANO-
CHEMICAL TREATMENT IN VIBRATION MILL**

Water solubility of copper concentrate in vibration mill after the mechano-chemical activation was investigated. Experimentally it was shown that the iron and copper sulphides containing in the concentrate underwent deep chemical interactions with the formation of water-soluble sulphates and hydrosulphates, while iron turns into magnetite thanks to mechanical activation. This process could be used for dressing the copper containing ores.

Keywords: mechano-chemistry, concentrate activation, copper concentrate, concentrate grinding, solubility, copper sulphide, iron sulphide.

Լ.Ե. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Մ.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ,
Գ.Գ. ԱՆՏԱՇՅԱՆ

ՊՂՆՁԱԿՈԼՉԵԴԱՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻՑ ԱՐԺԵՔԱՎՈՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐՁՄԱՆ ՌԱՑԻՈՆԱԼ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄԸ

Հետազոտված և գնահատված է փյուրիտի բարձր պարունակությամբ պղնձակոլչեղանային խտանյութի ռացիոնալ վերամշակման տեխնոլոգիան: Ցույց է տրված, որ խտանյութի ցածրջերմաստիճանային բովման պրոցեսում պղինձն ամբողջությամբ, իսկ երկաթը մասնակիորեն անցնում են սուլֆատային ֆազերի մեջ, որոնցից դրանք հեշտությամբ կարող են կորզվել թույլ ծծմբական թթվի լուծույթով:

Առանցքային բառեր: կոլչեղան, խտանյութ, միներալ, խալկոպիրիտ, մագնեթիտ, տարրալուծում:

ԼՂՀ Դրբոնի հանքավայրում ներկայումս արդյունահանվող հանքաքարի հարստացումից ստացվող խտանյութն ըստ իր քիմիական կազմի (աղյուսակ 1) կարելի է դասել պղնձի շատ բարձր պարունակությամբ ոսկու ելանյութերի շարքին: Այն իր միներալոգիական կազմով (նկ.1, աղյուսակ 2) դասվում է պղնձի կոլչեղանային խմբի հանքանյութերի շարքը, սակայն նրանում շատ բարձր է փյուրիտի (FeS_2) պարունակությունը: Խտանյութը այդ ցուցանիշով 5...7 անգամ գերազանցում է Հայաստանում արտադրվող մյուս պղնձային խտանյութերին (օրինակ՝ Քաջարանի հանքահարստացուցիչ ֆաբրիկայի կողմից թողարկվող խտանյութում FeS_2 - ի պարունակությունն ընդամենը 5 % է):

Աղյուսակ 1

Դրբոնի պղնձային խտանյութի քիմիական կազմը («Էյ-Մի-Փի» ֆիրմայի տվյալներով)

Տարրը	Cu	S	Fe	Zn	Pb	As	Au	Ag	SiO_2	CaO
Պարունակու- թյունը, %	18,52	38,71	30,42	0,45	0,51	0,12	57,98 գ/տ	53,91 գ/տ	8,46	1,50

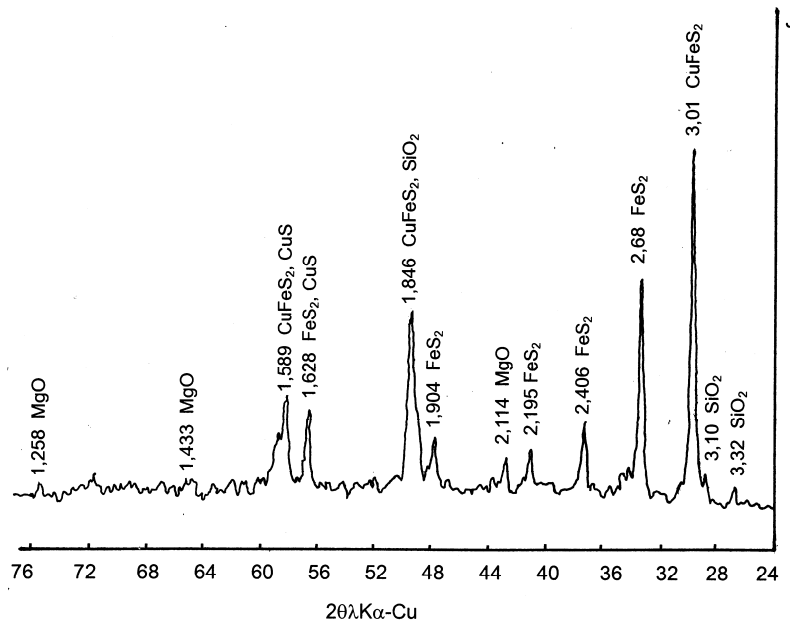
Աղյուսակ 2

Դրբոնի պղնձային խտանյութի միներալոգիական կազմը (%)՝ հաշվարկված ըստ ծծմբի ընդհանուր քանակի և պետրոգրական ու ռենտգենաֆազային վերլուծության տվյալների

CuFeS_2	CuS	FeS_2	ZnS	PbS	Ag_2S_3	SiO_2	$\text{CaO}+\text{MgO}^*$
34,04	10,13	43,12	0,67	0,59	0,20	8,46	1,50

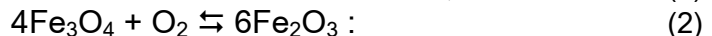
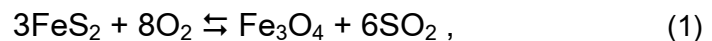
*Ռենտգենազրի վրա բացահայտված են MgO -ին բնորոշ դիֆրակցիոն արտացոլումները:

Ներկայում այս խտանյութը «Էյ-Սի-Փի» ընկերության Ալավերդու պղնձագործարանում պղնձի կորզման ու, միաժամանակ, նրանում ազնիվ մետաղների առավելագույնս կուտակման նպատակով վերամշակվում է «հալում հեղուկ վաննայում» ավանդական տեխնոլոգիայով, բովախառնված Քաջարանի պղնձային խտանյութի և քվարցիտային ֆլյուսի հետ: Ու չնայած հալումից առաջ բովախառնուրդի հմտորեն նախապատրաստմանը, նրանում փյուրիտի բարձր պարունակությունը զգալի խնդիրներ է առաջ բերում արտադրական գործընթացում, այդ թվում՝ կապված հեղուկ վաննայի մուտքի շեմին եռակալված դժվարահալ խարամագանգվածների գոյացման հետ, որոնք պարբերաբար պետք է հեռացվեն՝ վառարանի անխափան աշխատանքն ապահովելու համար:



Նկ.1. Դրմբոնի խտանյութի նմուշի ռենտգենագիրը

Տեսական և փորձարարական վերլուծության տվյալները ցույց են տալիս, որ հալման վաննայի նախաշեմին պինդ գանգվածների կուտակումը պայմանավորված է փյուրիտի (FeS_2) օքսիդացման հետևանքով երկաթի դժվարահալ օքսիդների գոյացման հետ, ըստ հետևյալ ռեակցիաների [1].



Ընդ որում, եթե փյուրիտը վառարանի մուտքի մոտ քայքայվի նույնիսկ պիրոֆիտի (FeS) գոյացումով, ապա վերջինս օդի թթվածնով օքսիդանալով՝ նույնպես կփոխակերպվի դժվարահալ մագնեթիտի [2].



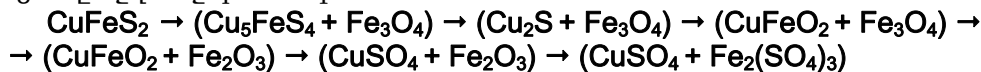
Եվ քանի որ բովախառնուրդի միջոցով վառարան տրվող ֆլյուսը (SiO_2) անկարող է մագնեթիտի կամ հեմաթիտի հետ հեշտահալ խարամներ գոյացնել (ինչպես վյուսթիտի հետ է այն գոյացնում՝ $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ կամ $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), ապա հենց

ծծմբագրված մագնեթիտն է եռակավում ֆլյուսով ու կաշում վաննայի թեք հատակին՝ պինդ զանգվածի տեսքով:

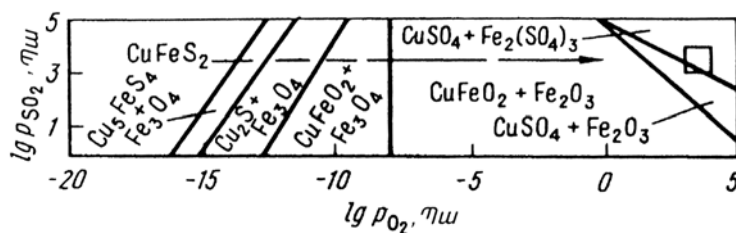
Սակայն խնդիրը միայն մեխանիկական անհարմարությունը չէ: Փյուրիտը զգալի քանակությամբ մանրահատիկ ոսկի է պարփակում իր մասնիկներում, և եթե դրանք չեն միահավում բովախառնուրդի մյուս բաղադրիչներին հեղուկ վաննայում, ապա փյուրիտային ոսկին ու արծաթը ուղղակիորեն կարող են կորչել խարամագոյացման ճանապարհով:

Մյուս կողմից, երկաթի առկայությունը բարձր պարունակությամբ (30 %-ից ավելի), խտանյութը դարձնում է միասնական երկաթ - պղնձային ելանյութ, և առաջ է քաշում պղնձի հետ համընթաց երկաթի կորզման անհրաժեշտությունը, ինչն էլ պայմանավորում է խտանյութի վերամշակման հիդրոմետալուրգիական եղանակի կիրառման անհրաժեշտությունը՝ նախապես այն ենթարկելով սուլֆատացնող բովման:

Օքսիդարար բովման և հիդրոտարբալուծման փորձերը կատարվել են ինչպես գործարանային, այնպես էլ լաբորատոր պայմաններում: Բովման օպտիմալ ջերմաստիճանը ($560 \pm 10^\circ\text{C}$) ընտրված է՝ ելնելով Cu-S-O համակարգի բաժնեձևումային դիագրամից (նկ.2), համաձայն որի, խալկոպիրիտի աստիճանական օքսիդացումը նշված ջերմաստիճանում՝



սխեմայով ավարտվում է պղնձի և երկաթի սուլֆատների գոյացմամբ:

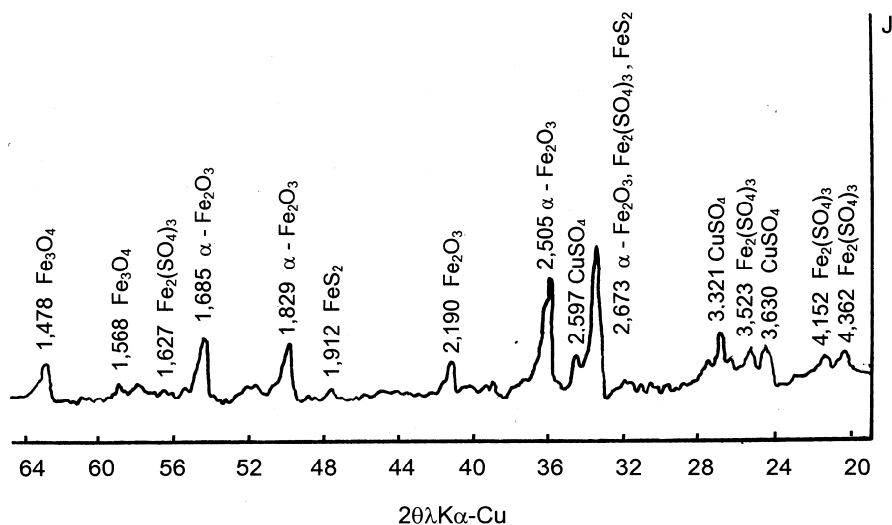


Նկ. 2. Cu-Fe-S-O համակարգի բաժնեձևումային դիագրամը 850 K - ի համար [3]

Նույն այդ ջերմաստիճանում FeS_2 - ը պետք է օքսիդանա (1) ռեակցիայով մինչև Fe_3O_4 , ինչը լիովին համապատասխանում է [4] աշխատությունում կառուցված Fe-S-O համակարգի ծավալային դիագրամին: Ընդ որում՝ <սուլֆիդ - օքսիդ - գազ> համակարգում Fe_3O_4 -ը սկզբնական շրջանում է ձևավորվում, քանի որ երկաթն օքսիդային միացություններ է գոյացնում թթվածնի ավելի ցածր բաժնեձևման պայմաններում, քան պղինձը: Վերջինս կարող է անցնել օքսիդային ֆազ, միայն այն բանից հետո, երբ ավարտված է լինում երկաթի սուլֆիդների փոխակերպումը օքսիդների [3]:

Ցածրջերմաստիճանային բովման մյուս առավելությունը կայանում է նրանում, որ այդպիսի պայմաններում գրեթե ամբողջովին բացառվում է պինդ ֆազային հայտնի ռեակցիայով ($\text{CuO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{CuFe}_2\text{O}_4$) պղնձի ֆերիտի գոյացումը, որն օժտված չլինելով ծծմբական թթվի ջրային լուծույթում բավարար լուծելիությամբ, կարող է պատճառ հանդիսանալ պղնձի, ինչպես նաև երկաթի զգալի կորուստների, կամ էլ բարդացնել տարբալուծման տեխնոլոգիան:

Հետազոտվող խտանյութի՝ մոտ 6 ժամ տևողությամբ թեթևակի օդամղման պայմաններում, 560°C ջերմաստիճանում բովման պրոցեսի պինդ արգասիքում, ըստ ռենտգենաֆազային վերլուծության ($\text{DPOH} - 2,0$, $\text{Cu} - \text{K}_{\alpha}$ - ճառագայթում) տվյալների, գործնականորեն բացակայում են սուլֆիդային ֆազերը: Նկ.3-ում բերված ռենտգենագրամի վրա հստակորեն առանձնանում է CuSO_4 սուլֆատային ֆազի բնորոշ դիֆրակցիոն գծերի եռյակը՝ $3,630 \text{ \AA}$, $3,321 \text{ \AA}$ և $2,597 \text{ \AA}$ միջհարթությունային հեռավորություններով, որը փաստորեն միակն է պղնձի խմբի հնարավոր միացությունների շարքից: Դրանցից ամենահավանական օքսիդի CuO -ի (որպես $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{CuO} + \text{SO}_3$ ռեակցիայի արգասիքի) բնորոշ դիֆրակցիոն արտացոլումներից ոչ մեկը չի երևակված: Եթե նույնիսկ ինչ-որ չափով այն հանդես գա բովվածքում, ապա հոգ չէ, որովհետև նույնպես կտարրալուծվի ծծմբական թթվի թույլ լուծույթում, և նրանից դժվար չէ պղինձը կորզել:



Նկ.3. Բովվածքի ռենտգենագիրը

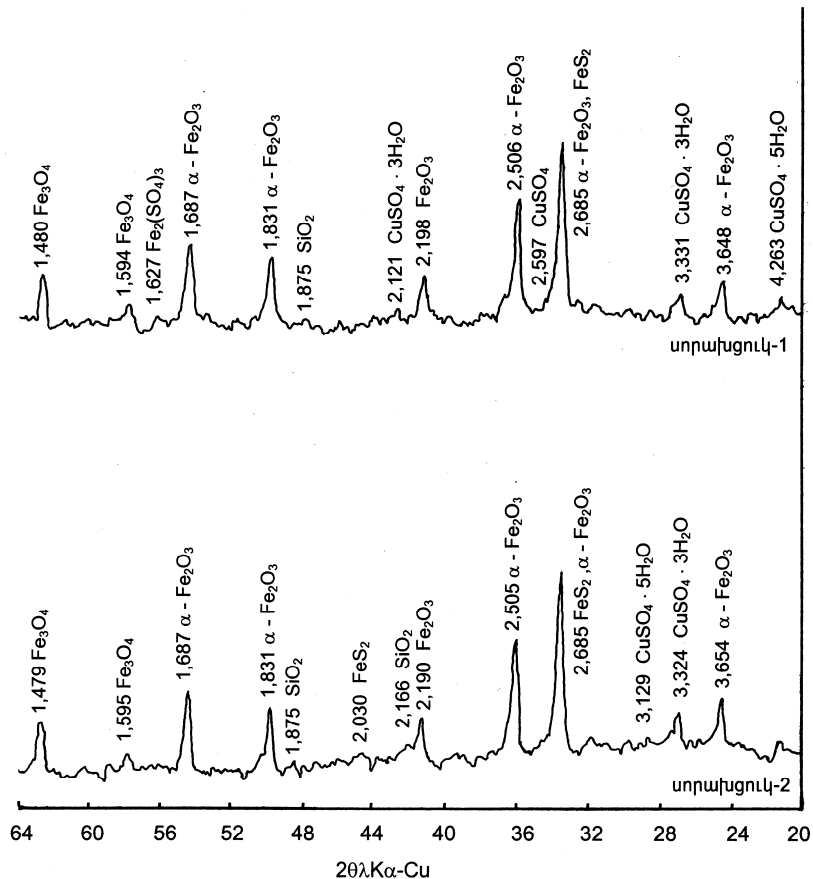
Երկաթը բովվածքում ներկայացված է երեք ինքնուրույն ֆազերով՝ $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ($d_{\alpha} = 2,673 \text{ \AA}$, $2,505 \text{ \AA}$, $2,190 \text{ \AA}$, $1,829 \text{ \AA}$, $1,685 \text{ \AA}$), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ($d_{\alpha} = 4,362 \text{ \AA}$, $4,152 \text{ \AA}$, $3,523 \text{ \AA}$, $2,673 \text{ \AA}$), ինչպես նաև մնացորդային Fe_3O_4 ($d_{\alpha} = 1,568 \text{ \AA}$, $1,478 \text{ \AA}$): Դրանցից $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ - ը և Fe_3O_4 - ը փյուրիտի օքսիդացման արգասիքներն են: Երկաթի եռավալենտ սուլֆատի առկայությունը բովվածքում, ակներևաբար, հետևանք է խալկոպիրիտի աստիճանական քայքայման և միջանկյալ արգասիքների օքսիդացման (CuSO_4 -ի ուղեկցությամբ): Բովվածքի ռենտգենագրի վրա երևում են նաև շատ թույլ ինտենսիվությամբ մնացորդային FeS_2 -ը ներկայացնող գծերը: Մնացած բաղադրիչների սակավության պատճառով դրանց դիֆրակցիոն արտացոլումները անտեսանելի են:

Բովման գործընթացում փյուրիտը կրում է ոչ միայն ֆազային փոխակերպումներ: FeS_2 -ի քայքայման հետևանքով անջատված ծծմբի գոլորշիները, դուրս գալով նրա հատիկների խորքից դեպի մակերես, առաջ են

բերում 1...10 մկմ տրամագծով տարանցիկ ծակոտիների համակարգեր, որոնք լավագույն նախադրյալ են հետագա ցիանիդային տարրալուծման գործընթացում ազնիվ մետաղների արդյունավետ կորզման համար:

Բովվածքի թթվային տարրալուծումն իրականացվել է H_2SO_4 -ի 8 % -անոց ջրային լուծույթում, անընդհատ խառնումով, 70°C ջերմաստիճանում: Տարրալուծման աստիճանը որակապես գնահատվել է սորախցուկների ռենտգենաֆազային վերլուծության տվյալներով:

Նկ.4-ում բերված ռենտգենագրերից պարզ երևում է, որ թթվային պրոցեսում տարրալուծվում են միայն սուլֆատային ֆազերը: Այդ մասին է վկայում



Նկ. 4. Սորախցուկ-1 և սորախցուկ-2 ռենտգենագրերը

CuSO_4 -ի և $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ -ի բնորոշ դիֆրակցիոն արտացոլումների աստիճանական փոքրացումը կամ անհետացումը սորախցուկ-1-ի (տարրալուծման տևողությունը 6 ժամ) և սորախցուկ-2-ի (2 անգամ 6 ժամ) ռենտգենագրերում: Երկաթի օքսիդների, ինչպես նաև փյուրիտի դիֆրակցիոն արտացոլումները մնում են անփոփոխ տարրալուծման գործընթացներում:

Diagram illustrating the technological process for the extraction of gold from copper-bearing ores:

```
graph TD
    A[Cu - Fe  
խտանյութ] --> B[Սուլֆատարար  
բովում]
    B -- "Գազեր → մաքրում, օգտագործում" --> C[Թթվային  
տարրալուծում]
    B -- "Բուլվածք" --> C
    C -- "Cu+Fe  
Լուծույթ" --> D[Fe նստեցում]
    D -- "Դեպի Fe-ի կորզում" --> E[Դեպի Fe-ի կորզում]
    D -- "Cu-լուծույթ" --> F[Էլեկտրակորզում]
    F -- "Լուծույթ" --> C
    F --> G[Կաթոդային  
պղինձ]
    C -- "Սորախցուկ  
(Fe, Au, Ag)" --> H[Վերամանրացում]
    H -- "Ջուր" --> I[Էլեկտրակորզում]
    H -- "Ջուր" --> J[Էլյուացում]
    H -- "NaCN+NaOH" --> K[Ցիանիդային  
տարրալուծում]
    K -- "Խյուս" --> H
    K --> L[Ածխային  
ադսորբում]
    L -- "Ոսկեբեռնված ածուխ" --> J
    L --> M[Տիղմի քանում]
    M -- "Հեղուկ" --> N[Դեպի ցիկլ]
    M -- "Պինդ" --> O[Դեպի Fe-ի կորզում]
    I --> J
    I --> P[Դորե-համաձուլվածք]
    J --> Q[Դեպի վերա-  
ակտիվացում]
```

The process involves several stages: initial leaching and purification, acid leaching, iron precipitation, cyanide leaching, and final refining through electrorefining and smelting to produce doré.

Որպես օպտիմալ տեխնոլոգիական ռեժիմ է ընտրված՝

- 78

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Coleman, R.B.** Roasting of refractory gold ores and concentrates // In: Proc. of Gold Symp., AIME.- 1990. - P. 381-388.
2. **Mardsen J. and House I.** The Chemistry of Gold Extraction. Ellis Horwood Limited, Chichester, England, 1992.- 597 p.
3. **Пашинкин А.С., Спивак М.М., Малкова А.С.** Применение диаграмм парциальных давлений в металлургии. - М.: Металлургия, 1984.-160 с.
4. **Ingram T.R.** Application of Fundamental Thermodynamics to Metallurgical Processes / Ed. G.R. Fitterer. Gordon and Breach, 1967.- P. 179-196.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 30.03.2006.

Լ.Է. ՏԱՐԳՏՅԱՆ, Ա.Մ. ՕԳԱՆԵՏՅԱՆ, Մ.Վ. ՄԱՐՏԻՐՕՏՅԱՆ, Դ.Դ. ԱՆՏԱՇՅԱՆ

ОЦЕНКА И ИСПЫТАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МЕДНО-КОЛЧЕДАНОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Исследована и дана оценка рациональной технологии переработки золото-медно-колчеданового концентрата с высоким содержанием пирита. Показано, что путем низкотемпературного обжига медь целиком, а железо частично переходят в сульфатные фазы, из которых они легко извлекаются слабым сернокислотным раствором.

Ключевые слова: колчедан, концентрат, минерал, халькопирит, магнетит, выщелачивание.

**L.YE. SARGSYAN, A.M. HOVHANNISYAN, M.V. MARTIROSYAN,
G.G. ANTASHYAN**

EVALUATION AND TESTING OF THE RACIONAL TECHNOLOGY OF VALUABLE METAL RECOVERY FROM COPPER- PIRITE CONCENTRATE

The racional treatment technology for gold-copper-pirite concentrate with high content of pirite is investigated and evaluated. It is shown that copper commonly and iron partially are transferred into sulphate phases from which they can easily recover by weak acid solution.

Keywords: pirite, concentrate, mineral, chalcopiryt, magnetite, leaching.

Ա.Գ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ

ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԵՎ ՌԵՆԻՈՒՄԻ ՍՈՒԼՖԻԴՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՔԵՄԻԱԿԱՆ
ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ

Ուսումնասիրված են մոլիբդենային խտանյութի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման օրինաչափությունները: Ցույց է տրված սուլֆիդային միներալների շերտային քայքայումը և մոլիբդենի ու ռենիումի օքսիդացումը մոլիբդատ և ռենիումատ իոնների գոյացմամբ:

Առանցքային բառեր. խտանյութ, սուլֆիդ, տարրալուծում, էլեկտրաօքսիդացում, հիպոքլորիտ-իոն, մոլիբդատ, ռենատ:

Ինչպես արդեն ցույց է տրվել [1], սուլֆիդային խտանյութի էլեկտրաքիմիա-կան վերամշակման միջոցով հնարավոր է օքսիդացնել մոլիբդենն ու ռենիումը՝ MoO_4^{2-} և ReO_4^- իոնների տեսքով:

Հետազոտության նպատակը կերակրի աղի (հազեցած) և կաուստիկ սոդայի ջրային լուծույթում ($\text{pH} = 7 \dots 8$) ռենիումի բարձր պարունակությամբ մոլիբդենային խտանյութի ($\sim 50\% \text{ Mo}$, $\sim 400 \text{ գ/տ Re}$) էլեկտրաքիմիական տարրալուծման գործ-ընթացի կինետիկական պարամետրերի բացահայտումն է և սուլֆիդային միներալ-ների օքսիդացման մեխանիզմի գնահատումը:

Փորձերն իրականացվել են գրաֆիտե հարթ զուգահեռ էլեկտրոդներով ապակեպատ վաննայում՝ կաթոդի և անոդի աշխատանքային մակերեսների միջև 8 մմ հեռավորությամբ: Ելային էլեկտրոլիտը պատրաստվել է 25°C ջերմաստիճանում թորած ջրում NaCl - ը լուծելով մինչև հազեցումը: Կաուստիկ սոդայի հավելումը կատարվել է լուծույթի ջրածնային ցուցիչը հասցնելով մինչև 8,0:

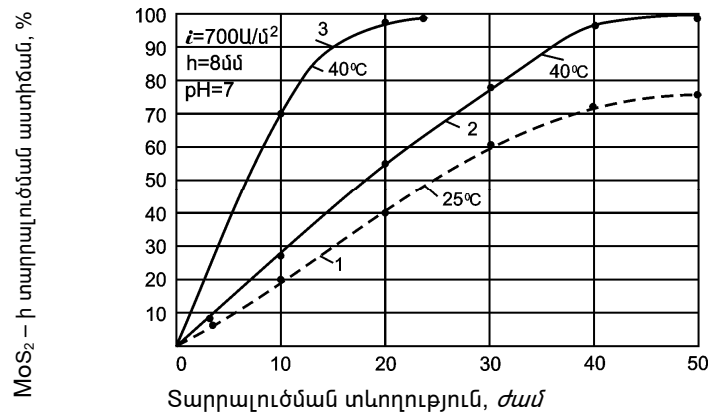
Գործընթացի ընթացքում խլուսի (էլեկտրոլիտ + խտանյութ) pH - ի արժեքը $7 \dots 8$ սահմաններում [2] պահելու համար նրանում պարբերաբար ավելացվել է NaOH - ի լրացուցիչ կշռաբաժին: Էլեկտրոլիտի ջերմաստիճանը կարգավորվել է ջրային հովացման համակարգի օգնությամբ: Հոսանքի խտությունը վաննայում կարգավորվել է $\sim 700 \text{ Ա/մ}^2$ սահմանում:

Տարրալուծվող խտանյութի կշռաբաժնի յուրաքանչյուր 5 - ժամյա էլեկտրո-լիզից հետո այն քանումով առանձնացվել է լուծույթից, լվացվել, չորացվել և ենթարկվել հատիկաչափական վերլուծության, մասնիկների ձևի ու չափերի ուսումնասիրության: Խտանյութի տարրալուծման աստիճանն ըստ մոլիբդենի որոշվել է լուծույթի կոնցենտրացիայի վերլուծությամբ՝ ատոմաաբսորբցիոն մեթոդով, AA 240 FS սարքի օգնությամբ:

Գրաֆիկներից (նկ. 1 և 2) երևում է, որ տարրալուծման գործընթացն ամբողջությամբ կինետիկական բնույթի է: Այն չունի խմորումային շրջան, ինչը հատուկ է պիրոմետալուրգիական օքսիդացման գործընթացներին: Միներալի մասնիկների էլեկտրաքիմիական տարրալուծումն սկսվում է անմիջապես մեծ արագությամբ, որն աստիճանաբար նվազում է՝ ռեակցիոն մակերևույթի փոքրացմանը զուգընթաց: Այդ մասին են վկայում սուլֆիդային մասնիկների մանրացումը և մակերեսային ելուստների անընդհատ պակասումը տարրալուծման ընթացքում:

Ջերմաստիճանի բարձրացումը նպաստում է գործընթացի արագացմանը, ինչը բացատրվում է էլեկտրոլիտի ծավալում իոնային դիֆուզիայի ինտենսիվացումով:

Միատեսակ պայմաններում սողայաջրով նախօրոք լվացված խտանյութը մոտ երկու անգամ ավելի արագ է տարրալուծվում, քան չլվացվածը: Դա բացատրվում է վերջինիս մասնիկների մակերևույթին զգալի քանակությամբ ֆլոտացիոն ագղանյութերի մնացորդի առկայությամբ, որը պետք է հեռացվի մինչև խյուսի պատրաստումը:



Նկ. 1. Մոլիբդենային խտանյութի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման աստիճանի կախումը գործընթացի տևողությունից 1, 2 – չլվացված խտանյութի կշռաբաժնով, 3 – տաք սողայաջրով լվացված կշռաբաժնով

Այսպիսով, խտանյութի սուլֆիդային միներալների էլեկտրաքիմիական քայքայման և մոլիբդենի ու ռենիումի օքսիդացման մեխանիզմը կարելի է նկարագրել հետևյալ ձևով:

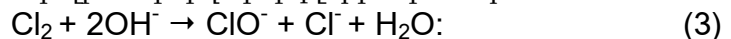
Հաստատուն հոսանքի ազդեցությամբ NaCl - ի ջրային լուծույթում (Na^+ , Cl^- , H_2O) տեղի ունեցող անոդային՝



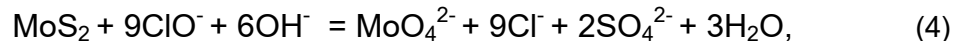
և կաթոդային՝



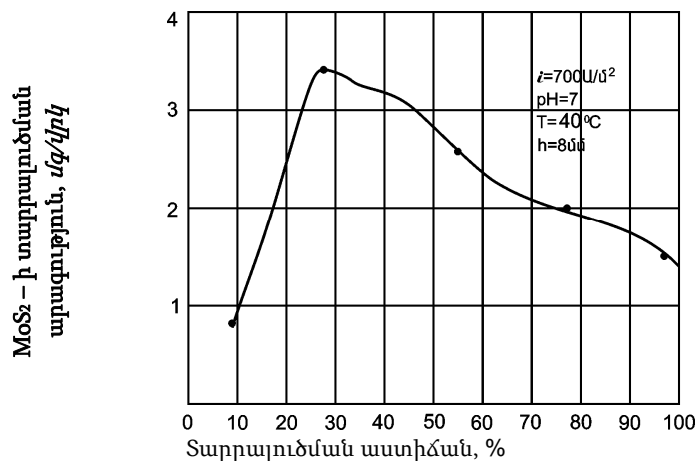
ռեակցիաների հետևանքով գոյացած քլոր-գազի և հիդրօքսիլ-իոնների փոխազդեցության շնորհիվ լուծույթի ծավալում առաջ են գալիս ակտիվ հիպոքլորիտ-իոններ՝



Այդպիսի պայմաններում սուլֆիդների տարրալուծումն առավել հավանականորեն ընթանում է քիմիական իոնափոխանակման ռեակցիաներով՝ պինդ/հեղուկ ֆազային սահմանագծում, որոնց արդյունքում էլեկտրոլիտը հագնում է մոլիբդատ և ռենիումատ իոններով՝



Ակնհայտ է, որ վաննայից հեռացվող լուծույթում մոլիբդենը և ռենիումը գտնվում են NaMoO_4 և NaReO_4 լուծված աղերի տեսքով, որոնք հեշտությամբ կարող են անջատվել լուծույթի բյուրեղացման միջոցով:



Նկ. 2. Մոլիբդենային խտանյութի տարրալուծման արագության կախումը սուլֆիդների օքսիդացման աստիճանից

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Սարգսյան Լ., Մարտիրոսյան Մ., Մինասյան Ա., Հովհաննիսյան Ա. Մոլիբդենի և ռենիումի անոդային օքսիդացումը սուլֆիդային խտանյութի կիսալուծիկի էլեկտրոլիզով // ՀՊՃՀ-ի տար.գիտաժողով: Նյութերի ժողովածու.-Երևան, 2004.- Հ.2. - էջ 632 - 633:
2. **Scheiner B. J.** and others. Extraction and Recovery of Molybdenum and Rhenium from Molibden Concentrates by Electrooxidation: Proces Demonstration- Report of Investigations U.S. Dept. of the Interior Bureaus of Mines, Washington, 1976.-N8145.- P.12.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.03.2006:

Ա.Գ. МИНАСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ СУЛЬФИДОВ МОЛИБДЕНА И РЕНИЯ

Исследованы закономерности электрохимического выщелачивания молибденового концентрата. Показано послойное разложение сульфидных минералов и окисление Mo и Re с образованием молибдат- и ренат- ионов.

Ключевые слова: концентрат, сульфид, выщелачивание, электроокисление, молибдат, ренат.

A.G. MINASYAN

INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL LEACHING PROCESS OF THE MOLYBDENUM AND RHENIUM SULPHIDES

The electrochemical leaching process of molybdenum concentrate has been investigated. The character of sulphide minerals decomposition to form molybdat and rhenat ions is shown.

Keywords: concentrate, sulphide, leaching, electrooxidation, molybdat, rhenat.

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.Р. БАДАЛЯН, С.Э. ГРИГОРЯН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОПУСТИМОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ

Предлагается новая “Y-Z” математическая модель допустимого установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС), когда независимые станционные узлы одновременно могут быть типа P-Q и P-U, и ее реализация методом первого порядка Ньютона.

Ключевые слова: математическая модель, система, режим, матрица, узел, мощность, рекуррентное выражение, допустимый режим.

Известно множество математических моделей допустимого установившегося режима ЭЭС, в основу которых положены Y, Z и Y-Z формы нелинейных алгебраических уравнений [1-11]. В этих моделях рассматривались случаи, когда независимые станционные узлы могут быть либо типа P-Q, либо типа P-U. В последнее время рассматривались также случаи, когда независимые станционные узлы одновременно могут быть как типа P-Q, так и типа P-U [9, 11]. В этих работах для построения соответствующей математической модели были использованы Y формы уравнения установившихся режимов. Математическая модель допустимого установившегося режима в [5, 7] основывается на Y-Z форме уравнения установившегося режима, однако при P-Q типе независимых станционных узлов.

В настоящей работе предлагается новая математическая модель допустимого установившегося режима ЭЭС, основанная на Y-Z формах уравнений установившегося режима при P-Q и P-U типах станционных узлов.

Для построения “Y-Z; P-Q; P-U” математической модели допустимого установившегося режима ЭЭС принимается следующая система индексов: $m(n) = 0, 1, 2, \dots, \tilde{A}_1$, где $\tilde{A}_1$ - число независимых станционных узлов типа P-Q, относительно которых в качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности, причем станционный узел с индексом “0” выбирается в качестве базисного и балансирующего; $k(\ell) = \tilde{A}_1 + 1, \tilde{A}_1 + 2, \dots, \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2$, где $\tilde{A}_2$ - число независимых станционных узлов типа P-U, относительно которых в качестве исходной информации задаются активные мощности и модули комплексных напряжений; $i(j) = \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 + 1, \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 + 2, \dots, \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 + N$, где N - число нагрузочных узлов типа P-Q, относительно которых в качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности.

Согласно выбранной системе индексов, исходное матричное уравнение состояния для построения математической модели допустимого установившегося режима ЭЭС представляется в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_m \\ \dot{\mathbf{I}}_k \\ \dot{\mathbf{U}}_{i0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{m,n} & \mathbf{Y}_{m,\ell} & \dot{\mathbf{A}}_{m,j} \\ \mathbf{Y}_{k,n} & \mathbf{Y}_{k,\ell} & \dot{\mathbf{A}}_{k,j} \\ \dot{\mathbf{B}}_{i,n} & \dot{\mathbf{B}}_{i,\ell} & \mathbf{Z}_{i,j} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{n0} \\ \dot{\mathbf{U}}_{\ell 0} \\ \dot{\mathbf{I}}_j \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\mathbf{Y}_{m,n}$, $\mathbf{Y}_{k,\ell}$ - соответственно неособенные квадратные матрицы собственных и взаимных комплексных проводимостей станционных узлов типа P-Q и P-U; $\mathbf{Z}_{i,j}$ - неособенная квадратная матрица собственных и взаимных комплексных сопротивлений нагрузочных узлов типа P-Q; $\mathbf{Y}_{m,\ell}$, $\mathbf{Y}_{k,n}$ - прямоугольные матрицы взаимных комплексных проводимостей между станционными узлами типа P-Q и P-U; $\dot{\mathbf{A}}_{m,j}$, $\dot{\mathbf{A}}_{k,j}$, $\dot{\mathbf{B}}_{i,n}$, $\dot{\mathbf{B}}_{i,\ell}$ - прямоугольные матрицы, элементы которых являются безразмерными комплексными величинами.

На основе матричного уравнения состояния (1) строится "Y-Z; P-Q; P-U" математическая модель допустимого установившегося режима ЭЭС, имеющая вид

$$\begin{bmatrix} \Phi_{pm}(\mathbf{U}_n, \Psi_{un}; \mathbf{U}_\ell, \Psi_{u\ell}), \\ \Phi_{qm}(\mathbf{U}_n, \Psi_{un}; \mathbf{U}_\ell, \Psi_{u\ell}), \\ \Phi_{pk}(\mathbf{U}_n, \Psi_{un}; \mathbf{U}_\ell, \Psi_{u\ell}), \\ \Phi_{qk}(\mathbf{U}_n, \Psi_{un}; \mathbf{U}_\ell, \Psi_{u\ell}); \\ \hline \Phi_{pi}(\mathbf{I}'_j, \mathbf{I}''_j), \\ \Phi_{qi}(\mathbf{I}'_j, \mathbf{I}''_j); \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_{m,\min} &\leq \mathbf{U}_m \leq \mathbf{U}_{m,\max}, \\ \mathbf{Q}_{m,\min} &\leq \mathbf{Q}_m \leq \mathbf{Q}_{m,\max}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_{k,\min} &\leq \mathbf{U}_k \leq \mathbf{U}_{k,\max}, \\ \mathbf{Q}_{k,\min} &\leq \mathbf{Q}_k \leq \mathbf{Q}_{k,\max}, \end{aligned} \quad (4)$$

где ограничения типа неравенств (3) налагаются на станционные узлы типа P-Q с индексами $m(n)$, а ограничения типа неравенства (4) – на станционные узлы типа P-U с индексами $k(\ell)$.

Системы нелинейных алгебраических уравнений, являющиеся основой в математической модели допустимого установившегося режима ЭЭС, определяются в виде - для независимых стационарных узлов типа P-Q с индексами $m(n)$:

$$\Phi_{pm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = P_m - \left\{ P_{Am} + U_m \sum_{n=1}^{\tilde{A}_1} [g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n + U_m \sum_{\ell=\tilde{A}_1+1}^{\tilde{A}} [g_{m,\ell} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell}) + b_{m,\ell} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell})] U_\ell \right\}, \quad (5)$$

$$\Phi_{qm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = Q_m - \left\{ Q_{Am} + U_m \sum_{n=1}^{\tilde{A}_1} [g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n + U_m \sum_{\ell=\tilde{A}_1+1}^{\tilde{A}} [g_{m,\ell} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell}) - b_{m,\ell} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell})] U_\ell \right\}; \quad (6)$$

- для независимых стационарных узлов типа P-U с индексом $k(\ell)$:

$$\Phi_{pk}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = P_k - \left\{ P_{Ak} + U_k \sum_{n=1}^{\tilde{A}_1} [g_{k,n} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) + b_{k,n} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] U_n + U_k \sum_{\ell=\tilde{A}_1+1}^{\tilde{A}} [g_{k,\ell} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) + b_{k,\ell} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell})] U_\ell \right\}, \quad (7)$$

$$\Phi_{qk}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = Q_k - \left\{ Q_{Ak} + U_k \sum_{n=1}^{\tilde{A}_1} [g_{k,n} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) - b_{k,n} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] U_n + U_k \sum_{\ell=\tilde{A}_1+1}^{\tilde{A}} [g_{k,\ell} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) - b_{k,\ell} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell})] U_\ell \right\}; \quad (8)$$

- для нагрузочных узлов типа P-Q с индексом $i(j)$:

$$\Phi_{pi}(I'_j, I''_j) = P_i - \left\{ P_{Ai} + \sum_{j=\tilde{A}+1}^M [R_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) + X_{i,j} (I'_i I''_j - I''_i I'_j)] \right\}, \quad (9)$$

$$\Phi_{qi}(I'_j, I''_j) = Q_i - \left\{ Q_{Ai} + \sum_{j=\tilde{A}+1}^M [X_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) - R_{i,j} (I'_i I''_j - I''_i I'_j)] \right\}. \quad (10)$$

В (5)-(10) приняты следующие обозначения:

$$P_{Am} = - \sum_{t=1}^{\tilde{A}} (g_{m,t} \cos \Psi_{um} + b_{m,t} \sin \Psi_{um}) U_m U_0 + \sum_{j=\tilde{A}+1}^i (a_{m,j} \cos \Psi_{um} + b_{m,j} \sin \Psi_{um}), \quad (11)$$

$$P_{Ak} = - \sum_{t=1}^{\tilde{A}} (g_{k,t} \cos \Psi_{uk} + b_{k,t} \sin \Psi_{uk}) U_k U_0 + \sum_{j=\tilde{A}+1}^i (a_{k,j} \cos \Psi_{uk} + b_{k,j} \sin \Psi_{uk}), \quad (12)$$

$$Q_{\dot{A}m} = -\sum_{t=1}^{\bar{A}} (g_{m,t} \sin \Psi_{um} - b_{m,t} \cos \Psi_{um}) U_m U_0 + \sum_{j=\bar{A}+1}^i (a_{m,j} \sin \Psi_{um} - b_{m,j} \cos \Psi_{um}), \quad (13)$$

$$Q_{\dot{A}k} = -\sum_{t=1}^{\bar{A}} (g_{k,t} \sin \Psi_{uk} - b_{k,t} \cos \Psi_{uk}) U_k U_0 + \sum_{j=\bar{A}+1}^i (a_{k,j} \sin \Psi_{uk} - b_{k,j} \cos \Psi_{uk}), \quad (14)$$

$$P_{\dot{A}i} = I' U_0 - \sum_{t=1}^{\bar{A}} c_{i,t} U_0 + \sum_{t=1}^{\bar{A}} (c_{i,t} \cos \Psi_{ut} - d_{i,t} \sin \Psi_{u,t}) U_t, \quad (15)$$

$$Q_{\dot{A}i} = -I'' U_0 - \sum_{t=1}^{\bar{A}} d_{i,t} U_0 + \sum_{t=1}^{\bar{A}} (d_{i,t} \cos \Psi_{ut} + c_{i,t} \sin \Psi_{u,t}) U_t, \quad (16)$$

где

$$a_{m,j} = A'_{m,j} I'_j - A''_{m,j} I''_j, \quad (17)$$

$$b_{m,j} = A'_{m,j} I''_j + A''_{m,j} I'_j, \quad (18)$$

$$c_{i,t} = B'_{i,t} I' + B''_{i,t} I'', \quad (19)$$

$$d_{i,t} = B''_{i,t} I' - B'_{i,t} I''. \quad (20)$$

Для получения общего рекуррентного выражения реализации математической модели установившегося режима ЭЭС предполагается, что все независимые узлы являются узлами типа P-Q. При этом получим

$$\begin{bmatrix} \frac{\Psi_{um}}{U_m} \\ \frac{\Psi_{uk}}{U_k} \\ \frac{I'_i}{I''_i} \end{bmatrix}^{\dot{E}+1} = \begin{bmatrix} \frac{\Psi_{um}}{U_m} \\ \frac{\Psi_{uk}}{U_k} \\ \frac{I'_i}{I''_i} \end{bmatrix}^{\dot{E}} - \begin{bmatrix} \frac{\Delta \Psi_{um}}{\Delta U_m} \\ \frac{\Delta \Psi_{uk}}{\Delta U_k} \\ \frac{\Delta I'_i}{\Delta I''_i} \end{bmatrix}, \quad (21)$$

где И – номер итерации.

Элементы $\Delta \Psi_{um}, \Delta U_m; \Delta \Psi_{uk}, \Delta U_k; I'_i, I''_i$ определяются на основе следующего матричного выражения:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \hline \Delta Q_m \\ \hline \Delta P_k \\ \hline \Delta Q_k \\ \hline \Delta P_i \\ \hline \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} \\ \hline \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell} \\ \hline \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell} \\ \hline \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{un}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{u\ell}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\ell} \\ \hline & & & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I'_j} & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I''_j} \\ & & & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I'_j} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I''_j} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{um} \\ \hline \Delta U_m \\ \hline \Delta \Psi_{uk} \\ \hline \Delta U_k \\ \hline \Delta I'_i \\ \hline \Delta I''_i \end{bmatrix}. \quad (22)$$

Аналитические выражения частных производных, входящих в (22), подробно приводятся в [4]. Приращения узловых режимных параметров $\Delta P_m, \Delta Q_m; \Delta P_k, \Delta Q_k; \Delta P_i, \Delta Q_i$, входящие в (22), определяются в виде

$$\Phi_{pm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = P_m - [P_{\dot{A}m} + \phi_{pm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell})] = \Delta P_m, \quad (23)$$

$$\Phi_{qm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = Q_m - [Q_{\dot{A}m} + \phi_{qm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell})] = \Delta Q_m, \quad (24)$$

$$\Phi_{pk}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = P_k - [P_{\dot{A}k} + \phi_{pk}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell})] = \Delta P_k, \quad (25)$$

$$\Phi_{qk}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) = Q_k - [Q_{\dot{A}k} + \phi_{qk}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell})] = \Delta Q_k, \quad (26)$$

$$\Phi_{pi}(I'_j, I''_j) = P_i - [P_{\dot{A}i} + \phi_{pi}(I'_j, I''_j)] = \Delta P_i, \quad (27)$$

$$\Phi_{qi}(I'_j, I''_j) = Q_i - [Q_{\dot{A}i} + \phi_{qi}(I'_j, I''_j)] = \Delta Q_i. \quad (28)$$

Аналитические выражения функций $\phi_{pm}, \phi_{qm}; \phi_{pk}, \phi_{qk}; \phi_{pi}, \phi_{qi}$ нетрудно установить из (5)-(10). На основании матричного уравнения (22) необходимо установить выражения приращений режимных параметров, входящих в (21). Обращая неособенные квадратные подматрицы, входящие в (22), получим

$$\begin{bmatrix} \Delta \Psi_{um} \\ \hline \Delta U_m \\ \hline \Delta \Psi_{uk} \\ \hline \Delta U_k \\ \hline \Delta I'_i \\ \hline \Delta I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \beta_{mn} & \alpha_{m\ell} & \beta_{m\ell} \\ \hline \gamma_{mn} & \delta_{mn} & \gamma_{m\ell} & \delta_{m\ell} \\ \hline \alpha_{kn} & \beta_{kn} & \alpha_{k\ell} & \beta_{k\ell} \\ \hline \gamma_{kn} & \delta_{kn} & \gamma_{k\ell} & \delta_{k\ell} \\ \hline & & & a_{ij} & b_{ij} \\ & & & c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \hline \Delta Q_m \\ \hline \Delta P_k \\ \hline \Delta Q_k \\ \hline \Delta P_i \\ \hline \Delta Q_i \end{bmatrix}, \quad (29)$$

где α, β, γ и δ , а также a, b, c, d являются элементами обращенной матрицы. Нетрудно убедиться, что выражения (21), (29) в совокупности изображают рекуррентное выражение, вытекающее из метода Ньютона-Рафсона.

Согласно постановке задачи, стационарные узлы с индексами $k(\ell)$ являются узлами типа P-U. Следовательно, имеет место соотношение:

$$[\Delta U_k] = 0. \quad (30)$$

При этом матричное выражение (29) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta \Psi_{um}}{\Delta U_m} \\ \frac{\Delta \Psi_{uk}}{0} \\ \frac{\Delta I'_i}{\Delta I''_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \beta_{mn} & \alpha_{m\ell} & \beta_{m\ell} \\ \gamma_{mn} & \delta_{mn} & \gamma_{m\ell} & \delta_{m\ell} \\ \alpha_{kn} & \beta_{kn} & \alpha_{k\ell} & \beta_{k\ell} \\ \gamma_{kn} & \delta_{kn} & \gamma_{k\ell} & \delta_{k\ell} \\ & & a_{ij} & b_{ij} \\ & & c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\Delta P_m}{\Delta Q_m} \\ \frac{\Delta P_k}{\Delta Q_k} \\ \frac{\Delta P_i}{\Delta Q_i} \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Представим матричное выражение (31) в виде совокупности следующих подматричных уравнений:

$$\Delta \Psi_{um} = \alpha_{mn} \Delta P_m + \beta_{mn} \Delta Q_m + \alpha_{m\ell} \Delta P_k + \beta_{m\ell} \Delta Q_k, \quad (32)$$

$$\Delta U_m = \gamma_{mn} \Delta P_m + \delta_{mn} \Delta Q_m + \gamma_{m\ell} \Delta P_k + \delta_{m\ell} \Delta Q_k, \quad (33)$$

$$\Delta \Psi_{uk} = \alpha_{kn} \Delta P_m + \beta_{kn} \Delta Q_m + \alpha_{k\ell} \Delta P_k + \beta_{k\ell} \Delta Q_k, \quad (34)$$

$$0 = \gamma_{kn} \Delta P_m + \delta_{kn} \Delta Q_m + \gamma_{k\ell} \Delta P_k + \delta_{k\ell} \Delta Q_k, \quad (35)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ij} & b_{ij} \\ c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}. \quad (36)$$

Перепишем подматричное уравнение (35) в следующем виде:

$$[\delta_{k\ell}] \cdot [\Delta Q_k] = -\{[\gamma_{kn}] \cdot [\Delta P_m] + [\delta_{kn}] \cdot [\Delta Q_m] + [\gamma_{k\ell}] \cdot [\Delta P_k]\}. \quad (37)$$

Поскольку подматрица $[\delta_{k\ell}]$ является квадратной и неособенной, то напомним

$$[\Delta Q_k] = -[\delta_{k\ell}]^{-1} \cdot [\Delta_{k\ell}], \quad (38)$$

где

$$[\Delta_{k\ell}] = [\gamma_{kn}] \cdot [\Delta P_m] + [\delta_{kn}] \cdot [\Delta Q_m] + [\gamma_{k\ell}] \cdot [\Delta P_k]. \quad (39)$$

Матричное выражение (38) позволяет определить численные значения приращений реактивных мощностей независимых стационарных узлов типа P-U с индексами $k(\ell)$. В результате можно установить численные значения действительных реактивных мощностей этих же стационарных узлов, пользуясь уравнением (26):

$$Q_k - (Q_{\dot{A}k} + \varphi_{qk}) = \Delta Q_k, \quad (40)$$

откуда

$$Q_k = \Delta Q_k + (Q_{\dot{A}k} + \varphi_{qk}). \quad (41)$$

Устанавливая численные значения искомых реактивных мощностей Q_k стационарных узлов типа P-U, проверяем условия их допустимости. Затем на

основании (33) определяем численные значения приращений искомых модулей комплексных напряжений станционных узлов типа P-Q, а на основании второй строчки выражения (21) - их действительные значения U_m , а также проверяем условия их допустимости.

Таким образом, на каждой итерации проверяем следующие условия допустимости:

$$\begin{aligned} Q_{k,\min} \leq Q_k \leq Q_{k,\max}, \\ U_{m,\min} \leq U_m \leq U_{m,\max}. \end{aligned} \quad (42)$$

При проверке условия допустимости (42) могут быть следующие случаи:

1. Оба условия, приведенные в (42), обеспечиваются. Это означает, что полученные численные значения реактивных мощностей станционных узлов типа P-U, Q_k и модули комплексных напряжений станционных узлов типа P-Q, U_m находятся в пределах допустимости. В этом случае как для станционных узлов типа P-U, так и для нагрузочных узлов типа P-Q искомыми режимными параметрами остаются аргументы комплексных напряжений, которые определяются на основании подматричных выражений (32) и (34).

Объединяя подматричные уравнения (32) и (34), получим

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um} \\ \Delta\Psi_{uk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \alpha_{m\ell} \\ \alpha_{kn} & \alpha_{k\ell} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{mn} & \beta_{m\ell} \\ \beta_{kn} & \beta_{k\ell} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix}. \quad (43)$$

Определяя численные значения приращений аргументов комплексных напряжений $\Delta\Psi_{um}$ и $\Delta\Psi_{uk}$, устанавливаем их действительные значения согласно следующему выражению:

$$\begin{bmatrix} \Psi_{um} \\ \Psi_{uk} \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} \Psi_{um} \\ \Psi_{uk} \end{bmatrix}^0 - \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{um} \\ \Delta\Psi_{uk} \end{bmatrix}. \quad (44)$$

Затем переходим к определению приращений составляющих комплексных токов нагрузочных узлов согласно следующему матричному выражению:

$$\begin{bmatrix} \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ij} & b_{ij} \\ c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}. \quad (45)$$

Имея численные значения $\Delta I'_i$, $\Delta I''_i$, определяем действительные значения составляющих комплексных токов станционных узлов:

$$\begin{bmatrix} I'_i \\ I''_i \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} I'_i \\ I''_i \end{bmatrix}^0 - \begin{bmatrix} \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix}. \quad (46)$$

Этим завершается первая итерация. Далее переходим к осуществлению второй. Если на второй итерации также обеспечиваются условия (42), то переходим к третьей итерации и т.д.

Итерационный процесс продолжается аналогичным образом, как в предыдущих итерациях, и считается завершенным, если обеспечиваются следующие условия:

$$\left| P_m - (P_{Am} + \varphi_{pm}) \right| \leq \Delta P_m, \quad \left| Q_m - (Q_{Am} + \varphi_{qm}) \right| \leq \Delta Q_m, \quad (47)$$

$$\left| P_k - (P_{Ak} + \varphi_{pk}) \right| \leq \Delta P_k, \quad \left| Q_k - (Q_{Ak} + \varphi_{qk}) \right| \leq \Delta Q_k, \quad (48)$$

$$\left| P_i - (P_{Ai} + \varphi_{pi}) \right| \leq \Delta P_i, \quad \left| Q_i - (Q_{Ai} + \varphi_{qi}) \right| \leq \Delta Q_i, \quad (49)$$

где $\Delta P_m, \Delta P_k, \Delta P_i, \Delta Q_m, \Delta Q_k, \Delta Q_i$ - допустимые небалансы узловых активных и реактивных мощностей, которые в данном случае являются также условиями сходимости решения систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС.

Для ослабления условия сходимости принимается

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= \Delta P_k = \Delta P_i = \Delta P, \\ \Delta Q_m &= \Delta Q_k = \Delta Q_i = \Delta Q. \end{aligned} \quad (50)$$

Фактически задаваемые нами положительные величины ΔP и ΔQ характеризуют точность установления численных значений искомых режимных параметров.

2. Первое условие из (42) обеспечивается, а второе - нет. Это означает, что для независимых стационарных узлов типа P-U полученные искомые значения реактивных мощностей Q_k находятся в пределах допустимости. Стационарные узлы типа P-Q превращаются в стационарные узлы типа P-U, причем в первом случае - в виде $P - U_{m,max}$, а во втором - в виде $P - U_{m,min}$.

В результате независимые стационарные узлы становятся узлами типа P-U, и можем написать, что

$$\begin{aligned} [U_m] &= 0, \\ [U_k] &= 0. \end{aligned} \quad (51)$$

При этом матричное выражение (29) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \Delta \Psi_{um} \\ 0 \\ \Delta \Psi_{uk} \\ 0 \\ \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \beta_{mn} & \alpha_{m\ell} & \beta_{m\ell} \\ \gamma_{mn} & \delta_{mn} & \gamma_{m\ell} & \delta_{m\ell} \\ \alpha_{kn} & \beta_{kn} & \alpha_{k\ell} & \beta_{k\ell} \\ \gamma_{kn} & \delta_{kn} & \gamma_{k\ell} & \delta_{k\ell} \\ & & & a_{ij} & b_{ij} \\ & & & c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}. \quad (52)$$

Представим матричное выражение (52) в виде совокупности подматричных выражений (36), (43) и

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{mn} & \gamma_{m\ell} \\ \gamma_{kn} & \gamma_{k\ell} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_{mn} & \delta_{m\ell} \\ \delta_{kn} & \delta_{k\ell} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix}, \quad (53)$$

Полученное матричное выражение (53) представим в виде

$$\begin{bmatrix} \frac{\delta_{mn}}{\delta_{kn}} & \frac{\delta_{m\ell}}{\delta_{k\ell}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\gamma_{mn}}{\gamma_{kn}} & \frac{\gamma_{m\ell}}{\gamma_{k\ell}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix}, \quad (54)$$

откуда можем определить

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\delta_{mn}}{\delta_{kn}} & \frac{\delta_{m\ell}}{\delta_{k\ell}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\gamma_{mn}}{\gamma_{kn}} & \frac{\gamma_{m\ell}}{\gamma_{k\ell}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix}. \quad (55)$$

На основании (55) устанавливаем численные значения приращений реактивных мощностей ΔQ_m и ΔQ_k , а затем их действительные значения:

$$Q_m = \Delta Q_m + (Q_{Am} + \Phi_{qm}), \quad (56)$$

$$Q_k = \Delta Q_k + (Q_{Ak} + \Phi_{qk}). \quad (57)$$

Имея численные значения искоемых реактивных мощностей Q_m и Q_k , проверяем их условия допустимости:

$$Q_{m,\min} \leq Q_m \leq Q_{m,\max}, \quad (58)$$

$$Q_{k,\min} \leq Q_k \leq Q_{k,\max}.$$

Если условия (58) обеспечиваются, то другие неизвестные режимные параметры Ψ_{um} и Ψ_{uk} определяются на основании (44). Затем переходим к определению составляющих комплексных токов нагрузочных узлов:

$$\begin{bmatrix} I'_i \\ I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I'_i \\ I''_i \end{bmatrix}^0 - \begin{bmatrix} \frac{a_{ij}}{c_{ij}} & \frac{b_{ij}}{d_{ij}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}. \quad (59)$$

В результате завершается первая итерация, после чего переходим к осуществлению второй. Если на второй и последующих итерациях сохраняются условия (58), то итерационный процесс продолжается и считается завершенным, когда обеспечиваются условия (47)-(49).

3. Первое условие из (42) не удовлетворяется, а второе - удовлетворяется. Это означает, что для независимых станционных узлов типа P-U полученные значения реактивных мощностей Q_k не находятся в пределах допустимости, а модули комплексных напряжений U_m станционных узлов типа P-Q, наоборот, находятся в пределах допустимости. При этом реактивные мощности могут быть больше допустимых максимальных значений ($Q_{m,\max}$) или меньше допустимых минимальных значений ($Q_{m,\min}$). В связи с этим станционные узлы типа P-U превращаются в узлы типа P-Q, причем в первом случае - в виде $P - Q_{m,\max}$, а во втором - в виде $P - Q_{m,\min}$.

В результате независимые станционные узлы становятся типа P-Q. При этом искомыми режимными параметрами являются модули и аргументы комплексных напряжений независимых станционных узлов и составляющие комплексных токов нагрузочных узлов.

Для определения неизвестных режимных параметров воспользуемся рекуррентным выражением

$$\begin{bmatrix} \frac{\Psi_{um}}{U_m} \\ \frac{\Psi_{uk}}{U_k} \\ \frac{I'_i}{I''_i} \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} \frac{\Psi_{um}}{U_m} \\ \frac{\Psi_{uk}}{U_k} \\ \frac{I'_i}{I''_i} \end{bmatrix}^0 - \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \beta_{mn} & \alpha_{m\ell} & \beta_{m\ell} \\ \gamma_{mn} & \delta_{mn} & \gamma_{m\ell} & \delta_{m\ell} \\ \alpha_{kn} & \beta_{kn} & \alpha_{k\ell} & \beta_{k\ell} \\ \gamma_{kn} & \delta_{kn} & \gamma_{k\ell} & \delta_{k\ell} \\ & & & a_{ij} & b_{ij} \\ & & & c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\Delta P_m}{\Delta Q_m} \\ \frac{\Delta P_k}{\Delta Q_k} \\ \frac{\Delta P_i}{\Delta Q_i} \end{bmatrix}. \quad (60)$$

Определяя численные значения вышеприведенных режимных параметров, устанавливаем также численные значения модулей комплексных напряжений независимых станционных узлов U_m и U_k .

Имея численные значения U_m и U_k , проверяем условия их допустимости:

$$\begin{aligned} U_{m,\min} &\leq U_m \leq U_{m,\max}, \\ U_{k,\min} &\leq U_k \leq U_{k,\max}. \end{aligned} \quad (61)$$

Если условия (61) удовлетворяются, то переходим ко второй итерации.

В случае, когда на второй и последующих итерациях удовлетворяются условия (61), итерационный процесс считается завершенным, когда обеспечиваются условия (47)–(49).

4. Оба условия из (42) не обеспечиваются. Это означает, что для независимых станционных узлов типа P-Q полученные значения модулей комплексных напряжений и реактивных мощностей для станционных узлов типа P-U не находятся в пределах допустимости.

Необходимо отметить, что в результате независимые станционные узлы типа P-Q с индексами $m(n)$ превращаются в станционные узлы типа P-U, а независимые станционные узлы типа P-U с индексами $k(\ell)$ - в станционные узлы типа P-Q. Нетрудно заметить, что при этом повторяется первый случай, и задача будет решена таким же образом.

Для облегчения математических записей при решении поставленной задачи целесообразно индексы $m(n)$ заменить на $k(\ell)$, а последние - на $m(n)$.

В заключение отметим, что рассмотрены все случаи задания исходной информации относительно независимых станционных узлов при решении задачи расчета допустимых установившихся режимов ЭЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Аль-Исса Ибрахим, Хачатрян К.В.** Метод определения допустимого установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1998.-Т. 51, N 3.-С. 295-300.
2. **Каримян А.С.** Расчет допустимого установившегося режима электроэнергетической системы при Y – форме задания состояния сети // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1999.-Т. 52, N 1.-С. 43-50.

3. **Хачатрян К.В., Нашат А.А., Мкртчян Г.С.** Расчет допустимого установившегося режима Z эквивалентированной электроэнергетической системы // Моделирование, оптимизация, управление: Сборник научных трудов.-2000.-Вып. 3.-С. 103-108.
4. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Гулян А.Г.** Выбор состава уравнений установившегося режима электроэнергетической системы при P-U и P-Q типах станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2003.-Т. 56, N 2.-С. 272-281.
5. **Сафарян В.С., Григорян С.Э.** Расчет допустимого установившегося режима электроэнергетической системы при Y-Z форме задания состояния сети // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2003.-Т. 56, N 3.-С. 417-425.
6. **Мнацаканян М.А.** Расчет допустимого установившегося режима ЭЭС методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2004.-Т. 57, N 1.- С. 83-93.
7. **Григорян С.Э.** Новый метод расчета допустимого установившегося режима ЭЭС // Вестник МАНЕБ. СПб. -2004.-N 3.-С. 69-73.
8. **Хачатрян В.С., Мнацаканян М.А.** Определение допустимых относительных приростов потерь активной мощности ЭЭС методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА.-Сер. ТН.-2005.-Т. 58, N 1.-С. 260-268.
9. **Хачатрян В.С., Хачатрян К.В., Григорян С.Э., Гулян А.Г.** Расчет установившегося режима электроэнергетической системы при P-Q, P-U типах станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА.Сер. ТН.-2006.-Т. 59, N 1.-С. 112-122.
10. **Хачатрян В.С., Тохунц А.Р.** Минимизация потерь активной мощности в электрических сетях с учетом ограничений, налагаемых на режимные параметры // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2005.-Т. 58, N 3.-С. 481-489.
11. **Григорян С.Э.** Метод расчета допустимого установившегося режима электроэнергетической системы // Вестник ИАА.-2006.-Т. 3, N 1.-С. 54-65.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.02.2006.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Ս.Է. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԹՈՒՅԼԱՏՐԵԼԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԸ
ԵՎ ՆՐԱ ԻՐԱՅՈՒՄԸ**

Առաջարկվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի թույլատրելի կայունացված ռեժիմի հաշվման նոր $\square Y-Z \square$ մաթեմատիկական մոդել, երբ անկախ կայանային հանգույցները միաժամանակ կարող են հանդես գալ ինչպես P-Q, այնպես էլ P-U տեսքերի և վերջինիս իրացումը Նյուտոնի առաջին կարգի մեթոդով:

Առանցքային բառեր. մաթեմատիկական մոդել, համակարգ, ռեժիմ, մատրից, հանգույց, ռեկուրենտային արտահայտություն, թույլատրելի ռեժիմ:

V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN, S.E. GRIGORYAN

**MATHEMATICAL MODEL OF ADMISSIBLE STEADY-STATE CONDITION
IN ELECTRIC POWER SYSTEM AND ITS REALIZATION**

A new Y-Z mathematical model of admissible steady-state system condition of electric power system (EPS) when independent stationary units can at the same time be of P-Q and P-U type is proposed. It is realized by the method of the first order.

Keywords: mathematical model, system, condition, matrix, unit, power, recurrent express, on admissible condition.

В.Г. ПЕТРОСЯН

ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ В УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Дается описание процесса образования отложений примесей воды и продуктов коррозии (ПК) на теплопередающих поверхностях ядерных энергетических установок (ЯЭИ). Показана роль ионизирующего излучения на начальном этапе протекания коррозии, что является следствием образования отложений на парогенерирующих поверхностях.

Ключевые слова: ядерные энергетические установки, продукты коррозии, отложения, облучение, водный теплоноситель, радиолиз, концентрация.

Известно, что образование отложений примесей воды на теплопередающих поверхностях энергетического оборудования сопровождается рядом процессов, снижающих надежность и экономичность работы энергетических установок.

Во-первых, изменяются гидродинамические характеристики отдельных элементов оборудования [1], а также ухудшается теплоотвод от поверхности к воде вследствие термического сопротивления слоя отложений. И тот, и другой процессы могут привести к недопустимому повышению температуры теплоотдающей поверхности и даже к ее разрушению.

Во-вторых, в слое пористых отложений возможно глубокое упаривание воды и, соответственно, концентрирование у поверхности металла теплоотдающей поверхности примесей, в том числе и коррозионно-активных. Поскольку максимальная температура в слое отложений возникает непосредственно у поверхности, то концентрирование коррозионно-активных примесей у поверхности будет максимальным. Локальная коррозия металла поверхности в этом случае может быть весьма существенной.

В реакторных энергетических установках элементы отложений, образующихся на оболочках тепловыделяющих элементов, подвержены воздействию интенсивного потока нейтронов и в результате ядерных реакций превращаются в соответствующие радионуклиды, а последующий их переход в теплоноситель и повторное осаждение на поверхностях оборудования приводят к возникновению и росту мощности радиационного излучения вблизи оборудования реакторного контура, в том числе и той его части, которая находится вне зоны непосредственного воздействия нейтронного потока.

Такая ситуация вызывает необходимость применения дополнительных возможностей снижения скорости образования отложений ПК при наличии их в питательной и контурной воде, что требует адекватного понимания сущности протекающих при образовании отложений процессов. Имеется большое количество публикаций по проблеме образования отложений [2,3] и влиянию на

интенсивность различных параметров. Корректное теоретическое объяснение сущности процессов дает возможность одновременно получить методы оценки количества отложений и контроля за их поведением, что, в конечном счете, позволит оптимально планировать сроки проведения отмывок на тепловых электростанциях и дезактиваций на атомных электростанциях.

Многие исследователи полагают, что процесс накопления отложений является асимптотическим вследствие увеличивающейся вместе с удельным количеством отложений интенсивности их смыва [4-6]. В этом случае математическая модель описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dA}{d\tau} = K_0 C - K_c A, \quad (1)$$

где A – удельное (приведенное к единице поверхности) количество отложений продуктов коррозии в наносном слое, $кг/м^2$; τ – время, $с$; K_0 – так называемая постоянная осаждения, являющаяся в общем случае функцией многих вышеупомянутых параметров, $кг/м^2с$; C – концентрация продуктов коррозии в охлаждающей среде, $кг/кг$; K_c – так называемая постоянная смыва отложений, являющаяся функцией многих переменных, $1/с$.

Отметим, что существенной особенностью рассматриваемого случая (теплообмен в однофазной среде) является постоянство величин K_0 и K_c по длине равномерно обогреваемого канала, что является следствием равномерного распределения отложений по его поверхности. Это упрощает задачу расчета количественных характеристик процесса обмена ПК между слоем отложений и охлаждающей средой. И хотя теоретическое описание процесса образования отложений при омывании поверхности однофазной средой, не противоречащее тем или иным экспериментальным данным, к настоящему времени не разработано, накопленный экспериментальный материал, его анализ и разработанные рекомендации по определению постоянных осаждения и смыва [5] позволяют предположить, что этот процесс может быть описан с достаточной для практики точностью на основе феноменологической модели процесса (1).

Анализ экспериментальных данных процесса образования наносных отложений ПК при генерации на теплоотдающей поверхности пара [4] показывает, что интенсивность накопления отложений сильно зависит от локальных условий генерации пара. На рис.1 приведено распределение наносных отложений по длине вертикального равномерно обогреваемого парогенерирующего канала в общем случае. В области максимума отложений их удельное количество A может на порядок превышать значение A в области конвективного теплообмена (охлаждение однофазной средой). Поэтому описание процесса образования отложений в парогенерирующем канале в целом, на основе феноменологической модели (1), при неизменных по длине канала постоянных осаждения и смыва является слишком грубым приближением. Особенно сильно некорректность такого описания скажется при проведении расчета количества смываемых с парогенерирующих поверхностей активной зоны кипящего реактора радиоактивных ПК – в этом случае от пространственной координаты будут зависеть не только удельное количество отложений, но и их удельная активность. Это обусловлено тем, что от пространственной координаты зависит и плотность потока нейтронов, и их энергетический спектр. Потребность в корректном

описании распределения отложений по длине парогенерирующего канала приводит к дополнительному усложнению задачи описания процесса образования отложений.



Рис.1. Распределение удельного количества отложений Δ в вертикальном парогенерирующем канале в зависимости от условий теплообмена

Ранее считалось, что непосредственно облучение не играет существенной роли в процессе образования отложений ПК [4]. Однако дополнительные исследования, проведенные при облучении среды и поверхности ионизирующим излучением, показали, что при облучении условия протекания начального этапа коррозии и формирования пассивирующих слоев могут существенно изменяться. Это побуждает к изучению процессов коррозии в условиях облучения конструкционных материалов и теплоносителя.

Изменение состава и качества поверхности конструкционных материалов, контактирующих с водным теплоносителем (ВТ), можно разбить на два этапа: I – взаимодействие чистой поверхности материала с ВТ и образование первичных слоев окислов и отложений; II – процесс взаимодействия ВТ с образовавшимся на этапе I окисным слоем, коррозия, осаждение и смыв отложений с него.

Влияние радиолиза теплоносителя на ход этапа I исследовано мало. Это связано с тем, что во многих работах для оценки возможного эффекта облучения использовался «энергетический» подход. Но поскольку энергия излучения, поглощаемая ВТ, не превышает 6% всей энергии, выделяющейся в активной зоне, то эффект не может быть существенным. Однако диссипация энергии излучения в ВТ существенно неоднородна, что приводит к радиолизу воды и появлению в ВТ радикальных и молекулярных продуктов радиолиза воды (ПРВ). Последние, в силу своей высокой реакционной способности, оказывают существенное влияние на процесс взаимодействия ВТ с конструкционными материалами.

В данной работе представлен радиолиз ВТ и его взаимосвязь с образованием окисных слоев на поверхности конструкционных материалов в начальный период эксплуатации. Рассматривалась установка с модернизированным «реактором» (облучаемой зоной разомкнутого водяного контура, позволяющего поддерживать в зоне облучения температуру теплоносителя до 620 К). Для облучения использовался поток электронов ускорителя У-12. В модернизированном реакторе размещались два образца (90Х8Х1), нижняя часть которых по

ходу потока омывалась исходным теплоносителем, которым являлся дистиллят (электропроводность $\sigma = 0,5 \dots 1,0 \text{ мкСм/см}$, $\text{pH}_0 = 5,5 \dots 5,9$). Далее теплоноситель омывал среднюю, облучаемую часть образцов (мощность поглощенной дозы – $I \approx 0,4 \cdot 10^4 \text{ Вт/кг}$, время прохода зоны облучения – 10 с), а затем – после облучения – верхнюю часть образцов. В ходе эксперимента контролировались: температура ВТ в зоне облучения; pH охлажденного раствора после облучения; концентрации O_2 , H_2 , H_2O_2 в охлажденном ВТ после прохождения «реактора». Параметры ВТ на входе в «реактор» поддерживались постоянными. В процессе эксперимента определялись также концентрации газов H_2 и O_2 хроматографическим методом, Fe – атомно-адсорбционным методом, H_2O_2 – йодометрическо-спектрометрическим методом.

Для оценки воздействия ионизирующей радиации на первичные процессы взаимодействия металла с теплоносителем использовались материалы с низкой (в условиях эксперимента) коррозионной стойкостью: сталь 2 и дюралюминий. Результаты одного из экспериментов (материал – сталь 2, $[\text{O}_2]_0 = 7,4 \text{ мг/л}$) показаны на рис. 2, 3. Кривые построены по экспериментальным точкам методом скользящей средней, основанном на методе наименьших квадратов. Разброс результатов при определении концентрации газов – $5 \dots 10\%$, железа и перекиси водорода – $15 \dots 30\%$.

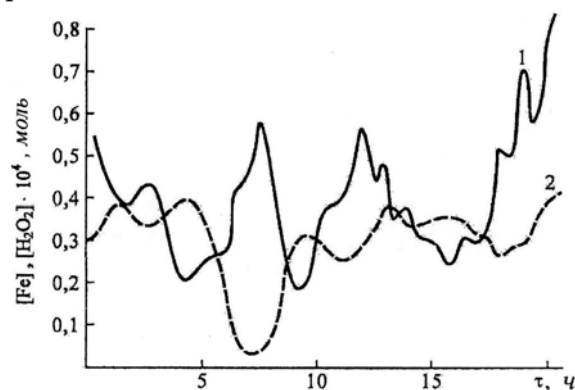


Рис. 2. Зависимость изменения концентраций железа и перекиси водорода от экспозиции: 1 – железо; 2 – перекись водорода

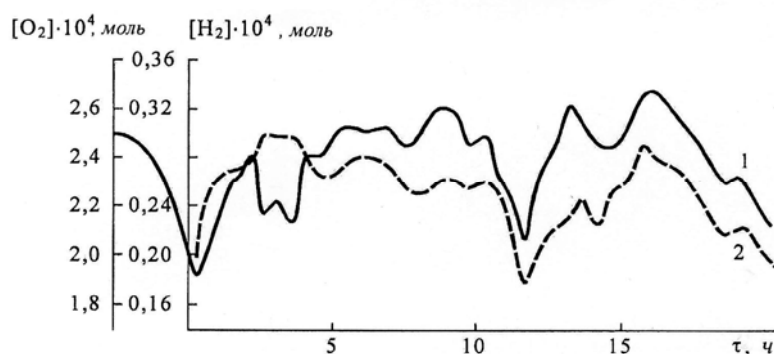


Рис. 3. Зависимость изменения концентраций кислорода и водорода от экспозиции: 1 – водород ; 2 – кислород

Из анализа рис.2,3 видно, что изменения концентраций продуктов от времени (дозы) облучения носят характер нелинейных колебаний с периодом $\tau \approx 5$ ч. При этом концентрации железа и перекиси водорода изменяются в противофазе (рис. 2), а концентрации кислорода и водорода относительно перекиси водорода – в фазе. Поскольку концентрации Fe, H₂O₂ и газов измерялись независимо друг от друга различными методами, эти колебания нельзя отнести к случайным отклонениям.

Таким образом, следует констатировать, что есть определенная корреляция между концентрацией железа, переходящего в раствор, и концентрациями продуктов радиолитического ВТ.

Проведена серия экспериментов при различных исходных параметрах ВТ и излучения. Выявилось, что характеристики колебаний (амплитуда, период, степень нелинейности, уровень концентраций) зависят от материала образцов. Так, уменьшение начальной концентрации кислорода с 7,5 до 1,3 мг/кг в экспериментах с образцами из стали 2 приводит к возрастанию среднего уровня концентрации водорода и увеличению амплитуды колебаний во времени. Аналогичное изменение в опытах с образцами из дюралюминия вызывает уменьшение среднего уровня концентрации водорода и увеличение амплитуды колебаний. Период колебаний в этом случае составляет 4 ч (колебания имеют почти правильный, гармонический характер). Увеличение мощности поглощенной дозы приводит к увеличению среднего уровня концентрации водорода.

Осмотр образцов после экспериментов показал, что облучаемая часть поверхности образца существенно отличается от необлучаемой или омываемой облученным ВТ. Исследование поверхностей образцов методами электронографии, электронной микроскопии и γ -резонансной спектроскопии позволило установить определяющее влияние облучения на структуру и состав окисных пленок, формируемых в указанных зонах контакта конструкционных материалов с ВТ. Необходимо также отметить, что в моменты времени, отвечающие экстремумам концентраций Fe, H₂, O₂ и H₂O₂, наблюдается изменение внешнего вида поверхности образцов. Можно предположить определенную взаимосвязь качества поверхности образцов и эффективности радиолитического ВТ.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Начальный период коррозии, определяющий последующее протекание коррозионного процесса в условиях облучения, имеет сложный неравномерный характер с изменением во времени показателей состава теплоносителя по колебательному закону.
2. Существует корреляция между характеристиками изменения количественного состава теплоносителя и качеством поверхности конструкционного материала, контактирующего с ним.
3. Характеристики колебаний (период, амплитуда, средний уровень концентраций) зависят от вида конструкционного материала, температуры теплоносителя, интенсивности облучения и начальной концентрации кислорода.

В связи с отсутствием обобщающей модели процесса все это вызывает необходимость изучения начального периода коррозии конструкционных материалов при облучении для конкретных условий эксплуатации и связанным вследствие этого образованием отложений на парогенерирующих поверхностях оборудования АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов В.В., Касперович А.И., Мартынова О.И. Водный режим атомных электростанций. - М.: Атомиздат, 1976. - 400 с.
2. Burrill K.A. Corrosion product transport in water-cooled nuclear reactors. Part I: Pressurized water operation // The Canadian journal of chemical engineering. - 1977. - Vol.55, No.2. - P. 54-61.
3. Рассохин Н.Г., Кабанов Л.П., Тевлин С.А., Терсин В.А. О теплопроводности железоокисных отложений // Теплоэнергетика. - 1973. - № 9. - С. 12-15.
4. Charlesworth D.H. The deposition of corrosion products in boiling water systems // Chemical engineering progress, symposium series. - 1970. - Vol.66, No.104. - P.21-30.
Скляр В.П. Исследование констант массопереноса для АЭС с канальным реактором // В кн.: Радиационная безопасность и защита АЭС. Вып.5. - М.: Атомиздат, 1981. - С. 27-35.
5. Lister D.H. Corrosion products in power generating systems // Atomic Energy of Canada Limited, AECL-6877. - 1980. - P.55.

НИИ «Арматом» РА. Материал поступил в редакцию 06.05.2006.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՏԱՐԻ ԵՎ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԳՈՒՈՐԾԱԾԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՎՐԱ ՆՍՏՎԱԾՔՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԸ

Տրվում է միջուկային էներգետիկական տեղակայանքների ջերմափոխանցման մակերևույթների վրա ջրում լուծված խառնուրդների և կոռոզիոն նյութերի ելքերից ի հայտ եկող նստվածքների առաջացման գործընթացների նկարագիրը: Ցույց է տրված ճառագայթման ազդեցությունը սկզբնական կոռոզիոն գործընթացների և, որպես դրանց հետևանք, նստվածքների առաջացումը գոլորշածին մակերևույթների վրա:

Առանցքային բառեր. միջուկային էներգետիկական տեղակայանքներ, կոռոզիոն նյութեր, նստվածք, ճառագայթում, ջրային ջերմատար, ռադիոլիզ, խտություն:

V.G. PETROSYAN

PROCESS OF SEDIMENTS ACCUMULATION ON STEAM GENERATING SURFACES UNDER THE IRRADIATION OF COOLANT AND CONSTRUCTION MATERIALS OF NUCLEAR POWER PLANTS

The process of sediment accumulation of water admixtures and corrosion products (CP) on heat-transferring surfaces of nuclear power plants is described. The role of ionizing radiation on the initial stage of corrosion resulting in sediment accumulation on steam generating surfaces is shown.

Keywords: nuclear power plant, corrosion products, sediments, radiation, water heat transfer, radiolysis, concentration.

А.М. ХИЗАНЦЯН, Л.С. ОГАНЕСЯН

**ОСТАТОЧНЫЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИЙНЫХ ОСТАНОВАХ РЕАКТОРОВ
ТИПА ВВЭР**

Рассматриваются проблемы обеспечения ядерной безопасности атомных электрических станций (АЭС). Проанализированы переходные теплофизические процессы, возникающие в реакторной установке при ее аварийном отключении. Приведены зависимости величины остаточного энерговыделения в аварийно остановленном реакторе от времени, предложенные различными авторами для различных диапазонов времени. Основываясь на основных концепциях безопасности атомных электрических станций, предлагается использовать для анализа и синтеза систем аварийного расхолаживания реакторной установки ту зависимость, при использовании которой величина остаточных энерговыделений во всем диапазоне времени максимальна.

Ключевые слова: аварийная защита реактора, аккумулированное тепло, атомная электрическая станция, атомная энергетика, безопасность, нейтронный поток, остаточное энерговыделение, реакция деления, тепловая мощность реактора.

Серьезные аварии на некоторых атомных станциях побудили научные, конструкторские и проектные организации заняться исследованиями в направлении поиска таких решений, которые могли бы обеспечить предельно высокую безопасность АЭС и были бы понятны и приняты научно-технической общественностью.

Данной проблемой занимаются практически все страны, концентрируясь под эгидой МАГАТЭ в виде международных нормативных рекомендаций, а также широкого обмена научно-технической информацией по новейшим решениям. Исследования и разработки по обеспечению безопасности АЭС ведутся в нескольких направлениях. При этом пристальное внимание уделяется тем направлениям, которые могут быть применены как в новых проектах АЭС, так и при реконструкциях ныне действующих.

Сопоставление современных АЭС по широкому спектру технических показателей, включая показатели уровня безопасности, экономики, затраты на производство электроэнергии, затраты на сооружение и монтаж, отвод земель, а также экологические показатели воздействия на воздушную атмосферу и водную среду, показывает, что в ближайшие 20...30 лет преимущество будут иметь АЭС с корпусными реакторами с водой под давлением, т. е. с реакторами типа ВВЭР. Именно на АЭС с этими реакторами наиболее целесообразно в настоящее время сосредоточить внимание.

Проблемы обеспечения безопасности атомной энергетики включают много разнообразных технических аспектов, однако определяющими по степени влияния на общую безопасность являются вопросы ядерной безопасности активной зоны и отвода остаточных энерговыделений в активной зоне реактора. Если бы ядерные реакторы, при сохранении всех своих остальных свойств, не обладали свойством выделять остаточное тепло,

решение вопросов безопасности кардинально упростилось бы. Очевидно, в этом случае при аварийных режимах достаточно было бы обеспечить срабатывание стержней аварийной защиты реактора и локализовать радиоактивный теплоноситель, после чего ядерная установка естественно остывала бы, подобно погашенному энергетическому котлоагрегату, не требуя работы никаких вспомогательных систем. По оценкам, проведенным в Институте "Атомэнергопроект" РФ, затраты на обеспечение безопасности составляют 25...30% общих затрат на сооружение АЭС, причем более 2/3 составляют затраты на системы, связанные с проблемой надежного отвода остаточных тепловыделений [1]. Целью настоящей работы является определение зависимости остаточного энерговыделения из активной зоны при аварийных остановах реактора типа ВВЭР, при которых можно будет создать системы отвода тепла от реакторной установки.

При останове реактора происходят следующие переходные процессы:

- уменьшение плотности нейтронного потока после прекращения цепной ядерной реакции деления;
- спад тепловыделения в активной зоне и постепенное охлаждение реактора;
- остаточное энерговыделение в топливе за счет радиоактивного распада продуктов деления урана и плутония;
- нестационарное изменение коэффициента размножения за счет динамики отравления ^{135}Xe и ^{149}Sm и температурных эффектов.

Постоянная времени для нейтронных процессов очень мала, поэтому уменьшение плотности нейтронного потока происходит быстро и определяется практически необходимой скоростью снижения тепловой мощности. В случае аварийного останова снижение плотности нейтронного потока определяется временем срабатывания системы аварийной защиты, при этом заметную роль играют запаздывающие нейтроны [1].

Изменение числа нейтронов со временем при отрицательном скачке реактивности $\rho(t) < 0$ описывается уравнением [2]

$$N_n(t) = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_i}\right), \quad (1)$$

где N_n - число нейтронов; α_i - константа для i -й группы запаздывающих нейтронов; T - время; T_i - корни уравнения

$$\rho = \frac{\Delta k_{\text{эф}}}{k_{\text{эф}}} = \frac{T_n}{k_{\text{эф}} T} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T}, \quad (2)$$

в котором T_n - время жизни одного поколения мгновенных нейтронов; β_i - выход при делении для i -й группы запаздывающих нейтронов; λ_i - постоянная распада ядерных источников запаздывающих нейтронов для группы i .

Постоянная времени для процессов теплопередачи в активной зоне намного больше постоянной времени нейтронных процессов. Поэтому изменение тепловой мощности реактора отстает от изменения плотности нейтронного потока, т. е. имеет место тепловая инерция активной зоны. Физически это объясняется следующими причинами: а) малой теплопроводностью окисного топлива, работающего при высокой температуре; б) большой

теплоемкостью активной зоны из-за значительного количества двуокиси урана и большой массы металла внутрикорпусных устройств и кассет в реакторе. В результате любого останова реактора тепловая мощность спадает существенно медленнее плотности нейтронного потока за счет значительного количества аккумулированного в активной зоне тепла. К этому добавляется также остаточное тепловыделение от радиоактивного распада продуктов деления.

Для оценки аккумулированной теплоты необходимо определить изменение теплового потока от тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) к теплоносителю [3]. Тепловой поток может быть выражен через температурный напор между топливом и теплоносителем. Предположим, что профиль поля температур в топливе в переходном процессе не деформируется и теплопроводность постоянна по сечению ТВЭЛ. Тогда, пренебрегая аккумуляцией теплоты в оболочке, уравнение теплопроводности для цилиндрического ТВЭЛ запишем в виде

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{(\bar{T} - \bar{T}^*)}{\bar{t}} + q_v(\tau)/(\rho c), \quad (3)$$

где

$$\bar{t} = c\rho \frac{r}{2} \left(\frac{r}{4\lambda} + \frac{\delta'}{\lambda' r'} + \frac{\delta''}{\lambda'' r''} + \frac{1}{\alpha} \frac{r}{\dot{r}} \right). \quad (4)$$

Здесь $\bar{T}$ - средняя температура топлива; $\bar{T}^*$ - средняя температура теплоносителя; $q_v(\tau)$ - объемное удельное энергосодержание в топливе; ρ, c - плотность и теплоемкость топлива; r, r', r'' - средние радиусы топлива, газового зазора, оболочки; $\dot{r}$ - наружный радиус оболочки; $\lambda, \lambda', \lambda''$ - теплопроводность топлива, газового зазора, оболочки; δ', δ'' - толщина газового зазора, оболочки; α - коэффициент теплоотдачи от ТВЭЛ к теплоносителю.

После останова реактора в активной зоне остается источник тепловыделения $m(t)$, связанный с β - и γ - радиоактивным распадом продуктов деления урана и плутония, где $m(t)$ - процентное относительное энергосодержание от номинальной мощности одного деления. При этом большую опасность представляет остаточное энергосодержание в топливе за счет радиоактивного распада продуктов деления урана и плутония. Энергосодержание такого типа по времени происходит очень долго по сравнению с вышеуказанными энергосодержаниями, и поэтому ему уделяется наибольшее внимание при рассмотрении отвода тепла.

Различными авторами [1, 5 - 8, 10] были найдены зависимости $m(t)$, которые приведены в таблице. Исследованы и построены графики разных зависимостей $m(t)$ (рис 1а). Как следует из графиков, разность значений $m(t)$, рассчитанная по приведенным в таблице зависимостям, наибольшая в начальный момент распада (с момента аварийного останова реактора), а начиная с определенного времени, графики сближаются. При обеспечении безопасного отвода тепла большое внимание уделяется точности зависимости $m(t)$. На рис. 1б построены зависимости $m(t)$ с максимальным процентным

увеличением в соответствующем отрезке времени. Из рис. 1б следует, что максимальное значение $m(t)$ имеет кривая 4 на всем отрезке времени.

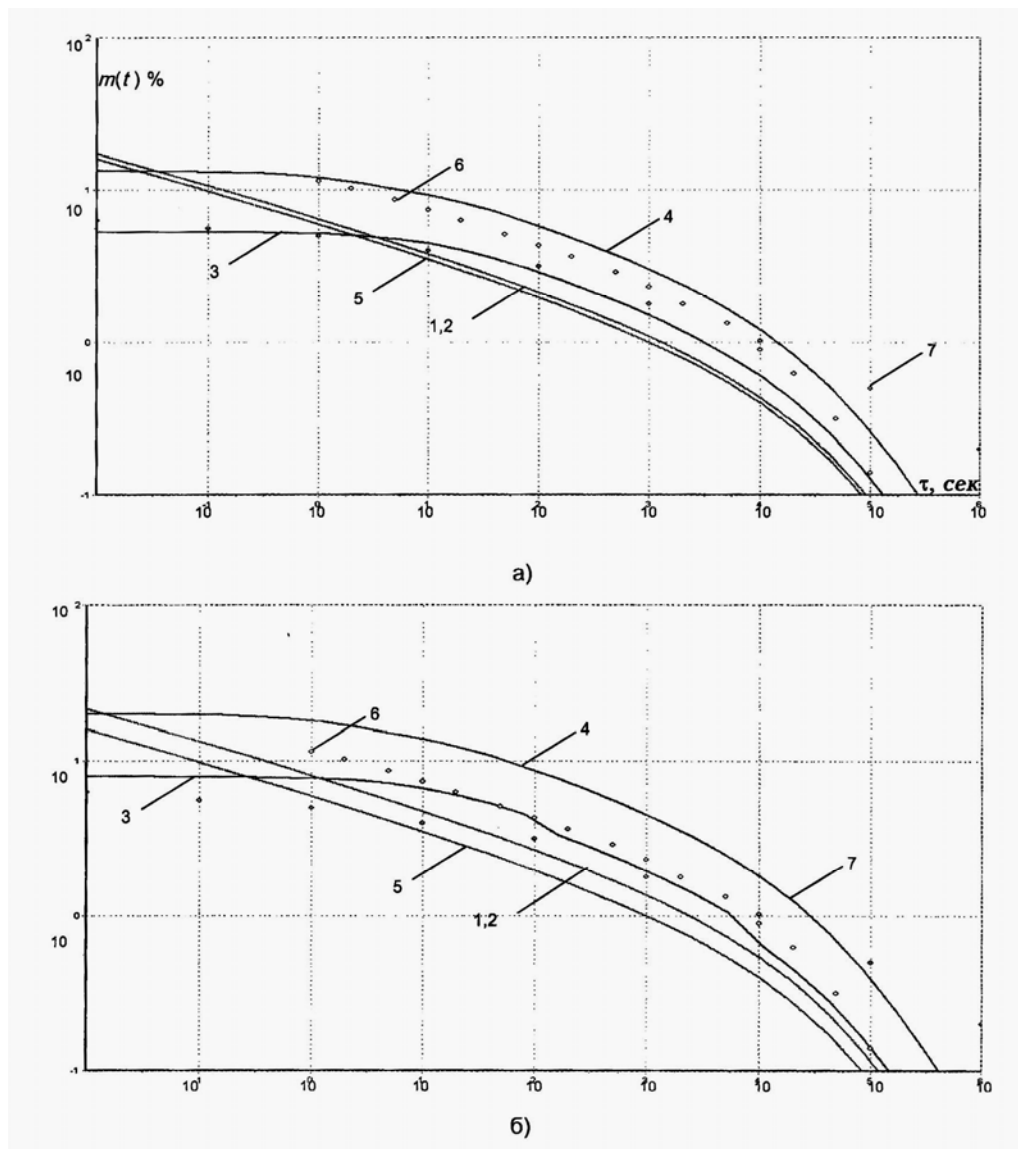


Рис.1. Графики относительных энерговыделений при аварийном останове реактора типа ВВЭР: а - без процентного увеличения, б - с максимальным процентным увеличением

Анализ этих кривых (рис.1) показывает, что между значениями $m(t)$, рассчитанными при помощи разных зависимостей, имеется довольно-таки большой разброс, и выбор той или иной зависимости для моделирования процесса остаточных тепловыделений и проектирования аварийных систем расхолаживания реакторной установки является весьма сложной задачей.

В настоящее время при проектировании и разработке реакторных установок используется ряд норм, правил и концепций, регламентированных соответствующими нормативными документами по безопасности. Одна из основополагающих концепций проектирования реакторных установок - концепция консервативного подхода [9], т. е. подхода к анализу аварий, при котором для параметров и характеристик принимаются значения и пределы, заведомо приводящие к более неблагоприятным результатам.

Согласно этой концепции, при анализе режимов работы систем аварийного расхолаживания реакторной установки величину остаточного энерговыделения нами предлагается определять по тем зависимостям, по которым в данном интервале времени она максимальна. Такой подход позволит спроектировать систему аварийного расхолаживания реакторной установки для усложненных режимов по максимуму остаточного энерговыделения из активной зоны, что обеспечит предельно возможную безопасность. Очевидно, что у спроектированной системы отвод тепла будет эффективным также при максимальных величинах остаточных энерговыделений.

Исходя из вышеизложенного, предлагается использовать для анализа режимов работы систем расхолаживания реакторной установки следующую зависимость $m(t)$ (см. рис 1б, кривая 4 и соответственно зависимость 4 в табл.):

Таблица

N	Формула	Автор	Диапаз. времени, с	Точность форм.	Лит.
1	$m(t) = 6.6 \cdot 10^{-2} [t^{-0.2} - (t + T_0)^{-0.2}]$	К. Вай и Э Вигнер	$10 \dots 10^5$	-	[5]
2	$m(t) = 6.62 \cdot 10^{-2} [t^{-0.2} - (t + T_0)^{-0.2}]$	Уэя-Фингера	$10 \dots 10^7$	-	[8]
3	$m(t) = 10 \cdot \left[\left\{ (t+10)^{-0.2} - (t+T_0+10)^{-0.2} \right\} + \left[(t+2 \cdot 10^{-1.2})^{-0.2} - (t+T_0+2 \cdot 10^{-1.2})^{-0.2} \right] \right]$	Унтер-майер и Уэллс	$1 \dots 10^2$ $10^2 \dots 10^4$ $10^4 \dots 10^6$ $10^6 \dots 10^8$	$\pm 50\%$ $\pm 30\%$ $\pm 10\%$ $\pm 50\%$	[4]
4	$m(t) = \int_t^{t+T_0} \left\{ \begin{aligned} &0.65 \cdot e^{-0.7t} + 0.60 \cdot e^{-0.4t} \\ &+ 0.009 \cdot e^{-0.03t} + 4(t+10)^{-1.2} \\ &+ 0.4(t+10^6)^{-1.2} - 3.48(t+2 \cdot 10^7)^{-1.2} \end{aligned} \right\}$	Пологих Б.Г.	$0,1 \dots 10^8$	$\pm 50\%$	[6]
5	$m(t) = 7.2 \cdot 10^{-2} [t^{-0.2} - (t + T_0)^{-0.2}]$	Дементьев Б.А.	$10 \dots 10^5$	$\pm 25\%$	[7]
6	Экспериментальная зависимость $m(t)$	Пологих Б.Г.	$10^5 \dots 10^8$ -	$\pm 50\%$ -	[6]
7	Расчетный код MS ISO 10645-92	PSAR	-	-	[1]

$$m(t) = \int_t^{t+T_0} \left\{ 0,65 \cdot e^{-0,7t} + 0,60 \cdot e^{-0,4t} + 0,009 \cdot e^{-0,03t} + \right. \\ \left. + 4(t+10)^{-1,2} + 0,4(t+10^6)^{-1,2} - 3,48(t+2 \cdot 10^7)^{-1,2} \right\} \cdot dt$$

Используя эту зависимость в режимах работы модели системы расхолаживания реакторной установки, заведомо создаются тяжелые условия теплоотвода, для которых производится оптимальный выбор схем и оборудования разрабатываемой системы. Такой подход при моделировании, очевидно, повысит надежность работы проектируемой системы и, тем самым, безопасность реакторной установки. Для уже спроектированных систем расхолаживания модель процесса тепловыделений, составленная при помощи зависимости 4 (табл.), позволит оценить возможности этих систем при различных авариях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предварительный отчет по обоснованию безопасности. Глава 10.-М.: Атомэнергопроект, 1999.-156 с.
2. **Овчинников Ф.Я., Цименов В.В.** Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов.-М.: Энергоатомиздат, 1988.- 283 с.
3. **Маргулова Т.Х.** Экономичность и безопасность атомных станций.-М.: Высшая школа,1984.- 224 с.
4. **Меррей Р.** Введение в ядерную технику.-М.: Изд. ИЛ, 1955.-175с.
5. **Нигматулин И.Н., Нигматулин Б.И.** Ядерные энергетические установки.-М.: Энергоатомиздат, 1986,-301с.
6. **Грибин А.А., Пологих Б.Г.** Остаточное энерговыделение продуктов деления ^{235}U тепловыми нейтронами // Атомная энергетика.-1981.-Т.51, вып.1.-С.16-19.
7. **Дементьев Б.А.** Кинетика и регулирование ядерных реакторов.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-280 с.
8. **Климов А.Н.** Ядерная физика и ядерные реакторы.-М.: Энергоатомиздат, 1985.- 287с.
9. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88) ПН АЭ Г-1-011-89. Госатомнадзор СССР.-М.:Энергоатомиздат,1990.-48с. (Правила и нормы в атомной энергетике).
10. **Геворгян. А.А., Оганесян Л.С., Худавердян А.Г.** Основы физики и эксплуатация реакторной установки ААЭС.-Мецамор, 2002.- 257с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.06.2006.

Ա.Մ. ԽԻԶԱՆՅԱՆ, Լ.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՄՆԱՑՈՐԴԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԱՄԱՆՁԱՏՈՒՄՆԵՐԸ ԶԶԷՌ ՏԻՊԻ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐԻ
ՎՅԱՐԱՅԻՆ ԿԱՆԳԱՌՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

Դիտարկվում են ատոմային էլեկտրակայանների միջուկային անվտանգության ապահովման հիմնահարցերը, վերլուծված են անցումային ջերմաֆիզիկական գործընթացները, որոնք առաջանում են ռեակտորային տեղակայանքում նրա վթարային անջատման ժամանակ, բերված են մնացորդային էներգաանջատումների մեծությունների մի շարք կախվածություններ՝ ժամանակից, վթարային կանգնեցված ռեակտորում, որոնք առաջարկված են տարբեր հեղինակների կողմից տարբեր ժամանակային տիրույթի համար: Հիմնվելով ատոմային էլեկտրակայանների անվտանգության հիմնական հայեցակետերի վրա՝ ռեակտորային տեղակայանքի վթարային հովացման համակարգի վերլուծության և համադրության համար առաջարկվում է կիրառել այն կախվածությունը, որի դեպքում մնացորդային էներգաանջատումների մեծությունը ամբողջ ժամանակային տիրույթի համար ամենամեծն է:

Առանցքային բաներ. ռեակտորի վթարային պաշտպանություն, ակումուլացված ջերմություն, ատոմային էլեկտրական կայան, ատոմային էներգետիկա, անվտանգություն, նեյտրոնային հոսք, մնացորդային էներգաանջատում, բաժանման ռեակցիա, ռեակտորի ջերմային հզորություն:

A.M. KHIZANTSYAN, L.S. HOVHANNISYAN

SHUTDOWN HEAT AT EMERGENCY HOT STAND REACTORS
OF WWER TYPE

Problems of nuclear safety maintenance at nuclear power plants are discussed. Transitive thermal-physical processes arising in the installation at its emergency switching-off are analyzed. A number of dependences of shutdown heat under abnormal condition for stopping the reactor offered by various authors for different ranges of time are shown. Being based on the basic concepts of nuclear power plants safety, the authors suggest to use the dependence at which the use of the size shutdown heat of quantity in all ranges of time is maximal for the analysis and synthesis of systems emergency after cooling reactor installations.

Keywords: reactor protection system, accumulated heat, nuclear power plant, nuclear industry, safety, neutron flux, residual heat, fission reaction, reactor thermal power.

З.А. МИНАСЯН, Х.Г. СУЛТАНЯН

МЕТОД РАСЧЕТА ТЕПЛООТДАЧИ В ЛОБОВОЙ ЧАСТИ ПОПЕРЕЧНО ОБТЕКАЕМЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Ставится задача расчета поля течения в пограничном слое, формируемом в лобовой части поперечно обтекаемых цилиндрических тел, с учетом турбулентности набегающего потока. Преимущества метода расчета в том, что, уменьшая шаг $\Delta\varphi$, можно с большой точностью определить коэффициент теплоотдачи в данной точке контура.

Ключевые слова: теплоотдача, пограничный слой, турбулентность, температура, коэффициент.

Разработка конструкций эффективных теплообменных аппаратов и определение способов их рациональной эксплуатации базируются на использовании методов физического и математического моделирования течения и теплообмена вблизи элементов, составляющих теплообменный аппарат (изолированная труба, пакеты труб, пластины). Основное назначение моделирования заключается в получении информации о коэффициенте гидравлических потерь и коэффициенте теплообмена между стенкой элемента теплообменного аппарата и омывающим ее теплоносителем. Изучение местной (локальной) теплоотдачи по всему периметру поперечно обтекаемых цилиндрических тел представляет весьма актуальную задачу и способствует раскрытию особенностей процесса теплоотдачи в целом. Значение местной теплоотдачи по всему периметру цилиндрического тела в условиях высоких тепловых нагрузок поможет спрогнозировать местоположение опасных сечений, а также решить вопросы интенсификации процесса теплоотдачи.

В данной работе ставится задача расчета поля течения в пограничном слое, формируемом в лобовой части поперечно обтекаемых цилиндрических тел, с учетом турбулентности набегающего потока. Течение вязкого сжимаемого газа в турбулентном пограничном слое при пренебрежении членами, содержащими [1-3], описывается уравнениями в частных производных параболического типа [1-5], дополненного добавочной вязкостью, возникающей вследствие турбулентности набегающего потока:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = \rho_e u_e \frac{\partial u_e}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (\mu + \mu_T + \mu_{Tu}) \frac{\partial u}{\partial y}, \\ \rho u \frac{\partial i}{\partial x} + \rho v \frac{\partial i}{\partial y} = u \rho_e \frac{\partial i_e}{\partial x} + (\mu + \mu_T + \mu_{Tu}) \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \\ + \frac{\partial}{\partial y} (\mu / Pr + \mu_T / Pr_T + \mu_{Tu} / Pr_{Tu}) \frac{\partial i}{\partial y}, \\ \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) = 0; \rho i = \rho_e i_e, \end{array} \right. \quad (1)$$

где x, y - координаты вдоль периметра цилиндрического тела и перпендикулярно ему; i - статическая энтальпия газа; u, v - компоненты скорости газа по осям x и y ; μ, ρ - молекулярная динамическая вязкость и плотность газа; p - давление; Pr - число Прандтля; Pr_T и Pr_{Tu} - турбулентные числа Прандтля; μ_T - турбулентная вязкость; μ_{Tu} - добавочная вязкость, возникающая вследствие турбулентности набегающего потока.

К системе дифференциальных уравнений необходимо добавить следующие граничные условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{при } y = 0 \quad u(x, 0) = 0; \quad v(x, 0) = 0; \quad i(x, 0) = i_e, \\ \text{при } y \rightarrow 0 \quad \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) = U_e; \quad \lim_{y \rightarrow 0} i(x, y) = i_e. \end{array} \right. \quad (2)$$

Рассматривается двуслойная модель турбулентного пограничного слоя, характеризующаяся внутренней и внешней областями [2, 3].

Во внутренней области пограничного слоя динамическая турбулентная вязкость представляется следующим выражением [2-3]:

$$(\mu_T)_i = \rho (v_T)_i = \rho \kappa^2 y^2 [1 - \exp(-y/A)]^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|, \quad (3)$$

где κ - коэффициент пропорциональности в выражении для пути перемещения при турбулентном переносе импульса ($\kappa=0,4$); A - характерная длина затухания пульсаций скорости по мере приближения к стенке, равная

$$A = 26 \frac{v}{v_*} (\rho / \rho_w)^{1/2} \left/ \left[1 - 11,8 \cdot \frac{\mu_w}{\mu_e} (\rho_e / \rho_w)^2 P^+ \right] \right|^{1/2},$$

где

$$P^+ = \frac{v_e u_e}{v_*^3} \cdot \frac{du_e}{dx}; \quad v_* = (\tau_w / \rho_w)^{1/2},$$

P^+ - параметр градиента давления; v_* - динамическая скорость на стенке; ν - кинематическая вязкость газа; τ - касательное напряжение.

Во внешней области пограничного слоя динамическая турбулентная вязкость имеет вид [2, 3]

$$(\mu_T)_0 = \rho (v_T)_0 = \rho K_o \left| \int_0^\infty (u_e - u) dy \right| \gamma \bullet, \quad (4)$$

где K_o - коэффициент пропорциональности ($K_o = 0,016 \dots 0,018$); $\gamma \bullet$ - коэффициент перемежаемости, который можно определить по соотношению [4]

$$\gamma \bullet = [1 + 5,5(y/\delta)^6]^{-1},$$

δ - толщина пограничного слоя.

Граница двух областей определяется естественным условием непрерывного изменения турбулентной вязкости:

$$(\mu_T)_i = (\mu_T)_0, \quad (5)$$

т.е. динамическая турбулентная вязкость вычисляется по формуле (3) до тех пор, пока не будет выполнено равенство (5).

Для ламинарного пограничного слоя $(\mu_T) = 0$. Относительная динамическая вязкость μ/μ_e определяется по формуле Сатерленда [1]

$$\mu/\mu_e = \left(\frac{T}{T_e} \right)^{1.5} \frac{T_e + T_s}{T + T_s}, \quad (6)$$

где T_s - постоянная Сатерленда. Для воздуха $T_s \approx 122$ K, для дымовых газов среднего состава ($p_{CO_2} = 0,13$, $p_{H_2O} = 0,11$, $p_{N_2} = 0,76$): $T_s \approx 157$.

Динамическая вязкость воздуха и дымовых газов среднего состава в зависимости от температуры достаточно удовлетворительно описывается следующей формулой:

$$\mu = 1,5055 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{T^{1.5}}{T + T_s}. \quad (7)$$

Для воздуха число Прандтля практически не зависит от температуры и принимается равным $Pr = 0,71$. Для дымовых газов среднего состава число Прандтля в зависимости от температуры достаточно удовлетворительно можно описать формулой

$$Pr = 0,76595 - 0,0002073 \cdot T + 0,0000000T^2, \quad (8)$$

где T - абсолютная температура газа.

Турбулентные числа Прандтля принимаются постоянными по всему пограничному слою и равными $Pr_{T_u} = 0,8$ и $Pr_T = 0,9$ [2, 3].

Добавочная вязкость, возникающая вследствие турбулентности набегающего потока, учитывается следующей модифицированной зависимостью [4]:

$$\mu_{Tu} = L \frac{T_u}{100} \delta u_n n \bullet, \quad (9)$$

где T_u - степень турбулентности набегающего потока; $L \approx 0,15$ - эмпирическая константа; $n \bullet$ - демпфирующий фактор:

$$n \bullet = \left[1 - \cos \left(\pi \left(\frac{y}{\delta} \right)^K \right) \right] / 2 ,$$

K - функция числа Прандтля, аналитически выражаемая в виде [2]

$$K = 2 \cdot \lg Pr + 1,37 .$$

Переход от расчета ламинарного пограничного слоя к расчету турбулентного пограничного слоя осуществляется автоматически по критерию Ван-Дриста [5], состоящему в том, что в точке перехода значение числа Рейнольдса завихренности должно где-то в потоке достигнуть предельной величины:

$$Re_y = y^2 \frac{du}{dy} \rho / \mu \leq [Re_y] = 1600 - 2000 .$$

Для замыкания системы уравнений за основу принималось потенциальное распределение (u_e) скорости на внешней границе пограничного слоя [4]:

а) для круглого цилиндра:

$$u_e = 2u_H \sin \varphi ,$$

где u_H - скорость набегающего потока; φ - угол отсчета от лобовой критической точки цилиндра;

б) для эллиптических цилиндров:

$$u_e = u_H \frac{1 + b/a}{\sqrt{1 + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \operatorname{ctg}^2 \varphi}} ,$$

где a и b - полуоси эллиптических цилиндров, причем a может быть и больше, и меньше b .

Расчеты проводились как при постоянной температуре поверхности цилиндров $T_w = \text{const}$, так и при степенном изменении температуры поверхности цилиндров в доотрывной зоне:

$$T_w(x) = T_H + [T_w(o) - T_H] \cdot \left(\frac{x}{d_s} \right)^{n_1} ,$$

где $T_w(o)$ - абсолютная температура поверхности цилиндров в лобовой с (передней) критической точке; T_H - абсолютная температура набегающего потока; $d_s = 4S/l$ - эквивалентный диаметр цилиндров; S - площадь профиля; l - длина профиля; n_1 - показатель степени.

При известном законе распределения скорости на внешней границе пограничного слоя можно определить распределения температур и чисел Маха:

$$T_e = T_H \left[1 + \frac{k-1}{2} \cdot M_H^2 \left(1 - \frac{u_e^2}{u_H^2} \right) \right] ,$$

$$M_e = \frac{u_e}{\sqrt{kRT_e}},$$

где k - показатель адиабаты; R - газовая постоянная.

Для воздуха и дымовых газов среднего состава:

$$k = 1,4 \text{ и } R = 287 \text{ Дж/кг(К)}.$$

Для удобства численного интегрирования преобразуем систему уравнений (1) к безразмерному виду. Для этого в качестве новых переменных введем переменные Лиза [1-3]:

$$\xi(x) = \int_0^x \rho_e \mu_e u_e dx; \eta(x, y) = \frac{u_e}{\sqrt{2\xi}} \cdot \int_0^y \rho dy. \quad (10)$$

Введем также функции:

$$f_\eta = u/u_e \text{ и } h_\eta = i/i_e. \quad (11)$$

Если ввести функцию тока такую, что;

$$\partial \psi / \partial y = \rho u \text{ и } \partial \psi / \partial x = -\rho v, \quad (12)$$

то уравнение неразрывности полностью удовлетворяется. Применением новых переменных (10) система уравнений (1) приводится к системе, содержащей безразмерные величины скорости и энтальпии (подстрочные индексы η или ξ внизу означают производные по этим переменным):

$$\begin{cases} (m f_{\eta\eta})_\eta + f f_{\eta\eta} + \beta (h_\eta - f_\eta^2) = \alpha \cdot (f_\eta f_{\eta\xi} - f_\xi f_{\eta\eta}), \\ (m \cdot h_{\eta\eta})_\eta + f \cdot h_{\eta\eta} + \gamma \cdot m \cdot f_{\eta\eta}^2 = \alpha \cdot (f_\eta h_{\eta\xi} - f_\xi h_{\eta\eta}), \end{cases} \quad (13)$$

где приняты следующие обозначения:

$$\begin{cases} m = \left[(\mu + \mu_T + \mu_{Tu} / \mu_e) \left(\frac{1}{h_\eta} \right) \right]; \beta = \frac{2\xi}{Ue} \cdot \frac{\partial u_e}{\partial \xi}, \\ \alpha \bullet = 2\xi; m \bullet = \left[(\mu / Pr + \mu / Pr_T + \mu_{Tu}) / \mu_e \left(\frac{1}{h_\eta} \right) \right], \\ \gamma = (k - 1) \cdot M_e^2. \end{cases}$$

Граничные условия (2) запишутся в виде

$$\begin{cases} \text{при } \eta = 0 & f_\xi = f = h = f_\eta = 0; h_\eta = F(\xi, Me, Tw / Te), \\ \text{при } \eta = \eta_e & f_\eta = 1; h_\eta = 1 \end{cases} \quad (14)$$

(значение η_e задается достаточно большим, чтобы при $\eta \rightarrow \eta_e$ $f_{\eta\eta} \rightarrow 0$ и $h_{\eta\eta} \rightarrow 0$).

Приняв обозначения:

$$\begin{cases} a_{11} = m; & a_{12} = (m_{\eta} + f + \alpha^{\circ} f_{\xi}), & a_{13} = -\alpha^{\circ} f_{\eta}, \\ a_{14} = -\beta f_{\eta}; & a_{15} = \beta h_{\eta}; & a_{21} = m^{\circ}; & a_{22} = (m_{\eta}^{\circ} + f + \alpha^{\circ} f_{\xi}), \\ a_{23} = -\alpha^{\circ} f_{\eta}; & a_{24} = \gamma m f_{\eta\eta}^2; & a_{25} = 0, \end{cases} \quad (15)$$

система уравнений (13) приводится к следующему виду:

$$\begin{cases} a_{11} f_{\eta\eta\eta} + a_{12} f_{\eta\eta} + a_{13} f_{\eta\xi} + a_{14} f_{\eta} + a_{15} = 0, \\ a_{21} h_{\eta\eta\eta} + a_{22} h_{\eta\eta} + a_{23} h_{\eta\xi} + a_{24} + a_{25} = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Для решения системы уравнений (13) с граничными условиями (14) на плоскости $(\eta; \xi)$ введем прямоугольную сетку:

$$\begin{cases} \xi_j = j\Delta\xi; & j = 0; 1; \dots, J, \\ \eta_n = n\Delta\eta; & n = 0; 1; \dots, N, \end{cases}$$

где $\Delta\xi$ и $\Delta\eta$ - соответственно шаги сети по осям ξ и η .

Принимается $\eta_{\max} = 10$;

$$\begin{cases} \eta_{\max}/100 \geq \Delta\eta \geq \eta_{\max}/1000, \\ \xi_{\max}/50 \geq \Delta\xi \geq \xi_{\max}/200, \end{cases}$$

где $\xi_{\max} = (\rho_e \mu_e u_e)_{\max} \cdot x_{\max}$.

Систему уравнений (16) перепишем в следующем виде:

$$\begin{cases} \sigma(a_{11} f_{\eta\eta\eta})_{j,n} + (1-\sigma)(a_{11} f_{\eta\eta\eta})_{j+1,n} + \sigma(a_{12} f_{\eta\eta})_{j,n} + (1-\sigma)(a_{12} f_{\eta\eta})_{j+1,n} + \\ + [\sigma(a_{13})_{j,n} + (1-\sigma)(a_{13})_{j+1,n}] \cdot [(f_{\eta})_{j+1,n}^{\circ} - (f_{\eta})_{j,n}] \cdot \frac{1}{\Delta\xi} + \sigma(a_{14} f_{\eta})_{j,n} + \\ + (1-\sigma)(a_{14} f_{\eta})_{j+1,n} + \sigma(a_{15})_{j,n}^{\circ} + (1-\sigma)(a_{15})_{j+1,n} = 0, \\ \sigma(a_{21} h_{\eta\eta\eta})_{j,n} + (1-\sigma)(a_{21} h_{\eta\eta\eta})_{j+1,n} + \sigma(a_{22} h_{\eta\eta})_{j,n} + (1-\sigma)(a_{22} h_{\eta\eta})_{j+1,n} + \\ + [\sigma(a_{23})_{j,n} + (1-\sigma)(a_{23})_{j+1,n}] \cdot [(h_{\eta})_{j+1,n} - (h_{\eta})_{j,n}] \cdot \frac{1}{\Delta\xi} + \sigma(a_{24})_{j,n} + \\ + (1-\sigma)(a_{24})_{j+1,n} = 0, \end{cases} \quad (17)$$

где $0 \leq \sigma \leq 1$ - так называемый весовой множитель или параметр усреднения.

При расчетах принимается $\sigma = 0,5$. Производя замену дифференциальных операторов системы уравнений (17) разностными операторами [6], после ряда преобразований получим

$$\begin{cases} b_{11}f_{j+1,n-2} + b_{12}f_{j+1,n-1} + b_{13}f_{j+1,n} + b_{14}f_{j+1,n+1} + b_{15}f_{j+1,n+2} + b_{16} + b_{17} = 0, \\ b_{21}h_{j+1,n-2} + b_{22}h_{j+1,n-1} + b_{23}h_{j+1,n} + b_{24}h_{j+1,n+1} + b_{25}h_{j+1,n+2} + b_{26} + b_{27} = 0, \end{cases} \quad (18)$$

где коэффициенты b_{ij} выражаются через коэффициенты a_{ij} .

Для решения системы уравнений (18) с граничными условиями (14) введем следующую разностную сетку (рис. 1).

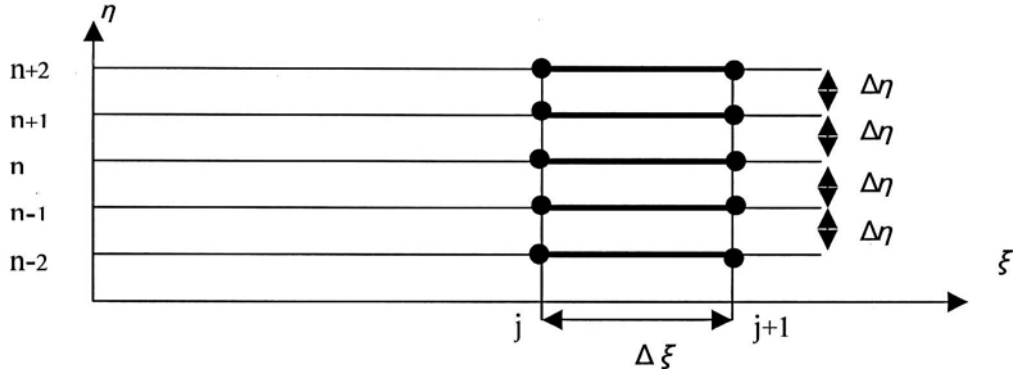


Рис. 1

Система уравнений (18) определяет значения $f_{j+1,n}$ и $h_{j+1,n}$ на слое $j+1$, если известны значения $f_{j,n}$ и $h_{j,n}$ на слое j . Она решается методом прогонки [6, 7].

Используя систему уравнений (18) и рекуррентные соотношения вида

$$\begin{cases} f_{j+1,n} = A1_n f_{j+1,n+2} + B1_n f_{j+1,n+1} + C1_n, \\ f_{j+1,n-1} = A1_{n-1} f_{j+1,n+1} + B1_{n-1} f_{j+1,n} + C1_{n-1}, \\ f_{j+1,n-2} = A1_{n-2} f_{j+1,n} + B1_{n-2} f_{j+1,n-1} + C1_{n-2}; \\ h_{j+1,n} = A2_n h_{j+1,n+2} + B2_n h_{j+1,n+1} + C2_n, \\ h_{j+1,n-1} = A2_{n-1} h_{j+1,n+1} + B2_{n-1} h_{j+1,n} + C2_{n-1}, \\ h_{j+1,n-2} = A2_{n-2} h_{j+1,n} + B2_{n-2} h_{j+1,n-1} + C2_{n-2}, \end{cases} \quad (19)$$

находим формулы для подсчета прогоночных коэффициентов $A1_n, B1_n, C1_n, A2_n, B2_n, C2_n$.

Пользуясь граничным условием на стенке, находим значения прогоночных коэффициентов: $A1_0=B1_0=C1_0=A2_n=B2_n=C2_0=0$. Пользуясь разложением функций f и h для первой и второй точек поперек пограничного слоя в ряд

Тейлора, находим значения прогоночных коэффициентов $A1_0=0$; $B1_0=0$; $C1_0=0$; $A2_1=0$; $B2_1=0,25$; $C2_1=0,5 \Delta\eta(h_\eta)_{j+1,0}$.

В начале счета значения функций f и h задаются соответственно из решений Хоурта и по соотношению Крокко [2]. Заданием этих функций определяются все прогоночные коэффициенты (прямая прогонка): $A1_n$; $B1_n$, $C1_n$, $B2_n$, $C2_n$. Далее производится обратная прогонка для нахождения первых приближений функций f и h ($f_{j+1,n}^1$ и $h_{j+1,n}^1$). Для этого, пользуясь граничным условием при $\overset{\circ}{\eta} = \eta_e$, $(f_\eta)_N \rightarrow 1$ и $(h_\eta)_H \rightarrow 1$ и разложением функций f и h для двух последних точек поперек пограничного слоя в ряд Тейлора, находим значения функций f и h в двух последних точках:

$$f_{j+1,N} = \frac{(2 - B1_{N-2})\Delta\eta + C1_{N-2}}{1 - A1_{N-2} - B1_{N-2}}, \quad h_{j+1,N} = \frac{(2 - B2_{N-2})\Delta\eta + C2_{N-2}}{1 - A2_{N-2} - B2_{N-2}},$$

$$f_{j+1,N-1} = f_{j+1,N} - \Delta\eta; \quad h_{j+1,N-1} = h_{j+1,N} - \Delta\eta.$$

Затем по рекуррентным соотношениям (19) определяются остальные значения функций f и h ($f_{j+1,n}^{III}$ и $h_{j+1,n}^{II}$). Счет продолжается до тех пор, пока во всех точках поперек пограничного слоя не будет выполнено условие гладкого сопряжения:

$$\begin{aligned} |f_{j+1,n}^{i+1} - f_{j+1,n}^i| / f_{j+1,n}^i &\leq \varepsilon, \\ |h_{j+1,n}^{i+1} - h_{j+1,n}^i| / h_{j+1,n}^i &\leq \varepsilon, \end{aligned} \quad (20)$$

где ε - малое положительное число; i - номер приближения (итерации).

Пользуясь формулами замены дифференциальных операторов разностными, можно найти значения $(f_\eta)_{j+1,n}$; $(f_{\eta\eta})_{j+1,n}$; $(h_\eta)_{j+1,n}$ $(h_{\eta\eta})_{j+1,n}$.

Производная f_ξ , входящая в коэффициенты a_{12} и a_{22} , заменяется односторонней конечной разностью:

$$(f_\xi)_{j+1,n} = \frac{f_{j+1,n} - f_{j,n}}{\Delta\xi}. \quad (21)$$

Расчеты проводились для круглых цилиндров с диаметрами $d=32$ мм и $d=50$ мм и для эллиптических цилиндров с размерами $2a=60$ мм, $2b=30$ мм и $2a=30$ мм, $2b=60$ мм в вынужденных потоках воздуха и дымовых газов среднего состава как при их нагревании, так и при охлаждении. Степень турбулентности набегающего потока в расчетах варьировалась от 0 до 10% (рис.2).

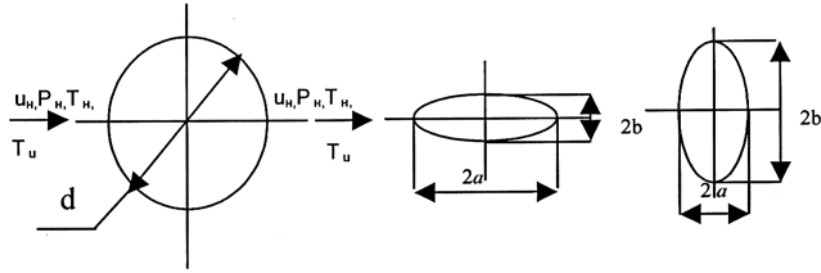


Рис. 2

Расчет начинается от передней критической точки цилиндрических тел, где $\beta = 1$, и с шагом $\Delta\varphi = 0,5^\circ$ продолжается до точки отрыва потока от поверхности цилиндрических тел. Эта точка определялась как точка, в которой касательное напряжение на стенке обращается в нуль, т.е.

$$\tau_w = \mu_w \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y \rightarrow 0} = 0.$$

Давление P_n набегающего потока менялось от атмосферного до 1,5 МПа, а скорость набегающего потока: $U_n = 10 \dots 15$ м/с. Тепловой поток (q_w) к стенке цилиндрического тела или от него (охлаждение или нагревание газов), касательное напряжение (τ_w) на стенке и коэффициент теплоотдачи (α) соответственно равны:

- в передней критической точке:

$$\begin{aligned} q_w &= \lambda_w T_e (h_{\eta\eta})_{j,0} \rho_w \frac{(\partial u_e / \partial x)^{0.5}}{\sqrt{\rho_e \cdot \mu_e}}; \quad \tau_w = 0, \\ \alpha &= \lambda_w \rho_w (h_{\eta\eta})_{j,0} \left(\frac{\partial u_e}{\partial x} \right) / [1 - (h_{\eta})_{j,0}] \sqrt{\rho_e \mu_e}; \end{aligned} \quad (22)$$

- в остальных точках по контуру цилиндрического тела:

$$\begin{aligned} q_w &= \frac{\lambda_w u_e T_e}{\sqrt{2\xi}} \rho_w (h_{\eta\eta})_{j,0}; \quad \tau_w = \mu_w \frac{U_e^2 \rho_w}{\sqrt{2\xi}} (f_{\eta\eta})_{j,0}, \\ \alpha &= \lambda_w \rho_w (h_{\eta\eta})_{j,0} u_e / [1 - (h_{\eta})_{j,0}] \cdot \sqrt{2\xi}, \end{aligned}$$

где λ_w - коэффициент теплопроводности газа, взятый по температуре стенки T_w :

$$\lambda_w = 0,0245 \cdot T_w^{0.82} \cdot 10^{-2} \text{ [Вт/м К]}.$$

Результаты численных решений представлены на рис.3.

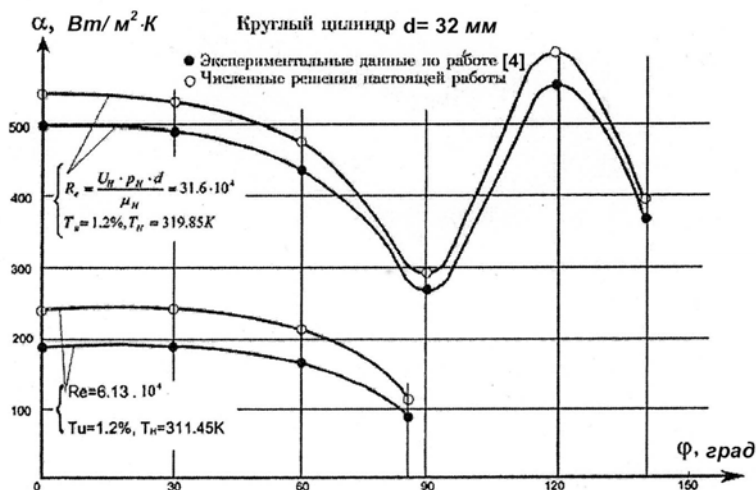


Рис. 3

Получено хорошее согласование результатов численных решений по теплоотдаче с теоретическими и экспериментальными данными других авторов [4].

Преимущество этого метода расчета, в сравнении с другими методами [3, 4, 8, 10], заключается в том, что, уменьшая шаг $\Delta\varphi$, можно с большой точностью определить коэффициент теплоотдачи в данной точке контура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамович Г.Н.** Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1976. – 824 с.
2. **Романенко П.Н.** Гидродинамика и тепломассообмен в пограничном слое: Справочник. – М.: Энергия, 1974. – 464 с.
3. **Себеси Т.** Расчет сжимаемого турбулентного пограничного слоя при наличии тепло- и массообмена // Ракетная техника и космонавтика. – 1971. – Т.9, № 6. – С. 121-129.
4. **Жукаускас А.А., Жюгжда И.И.** Теплоотдача цилиндра в поперечном потоке жидкости. – Вильнюс: Мокслас, 1979. – 240 с.
5. **Ван-Дрифт, Блумер.** Влияние турбулентности внешнего течения и градиента давления на переход в пограничном слое ламинарной формы течения в турбулентную // Ракетная техника и космонавтика. Вып.1. – 1963. – Т.1, № 6. – С.25-29.
6. **Самарский А.А.** Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977.
7. **Пасканов В.М.** Стандартная программа для решения задач пограничного слоя // В. сб.: Численные методы в газовой динамике. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1963. – С. 110-116.
8. **Белов И.А., Гинзбург И.П.** О полуэмпирических методах расчета турбулентных течений // Вестник Ленинградского университета. – Л., 1975. – № 1. – С. 159-170.
9. **Шлихтинг Г.** Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1969. – 741 с.

Гюмрийский филиал ГИУА, Гюмрийский педаг. ин-т. Материал поступил в редакцию 20.01.2006.

Զ.Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Խ.Գ. ՍՈՒԼԹԱՆՅԱՆ

ԳԼԱՆԱԿԱՆ ՄԱՐՄՆԻ ԼԱՅՆԱԿԱՆ ՈՂՈՂՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՋԵՐՄԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎՄԱՆ
ՄԵԹՈԴ

Խնդիր է դրված հաշվարկել սահմանային շերտում հոսքի դաշտը, որը ձևավորվում է գլանաձև մարմինների ճակատային մասում՝ հաշվի առնելով վրավազ հոսքի մրրկայնությունը: Հաշվարկի մեթոդի առավելությունն այն է, որ փոքրացնելով $\Delta\varphi$ քայլը, կարելի է մեծ ճշտությամբ որոշել ջերմափոխանցման գործակիցը կոնտուրի տրված կետում:

Առանցքային բառեր. ջերմափոխանցում, սահմանային շերտ, մրրկայնություն, ջերմաստիճան, գործակից:

Z.A. MINASYAN, Kh.G. SULTANYAN

METHOD OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER CALCULATION IN FRONT
SECTION OF HORIZONTAL STREAMLINED CYLINDRICAL BODIES

The problem of flow field design in the boundary layer formed in the front section of horizontal streamlined cylindrical bodies accounting turbulence of coming flow is discussed. The advantages of this calculation method compared with other methods is that minimizing $\Delta\varphi$ step it is possible to design with greater accuracy the coefficient of convective heat transfer in the given point of the contour.

Keywords. convective heat transfer, boundary layer, turbulence, temperature, coefficient.

Ա.Ե. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ

ՀԵԼԼԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՎ ԿԱՀԱՎՈՐՎԱԾ ԿՈՆԴԵՆՍԱՑԻՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՑԱՆԻ ՆԵՐԿԱՑԱՆԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Դասակարգված են Հելլերի համակարգով կահավորված էներգաբլոկների տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների բարելավման գոյություն ունեցող մեթոդները: Մշակված է բնական քարշի մեկ ընդհանուր աշտարակում հավաքված երկու տարբեր էներգաբլոկների հովացման համակարգերի փոխադրեցության հաշվարկի ալգորիթմ:

Առանցքային բառեր. Հելլերի համակարգ, էներգաբլոկ, բնական քարշի աշտարակ, ներկայանային ռեժիմ, ռեգրեսիոն (հետընթաց) վերլուծություն:

Ի տարբերություն թաց համակարգերով կամ օդային կոնդենսատորներով կահավորված ՋԷԿ-երի, Հելլերի համակարգով կահավորված կայանների ռեժիմների հետազոտումն ու լավարկումն ունի որոշ առանձնահատկություններ: Մի կողմից, այն արտահայտվում է առանձին էներգաբլոկների բնութագրերի փոփոխականությամբ, ինչը պայմանավորված է հովարանում սյուների արտաքին մակերևույթի մաքրության աստիճանով, հովարանում խցափակված սյուների, իսկ սյուներում՝ խցափակված խողովակների առկայությամբ: Մյուս կողմից, հովարաններն իրար միացնող միջակայերի առկայությունը, որը կարելի է նաև համարել որոշակի նահանջ բլոկային հարմարադասումից, հնարավորություն է տալիս ներկայանային ռեժիմների լավարկումն իրականացնել ոչ միայն աշխատող էներգաբլոկների միջև հզորությունների բաշխմամբ, այլև պաշարում գտնվող էներգաբլոկների հովարանների առավել շահավետ օգտագործմամբ՝ աշխատող էներգաբլոկների հովարանների հետ զուգահեռ միացման միջոցով:

ԿԷԿ-ի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների բարձրացմանը նպատակաուղղված աշխատանքները, որոնք պայմանավորված են էներգաբլոկների՝ Հելլերի չոր համակարգերով կահավորված լինելու հանգամանքով, հիմնականում սահմանափակվում են առանձին էներգաբլոկի կամ հովարանի կտրվածքով կատարված դիտարկումներով: Դրանք պայմանականորեն կարելի է բաժանել երեք խմբի՝ առաջինում առանձնացնելով այն աշխատանքները, որոնք հիմնված են հովարանի ջերմային բեռի այս կամ այն կերպ նվազեցման վրա, երկրորդում՝ որոնք հանգեցնում են էներգաբլոկի ցուցանիշների բարելավմանը՝ հովացման համակարգի աշխատանքի արդյունավետության բարձրացման միջոցով, իսկ երրորդում՝ այն տարբերակները, որոնց իրականացումը հանգեցնում է հովացման համակարգի հուսալիության բարձրացմանը:

Կոնդենսատորում նոսրացման խորացման ուղիները հովարանների ջերմային բեռի նվազեցման միջոցով

- հովարանների զուգահեռ միացում,
- միջանկյալ գերտաքացման ջերմաստիճանի նվազեցում,
- տեղակայման ռեգեներացիայի զարգացումը սնող ջրի և կամ կաթսա տրվող օդի համար [1],

- խառնման կոնդենսատորի վերին մասում մակերևութային կոնդենսատորի տեղադրում:

Կոնդենսատորում նոսրացման խորացման ուղիները հովացման համակարգի արդյունավետության բարձրացման միջոցով

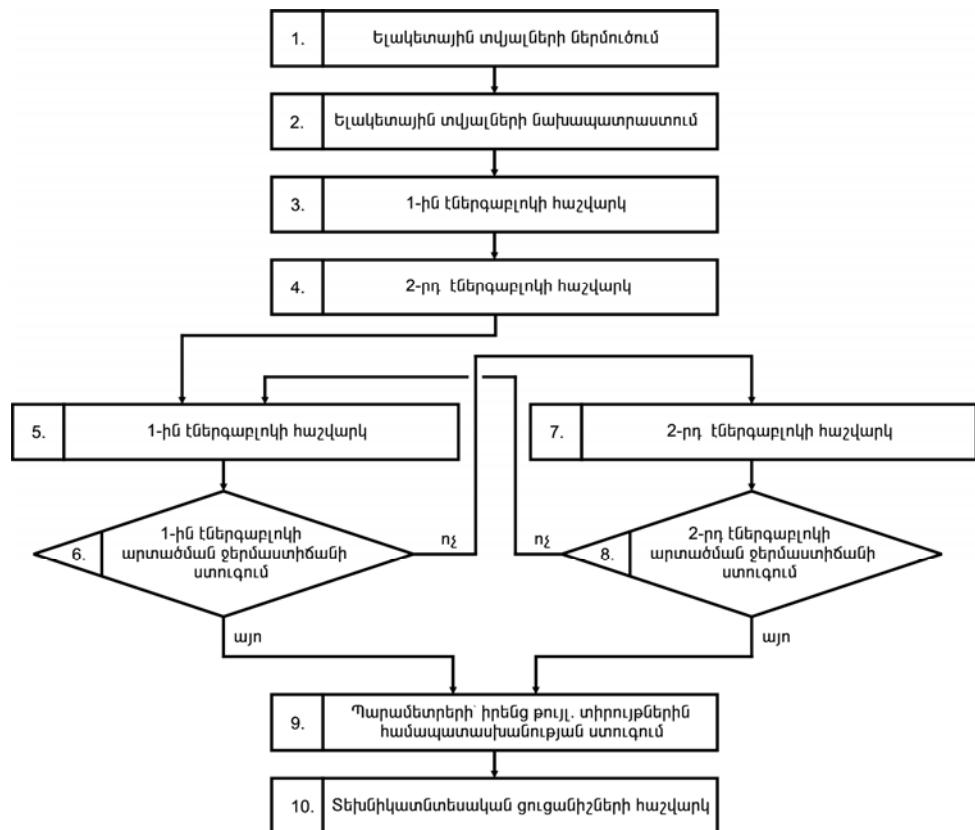
- հովացնող օդի նախնական խոնավացում,
- լվացում [2],
- լրացուցիչ հովացման մակերևութների տեղադրում,
- շրջանառու ջրի ծախսի ավելացում:

Հովացման համակարգի հուսալիության բարձրացման միջոցներ

- պիկային հովացուցիչների կիրառում [2],
- վիբրատորների կիրառում,
- օդի նախնական խոնավացման համար մոնտաժված կանգնակներով (փողրակներով հանդերձ) տրվող շոգու միջոցով միացվելիք սեկտորների մետադի նախօրոք տաքացում ձևաձև սեզոնին:

Նշված տարբերակներից միայն առաջինն է (հովարանների զուգահեռ միացումը), որ դուրս է գալիս առանձին էներգաբլոկի սահմաններից և հնարավորություն է տալիս ՋԷԿ-ի ցուցանիշների լավացման միջոցառումներ իրականացնել նաև ելնելով կայանում տարվող ռեժիմից: Սակայն կատարված ուսումնասիրությունները բավարարվում են միայն զուգահեռ միացված հովարանների հաշվարկով և չեն անդրադառնում միացումների հնարավոր տարբերակների նպատակահարմարությանը: Այն առավել մանրամասն քննարկված է [3]-ում, որտեղ տրված են նաև հովարանների զուգահեռ աշխատանքի հնարավոր բացասական հետևանքները: Հովարաններն ընդհանուր առմամբ կարող են միմյանցից տարբերվել ոչ միայն միացված սյուների քանակով ու դրանց մաքրության աստիճանով, այլ նաև բարձրությամբ, ելքի տրամագծով, ջերմափոխանակիչների տիպով և այլն: Այս դեպքում միմյանց հետ զուգահեռ միացված յուրաքանչյուր առանձին հովարանի հաշվարկի ժամանակ անհրաժեշտ է որպես ելակետային ընդունել հովարան մտնող շրջանառու ջրի ջերմաստիճանը և ծախսը, այնուհետև, ըստ այդ տվյալների հաշվարկել հովարաններից արտանետվող ջերմաքանակներն ու դրանք համեմատել կոնդենսատորում անջատվող ջերմության քանակի հետ [4], ի տարբերություն գոյություն ունեցող մեթոդի, որտեղ հաշվարկի հիմքում ընկած է հովարանից անջատվող ջերմաքանակը: Այս դեպքում, եթե նույնիսկ հովարանները միատիպ են, վերանում են նրանցում միացված սյուների տարբեր քանակների, ինչպես նաև սյուներում շրջանառու ջրի ծախսերի տարբերության հետևանքով առաջացող սխալանքները, և երկրորդ՝ համապատասխան փոփոխությունից հետո, միևնույն ալգորիթմի կիրառմամբ հնարավոր է դառնում տարբեր տիպի զուգահեռ միացված հովարանների հաշվարկը:

Էներգաբլոկների շահագործման ընթացքում հաճախ երկու տարբեր էներգաբլոկների հովարանների համար կառուցվում է բնական քարշի մեկ ընդհանուր աշտարակ (Հրազդանի ՋԷԿ, Թրակիայի ՋԷԿ և այլն): Եթե էներգաբլոկների հզորությունները տարբեր լինեն, ապա ակնհայտ է, որ առավել մեծ հզորությամբ, այսինքն՝ շրջանառու ջրի ավելի բարձր ջերմաստիճաններով աշխատող համակարգը մյուսի վրա կթողնի բարենպաստ ազդեցություն և հակառակը: Նկ. 1-ում ներկայացված բլոկ-սխեման թույլ է տալիս գնահատել երկու էներգաբլոկների հովացման համակարգերի փոխադարձ ազդեցության չափը:

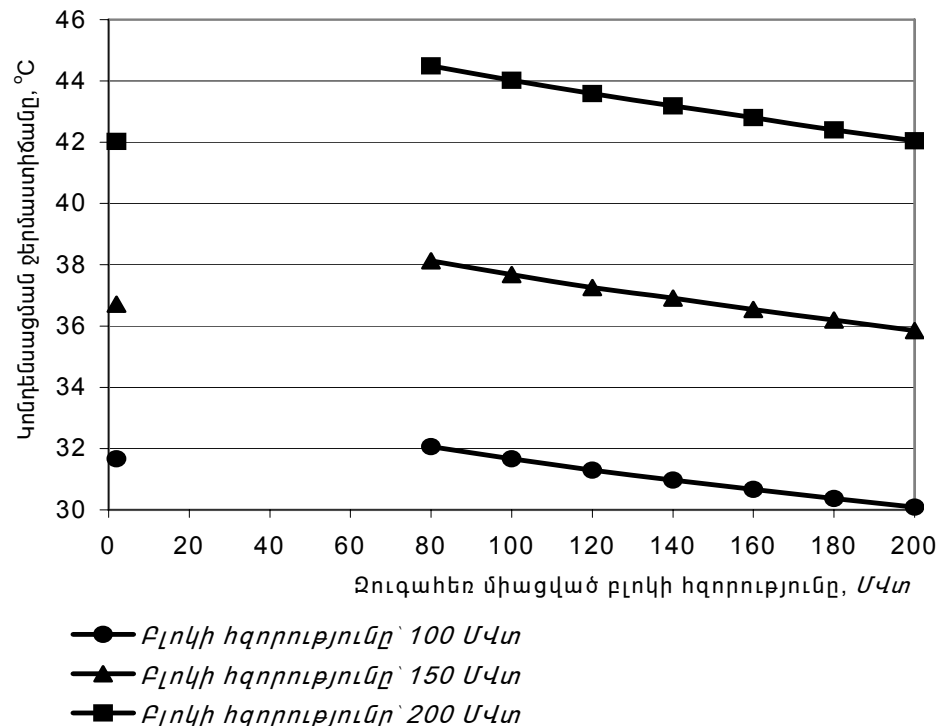


Նկ. 1. Երկու կոնդենսացիոն էներգաբլոկների՝ մեկ ընդհանուր աշտարակում հավաքված Հելլերի հովացման համակարգերի փոխազդեցության հաշվարկի ալգորիթմը

Ակնհայտ է, որ էներգաբլոկների հաշվարկն իրականացվում է ռեկուրսիայով և ավարտվում է, երբ որևէ բլոկի համար $|t_{k,վերջ} - t_{k,եկ}| \leq 0,1$: Սա այն պայմանն է, որի բավարարման դեպքում մյուս էներգաբլոկի կոնդենսացման ջերմաստիճանի վերահաշվարկ այլևս չի պահանջվում:

Այս ալգորիթմի կիրառմամբ Visual C++ լեզվով կազմվել է հաշվարկային ծրագիր և հաշվարկվել է միննույն աշտարակում հավաքված հովարաններով երկու տարբեր՝ 200 ՄՎտ էներգաբլոկների աշխատանքը, երբ $t_{0\pi}=15^{\circ}\text{C}$: Հովացման աշտարակի բարձրությունն ընդունվել է 160 մ, ելքի տրամագիծը՝ 85 մ, սյուների քանակը յուրաքանչյուր հովարանում՝ 192 հատ, սյան բարձրությունը՝ 20 մ, Ֆորգո ջերմափոխանակիչների մակնիշը՝ L60: Դիտարկվող բլոկի հզորությանը տրվել են 100 ՄՎտ, 150 ՄՎտ և 200 ՄՎտ արժեքները, իսկ գուգահեռ միացված բլոկի հզորությունը փոփոխվել է 0...200 ՄՎտ միջակայքում՝ հաշվի առնելով տեխնիկական թույլատրելի տիրույթը: Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, գուգահեռ միացված բլոկների հզորությունների տարբերությունից կախված, արտածվող գոլորշու ջերմաստիճանը կարող է փոխվել $(-2,0; +2,5)^{\circ}\text{C}$ միջակայքում, ընդ որում, եթե հզորություններն իրար հավասար են, ապա յուրաքանչյուր բլոկի կոնդենսացման ջերմաստիճանն

ընդունում է այն արժեքը, որն այն կունենար, եթե մյուս բոլոր անջատված լինեին և, բնականաբար, փակ լինեին նրա հովարանի շերտափեղկերը:



Նկ. 2. Միևնույն բնական քարշի աշտարակն ունեցող երկու տարբեր հովացման համակարգերի փոխադարձ ազդեցությունը

Կատարվելիք հաշվարկներում ռեկուրսիաներից խուսափելու նպատակով կարելի է կիրառել հետևյալ մոտեցումը. յուրաքանչյուր բոլորի հաշվարկի դեպքում ընդունվում է, որ զուգահեռ հովարանն անջատված է, և հաշվարկն իրականացվում է սովորականի պես, այնուհետև ստացված կոնդենսացման ջերմաստիճանին գումարվում է $\Delta t_{\text{գուգ}}$ ուղղումը, որը հաշվի է առնում զուգահեռ աշխատող բոլորի ազդեցությունը: Ընդ որում՝ զուգահեռ բոլորի հաշվարկն իրականացվում է նույն ձևով: $\Delta t_{\text{գուգ}}$ -ի արժեքը ստանալու համար վերոհիշյալ ալգորիթմի միջոցով կատարվել են հաշվարկներ, որոնք ամփոփվել են հետևյալ վերլուծության մեթոդով:

$$\Delta t_{\text{գուգ}} = 0,03022Q - 0,016954Q' - 58,9146 \cdot 10^{-6} Q Q' + (0,20087 n_k^2 - 53,6756 n_k + 47,3476 n_k' - 0,182587 n_k n_k') \cdot 10^{-3}, ^\circ C,$$

որտեղ Q -ն դիտարկվող հովարանից անջատված ջերմաքանակն է, ՄՎտ, Q' - ը՝ զուգահեռ աշխատող հովարանից անջատված ջերմաքանակը, ՄՎտ, n_k -ն՝

դիտարկվող հովարանում միացված պոլների քանակը, $h_{\text{առ}}, n_k$ -ը՝ զուգահեռ աշխատող հովարանում միացված պոլների քանակը, $h_{\text{առ}}: Q$ -ն և Q' -ը փոփոխվել են 40...300 ՄՎտ միջակայքում, իսկ n_k -ն և n_k' -ը՝ 96...192 միջակայքում՝ 16 քայլով: Ընդհանուր առմամբ դիտարկվել է հաշվարկի 19'600 արժեք:

Եթե երկու բլոկներին այլ զուգահեռ միացված հովարաններ չկան, ապա ջերմաստիճանային ուղղումը հաշվարկվում է

$$\Delta t_{\text{գուգ}} = 0,02623N - 0,01804N' - 29,936 * 10^{-6} N N' + \\ + (0,2332n_k^2 - 62,461n_k + 56,18n_k' - 0,2144n_k n_k') * 10^{-3}, ^\circ C$$

բանաձևով, որտեղ N -ը դիտարկվող բլոկի հզորությունն է, ՄՎտ, N' -ը՝ զուգահեռ աշխատող բլոկի հզորությունը, ՄՎտ, N և N' -ը փոփոխվել են 80...200 միջակայքում՝ 10 քայլով, իսկ n_k -ն և n_k' -ը 96...192 միջակայքում՝ 16 քայլով:

Երբ հայտնի են երկու հովարանների մուտքերում շրջանառու ջրի ջերմաստիճաններն ու ծախսերը, ինչպես նաև յուրաքանչյուր հովարանում միացված պոլների քանակները, առավել հարմար է օգտվել $\Delta q_{\text{գուգ}}$ ուղղումից, որն այնուհետև գումարվում է դիտարկվող հովարանից անջատված ջերմաքանակին.

$$\Delta q_{\text{գուգ}} = -0,6622t + 0,63718t' + 0,0462n_k - 0,04818n_k' - \\ - (0,77218g_w - 0,6564g_w') * 10^{-3}, \text{ՄՎտ},$$

որտեղ t -ն և t' -ը դիտարկվող և զուգահեռ հովարանների մուտքում ջրի ջերմաստիճաններն են, $^\circ C$, փոփոխվել են 25...50 միջակայքում՝ 5 քայլով, n_k -ն և n_k' -ը՝ դիտարկվող և զուգահեռ հովարաններում միացված պոլները, $h_{\text{առ}}$, փոփոխվել են 96...192 միջակայքում՝ 16 քայլով, g_w -ն և g_w' -ը՝ դիտարկվող և զուգահեռ հովարաններում շրջանառու ջրի ծախսերը, kg/s , փոփոխվել են սյունում՝ 8...25 միջակայքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Кулоян Л.Т., Марухян В.З. Ухудшение вакуума в контактных конденсаторах и развитие регенеративной системы энергоблока // Изв. АН АрмССР. Сер. Технические науки. - 1981.- № 4. - С. 39-45.
2. EGI – Contacting and Engineering // Technical Information. – 1992. – V.1,2.
3. Մովսիսյան Ա.Ե. Հեղեղի հովացման համակարգերով սարքավորված կոնդենսացման էլեկտրակայանում հովարանների զուգահեռ միացման առանձնահատկությունները // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր. - 2006.- Հատոր 3, Համար 1.- էջ 66-69:
4. Մարուխյան Ռ.Զ., Մովսիսյան Ա.Ե. Հեղեղի հովացման համակարգերով սարքավորված կոնդենսացիոն էներգաբլոկների միջև հզորությունների բաշխման լավարկման ծրագրային ապահովումը (Հրազդանի ՋԷԿ-ի օրինակով) // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր.- 2006.- Հատոր 3, Համար 2. - էջ 185-189:

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 25.10.2006.

А.Е. МОВСИЯН

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИСТАНЦИОННЫХ РЕЖИМОВ КОНДЕНСАЦИОННОЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ОБОРУДОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ГЕЛЛЕРА

Систематизированы существующие методы улучшения технико-экономических показателей энергоблоков, оборудованных системой Геллера. Разработан алгоритм расчета взаимодействия систем охлаждения двух разных энергоблоков, смонтированных в общей башне естественной тяги.

Ключевые слова: система Геллера, энергоблок, башня естественной тяги, внутривантовый режим, регрессионный анализ.

A.E. MOVSISYAN

PECULIARITIES OF INTRAPLANT REGIMES OF CONDENSATIONAL POWER PLANT
EQUIPPED WITH HELLER SYSTEM

The existed methods of the improving technoeconomical indice equipped with the Heller system are systemized. The algorithm of calculation for interaction cooling systems of two various power units mounted on the general tower of natural draft is elaborated.

Keywords: Heller system, power unit, tower of natural draft, intraplant regimes, regressive analysis.

Л.В. ЕГИАЗАРЯН, Л.О. КАРАХАНИЯН, Т.П. АСАТРЯН

ПОГРЕШНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИКОВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ, ТОКА И КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Проведен анализ результатов экспериментального определения погрешности измерения однофазных индукционных счетчиков в различных режимах работы. Получены зависимости погрешности от напряжения сети, тока нагрузки при заданном значении коэффициента мощности. Приведены графики, выражающие вышеуказанные зависимости.

Ключевые слова: погрешность измерения, класс точности, ток нагрузки, коэффициент мощности, нагрузочная кривая.

В условиях рыночных отношений между электроснабжающей организацией и потребителем коммерческий учет электроэнергии имеет важное значение, поэтому вопросы определения погрешностей измерения средств учета, а также метрологического обеспечения измерений электроэнергии являются весьма актуальными.

Определение пределов погрешности измерений количества электроэнергии важно для оценки инструментальной составляющей коммерческих потерь электроэнергии при ее поставке потребителям, в том числе бытовым. В бытовом секторе большое распространение имеют однофазные индукционные электросчетчики.

Для выяснения объективной картины качества находящихся в эксплуатации индукционных счетчиков нами проведены метрологические исследования нескольких типов индукционных счетчиков (СО-2, СО-5, СО-5У, СО-И446М) класса точности 2,5.

Основная погрешность и перегрузочная способность счетчиков определены в 10 режимах нагрузки (от 10 до 300% номинального значения тока) при номинальном напряжении и его отклонениях от номинального в диапазоне (20% при значениях коэффициента мощности 0,8, 0,9 и 1.

Испытания однофазных счетчиков проводились на стенде электрических счетчиков ЗАО “Энергачап” (г.Абовян). В качестве образцового был использован микропроцессорный счетчик электроэнергии типа ЕвроАЛЬФА класса точности 0,2. Его показание принято в качестве действительного значения измеренной электроэнергии, которое индукционный счетчик должен был бы учесть при правильной работе [1,2].

Относительная погрешность испытуемого индукционного счетчика определена согласно ГОСТ 8.259-2004 как отношение разности между фактически учтенным значением измеряемой энергии $W_{изм}$ и показанием электронного счетчика $W_{дейс}$ к действительному значению $W_{дейс}$:

$$\delta = \frac{W_{\text{изм}} - W_{\text{дейс}}}{W_{\text{дейс}}} 100\%, \quad (1)$$

где $W_{\text{изм}} = C_c N_c$; C_c – постоянная поверяемого счетчика; N_c – число импульсов, формируемых устройством считывания оборотов диска ротора поверяемого счетчика, соответствующее числу оборотов диска ротора n_c .

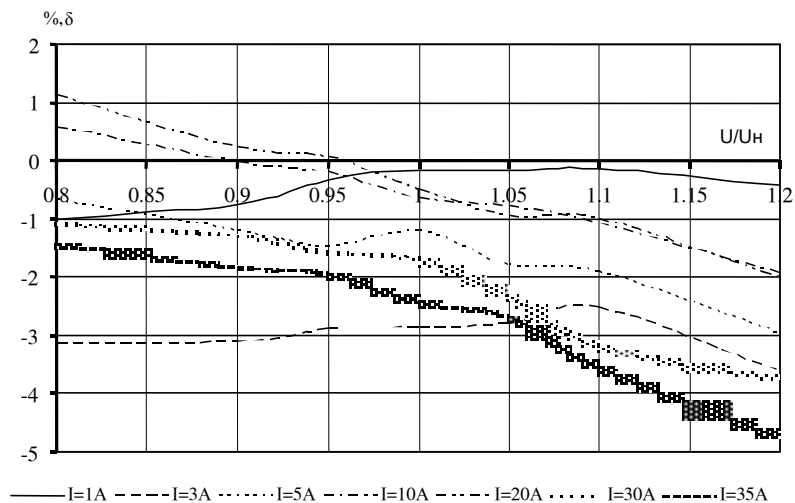


Рис. 1. Зависимость погрешности счетчика СО-5 от напряжения (относительно номинального) при $\cos\varphi=1$

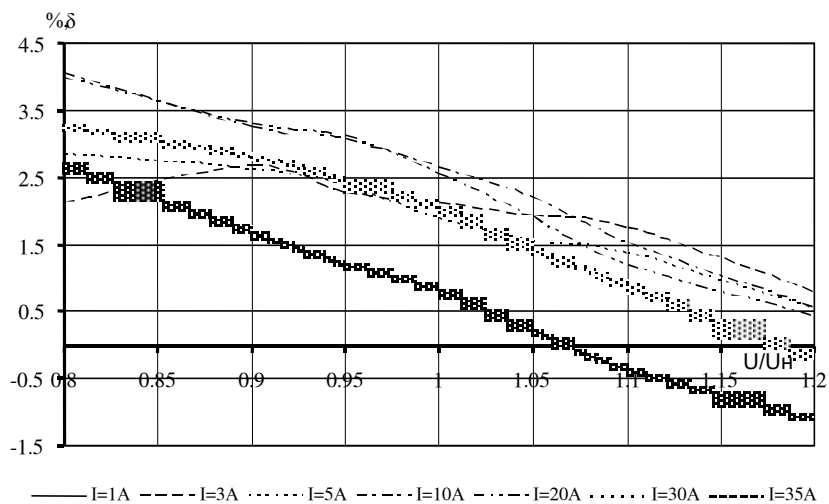


Рис. 2. Зависимость погрешности счетчика СО-5У от напряжения при $\cos\varphi=0,9$

По результатам испытаний определены зависимости их погрешности от напряжения сети и тока нагрузки при данном значении коэффициента мощности нагрузки.

На рис. 1-3 представлены семейства зависимостей погрешности δ от напряжения при различных значениях тока нагрузки счетчиков СО-2 и СО-5У, а на рис. 4-6 - графики зависимости (от тока нагрузки (нагрузочные кривые) при различных значениях напряжения сети и коэффициента мощности $\cos\phi$ для счетчиков СО-5, СО-5У.

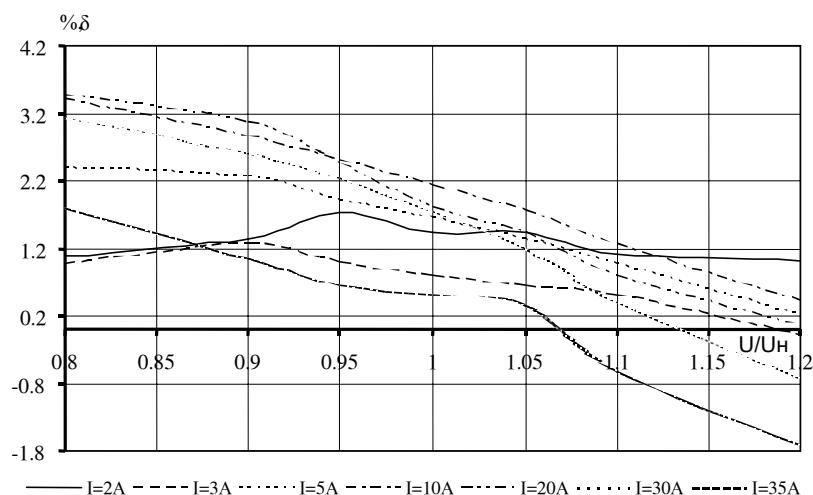


Рис. 3. Зависимость погрешности счетчика СО-5У от напряжения при $\cos\phi = 0,8$

Из графиков рис. 1-3 следует, что при уменьшении напряжения сети от номинального на 20% погрешность счетчиков увеличивается и при напряжениях, превышающих номинальное, становится отрицательной.

Зависимость δ от напряжения обусловлена наличием момента собственного торможения рабочим магнитным потоком параллельной цепи (цепи напряжения). При уменьшении напряжения момент самоторможения уменьшается быстрее, чем основной вращающий момент, что и приводит к появлению дополнительной положительной погрешности.

Анализ кривых рис. 4-6 показывает, что при малых токовых нагрузках погрешность индукционных счетчиков имеет отрицательный знак при всех значениях $\cos\phi$. При значениях тока, близких к номинальному, погрешность положительна и имеет минимальную величину при $\cos\phi=1$. Такая закономерность повторяется во всем диапазоне изменения напряжения сети.

Представленные на рис. 4-6 нагрузочные кривые подтверждают, что в области малых нагрузок появляется отрицательная погрешность, обусловленная нелинейной зависимостью между током и рабочим магнитным потоком последовательной цепи счетчика [2]. Вводимый компенсационный момент счетчика полностью компенсировать эту погрешность не может, и в результате характер нагрузочной кривой в этой области изменения тока определяется

теми погрешностями, которые имеет счетчик при отсутствии компенсационного момента.

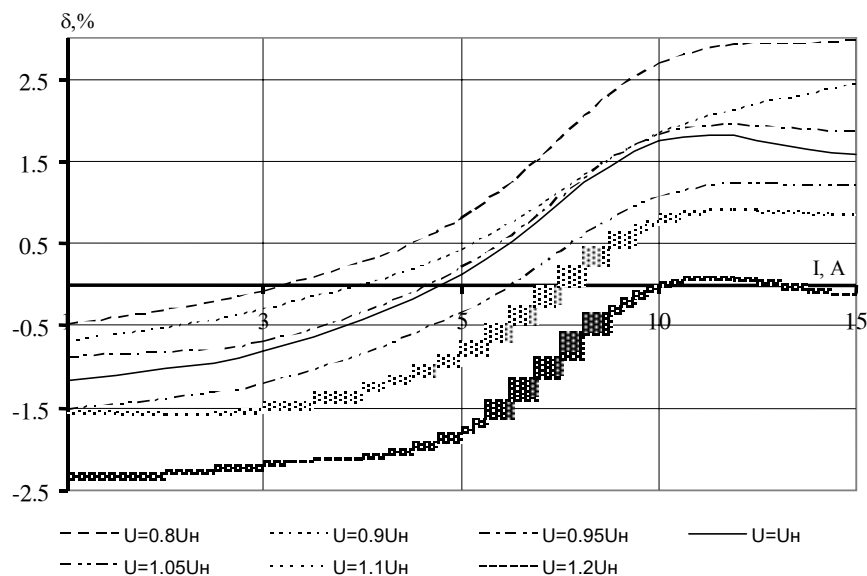


Рис. 4. Зависимость погрешности счетчика СО-2 от тока нагрузки при $\cos\varphi=0,8$ и различных относительных напряжениях сети

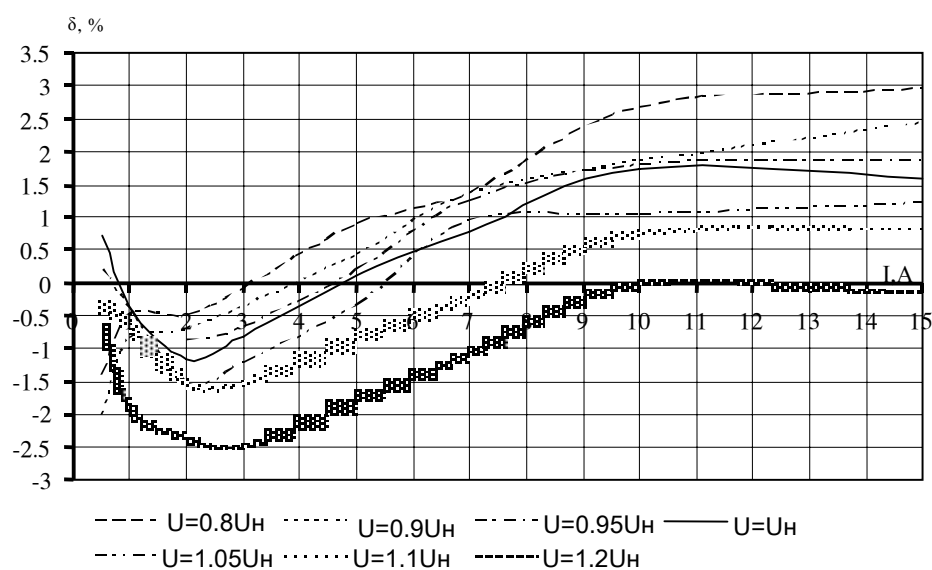


Рис. 5. Зависимость погрешности счетчика СО-2 от тока нагрузки при $\cos\varphi=1$ и различных значениях напряжения сети

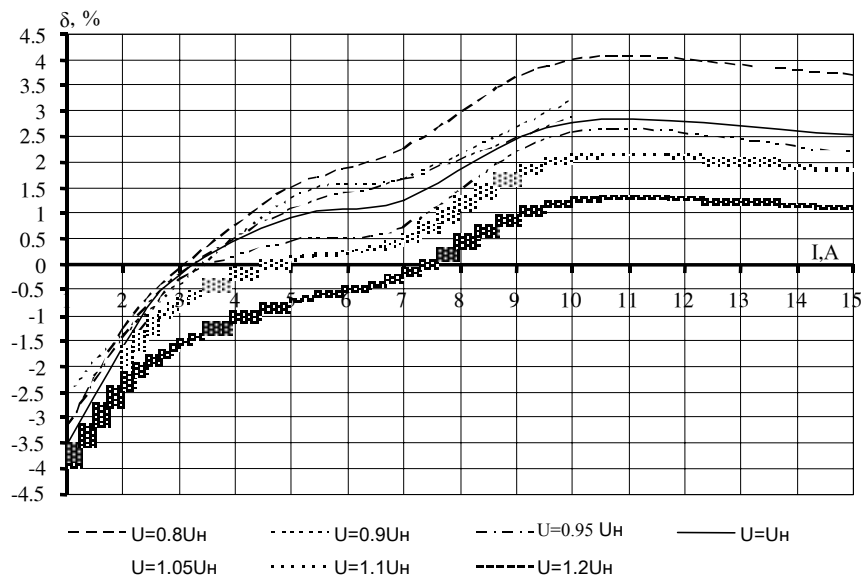


Рис. 6. Зависимость погрешности счетчика СО-5 от тока нагрузки при $\cos\varphi=0,9$ и различных значениях напряжения сети

По результатам экспериментального исследования индукционных счетчиков СО-2, СО-5, СО-5У, СО-И446М можно сделать следующие выводы:

1. Погрешность индукционных счетчиков при токах $I \geq I_{\text{ном}}$ имеет положительный знак и по абсолютному значению максимальна при $\cos\varphi=0,8$ и минимальна при $\cos\varphi=1$.
2. При токах, меньших номинального, погрешность счетчиков имеет отрицательный знак и по абсолютному значению меньше значения, соответствующего классу точности 2,5.
3. Если ток нагрузки больше номинального, то колебания напряжения сети в диапазоне (20% $U_{\text{ном}}$ приводят к увеличению погрешности при напряжениях $U < U_{\text{ном}}$.
4. В условиях, когда ток нагрузки меньше номинального, превышение напряжения номинального значения приводит к увеличению абсолютного значения отрицательной погрешности (недоучет). Это противоречит бытующему у потребителей мнению о том, что “напряжение в сети намеренно повышается для увеличения измеряемого счетчиком значения энергии”. Наоборот, исследованиями установлено, что при повышенном напряжении погрешность счетчика уменьшается.
5. В недогруженном режиме ($I \leq I_{\text{ном}}$) отрицательная погрешность счетчика при напряжениях сети, превышающих номинальное, больше, чем при $U_{\text{ном}}$.
6. В режимах, когда ток нагрузки больше номинального, превышение напряжения номинального значения $U_{\text{ном}}$ приводит к уменьшению положительной погрешности по сравнению с погрешностью при $U=U_{\text{ном}}$.
7. Влияние коэффициента мощности на погрешность счетчиков однозначно не выражается. Однако при прочих равных условиях (U, I) возрастание

$\cos\varphi$ приводит к уменьшению погрешности. Следует отметить, что погрешность счетчика нормируется при $\cos\varphi=1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гумовский Ю.Н., Воронков О.А., Варенью А.В. О поверке индукционных счетчиков// Метрология электрических измерений в электроэнергетике. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2002. – С.1-3.
2. Илюкович А.М. Электрические счетчики. – М., - Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 384с.

ЗАО “НИИ энергетики”. Материал поступил в редакцию 25.02.2006.

Լ.Վ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Լ.Հ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Թ.Պ. ԱՍԱՏՐՅԱՆ

ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԶԱՇՎԻԶՆԵՐԻ ՄԽԱԼԱՆՔՆԵՐԸ ՑԱՆՑԻ ԼԱՐՄԱՆ, ԲԵՌԻ ՀՈՍԱՆՔԻ ԵՎ ՀՁՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԻՐԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Մի քանի տիպի ինդուկցիոն էլեկտրահաշվիչների վրա իրականացվել են ստուգաչափումներ՝ ցանցի լարման, բեռի հոսանքի և հզորության գործակցի տարբեր արժեքների դեպքում: Բերվում են նշված մեծություններից հաշվիչների սխալանքի կախումն արտահայտող գրաֆիկները և կատարվում է վերլուծություն: Արվում են եզրակացություններ փորձարկված հաշվիչների չափագիտական բնութագրերի վերաբերյալ:

Առանցքային բառեր. չափման սխալանք, ճշգրտության դաս, բեռնվածքի հոսանք, հզորության գործակից, բեռնավորման կոր:

L.V. YEGHIAZARYAN, L.H. KARAKHANYAN, T.P. ASATRYAN

ERRORS OF INDUCTION METERS IN REAL CONDITIONS OF GRID VOLTAGE, LOAD CURRENT AND POWER COEFFICIENT CHANGES

Testing of several types of induction meters is carried out in different magnitudes of grid voltage, load current and power coefficients. The curves depicting the meter error dependence on the mentioned magnitudes are given and analyzed. Conclusions on metrological characteristics of tested meters are put forth.

Keywords: error of dimension, accuracy class, load current, power coefficient, loading curve.

П.А. МАТЕВОСЯН, М.З. АКОПЯН

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДВУОКИСИ СЕРЫ
АТМОСФЕРЫ

Приводятся результаты разработок и исследований измерителя двуокиси серы атмосферы, основанного на оптическом методе измерения. Предлагается методика наладки разработанного измерителя.

Ключевые слова: двуокись серы, атмосфера, измеритель, наладка, разработка, оптический метод, функциональная схема.

Как отмечалось в [1-6], в связи с деятельностью промышленности, транспорта, тепловых электростанций и т.д. наблюдается повышенная концентрация ряда вредных газовых составляющих в атмосфере, в том числе двуокиси серы (SO_2), что приводит к кислотным дождям, вредно сказывающимся на растительном мире, живых организмах, вызывает разрушение строений.

Для измерения концентрации двуокиси серы в верхних слоях атмосферы и в приземном пространстве применяют калориметрический, индикационный, спектрофотометрический и др. способы [2-4, 6]. Однако созданные приборы отличаются сложностью, не мобильны, не удобны для эксплуатации в полевых условиях.

В настоящей работе приводятся результаты разработок и исследований измерителя двуокиси серы атмосферы, основанного на оптическом методе измерения, а также предлагается методика наладки разработанного измерителя. Функциональная схема измерителя приведена на рис. 1.

Согласно [1], напряжение U_4^y на выходе измерителя SO_2 атмосферы (рис. 1), пропорциональное величине измеряемой двуокиси серы (SO_2), приближенно можно определить с помощью формулы

$$U_4^y = \alpha \sum_{j=1}^N \frac{I_0(\lambda_j) \beta(\lambda_j)}{e^{K(\lambda_j)C(\lambda_j)L}},$$

где α - коэффициент преобразования электронного блока измерителя SO_2 ; $I_0(\lambda_i)$ - интенсивность внеатмосферного солнечного излучения на длине волн λ_i ; N - число линий спектра солнечного излучения, соответствующих линиям поглощения SO_2 , дошедшим до фотоэлементов ФЭ₁ и ФЭ₂; $\beta(\lambda_j)$ - коэффициент, учитывающий аэрозольное ослабление солнечного излучения на длине волн λ_j ; $K(\lambda_j)$ - коэффициент поглощения рассматриваемой газовой составляющей атмосферы на длине волн λ_j ; $C(\lambda_j)$ - концентрация поглощающей составляющей атмосферы на длине волн λ_j ; L - расстояние, пройденное солнечным излучением через поглощающую среду.

Вследствие отличий в параметрах фотоэлементов $\Phi\mathcal{E}_1$ и $\Phi\mathcal{E}_2$, погрешностей в диаметрах окон диафрагм D_1 и D_2 , сопротивлений на входах и в обратных связях операционных усилителей, загрязнений поверхностей окон кювет и светофильтров и др. имеет место расхождение в характеристиках первого (1 ок) и второго (2 ок) оптических каналов измерителя (рис. 1).

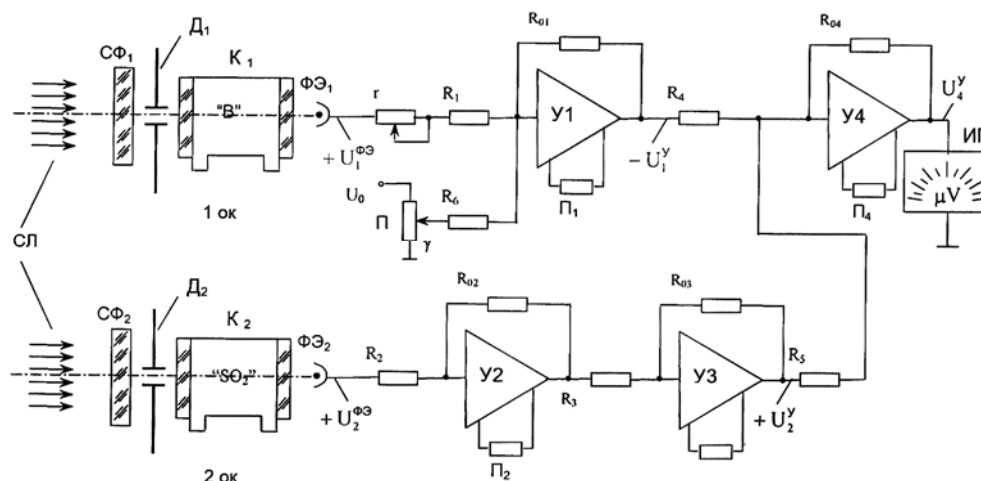


Рис. 1. Измеритель двуокиси серы (SO_2) атмосферы:

СФ_1 , СФ_2 – светофильтры с окнами пропускания в пределах 300 ... 1000 нм; D_1 , D_2 – сменные диафрагмы, диаметр окон которых 3 мм, 4 мм, 5 мм; СЛ – солнечный луч; K_1 , K_2 – кюветы, заполненные призмным воздухом и газом SO_2 соответственно; $\Phi\mathcal{E}_1$, $\Phi\mathcal{E}_2$ – фотоэлементы; r – переменное сопротивление для регулирования угла наклона характеристики первого оптического канала (1 ок); Π – потенциометр для регулирования величины смещения характеристики первого оптического канала; U_1 , U_2 , U_4 – операционные усилители; U_3 – инвертирующий операционный усилитель; Π_1 ... Π_4 – потенциометры для регулирования дрейфа нуля усилителей; ИП – измерительный прибор; U_0 – стабилизированное напряжение постоянного тока

Интенсивность суммарного спектрального потока солнечного излучения I_1^K , поступающего на фотоэлемент $\Phi\mathcal{E}_1$ первого оптического канала после прохождения его через атмосферу Земли, диафрагму D_1 , светофильтр СФ_1 и кювету K_1 , представим, согласно [2,3], в виде

уравнения

$$I_1^K = S_1 \alpha_1^{\text{сaa}} \alpha_1^{\text{ioo}} \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}}, \quad (1)$$

где S_1 – площадь сечения окна диафрагмы D_1 , имеющего диаметр d_1 ; $\alpha_1^{\text{заг}}$ – коэффициент ослабления солнечного излучения из-за наличия неоднородностей и возможных загрязнений поверхностей светофильтра СФ_1 и окон кюветы K_1 ; $\alpha_1^{\text{отр}}$ – коэффициент ослабления солнечного излучения из-за его отражения от поверхностей светофильтра СФ_1 и окон кюветы K_1 .

Под воздействием I_1^K на выходе фотоэлемента ФЭ₁ будет иметь место напряжение $U_1^{\Phi\Xi}$, зависимость которого от I_1^K можно представить в виде функции

$$U_1^{\Phi\Xi} = f_1(I_1^K), \quad (2)$$

которая имеет нелинейную характеристику вида рис. 2.

В узком диапазоне $(I_1^K)_{\min} \dots (I_1^K)_{\max}$ возможного изменения интенсивности солнечного излучения нелинейную характеристику (рис. 2) можно приближенно представить в виде линейной зависимости, т.е. $U_1^{\Phi\Xi} \approx \mu_1^{\Phi\Xi} I_1^K$, где $\mu_1^{\Phi\Xi}$ – коэффициент преобразования фотоэлемента ФЭ₁.

Тогда на выходе усилителя $У_1$ получим напряжение U_1^y , которое можно будет вычислить по формуле

$$U_1^y = - \left(\frac{R_{01}}{r + R_1} \mu_1^{\Phi\Xi} S_1 \alpha_1^{\text{заг}} \alpha_1^{\text{отр}} \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}} + \frac{R_{01}}{R_6} \gamma U_0 \right), \quad (3)$$

где γ – коэффициент деления делителя – потенциометра П.

Аналогично можно составить уравнение для второго оптического канала (2 ок) (рис. 1) при условии установки вместо кюветы К₂, содержащей SO₂, второй кюветы К₁ с призмным воздухом:

$$U_2^y = \frac{R_{02}}{R_2} \frac{R_{03}}{R_3} \mu_2^{\Phi\Xi} S_2 \alpha_2^{\text{заг}} \alpha_2^{\text{отр}} \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}}. \quad (4)$$

В результате на выходе суммирующего усилителя $У_4$ получим

$$U_4^y = \frac{R_{04}}{R_4} U_1^y - \frac{R_{04}}{R_5} U_2^y$$

или

$$U_4^y = \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i) c(\lambda_i) \ell}} \left(\frac{R_{04}}{R_4} \frac{R_{01}}{r + R_1} \mu_1^{\Phi\Xi} S_1 \alpha_1^{\text{заг}} \alpha_1^{\text{отр}} - \frac{R_{04}}{R_5} \frac{R_{02}}{R_2} \frac{R_{03}}{R_3} \mu_2^{\Phi\Xi} S_2 \alpha_2^{\text{заг}} \alpha_2^{\text{отр}} \right) + \frac{R_{04}}{R_4} \frac{R_{01}}{R_6} \gamma U_0. \quad (5)$$

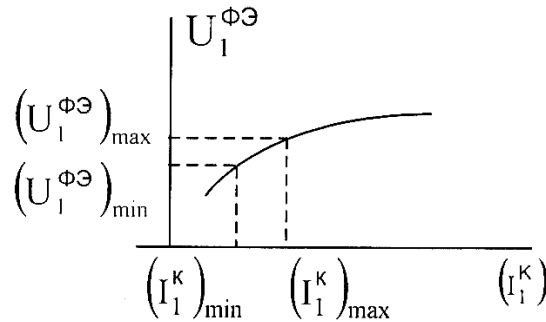


Рис. 2. Нелинейная характеристика фотоэлемента

Для обеспечения идентичности обоих оптических каналов необходимо выполнить условие $U_4^y = 0$. С этой целью определим значение Γ из условия

$$\frac{R_{01}}{R_4(r + R_1)} \mu_1^{\Phi\Theta} = \frac{R_{02}R_{03}}{R_5R_2R_3} \mu_2^{\Phi\Theta} \quad (6)$$

или

$$r = \frac{R_{01}R_5R_2R_3}{R_4R_{02}R_{03}} \frac{\mu_1^{\Phi\Theta}}{\mu_2^{\Phi\Theta}} - R_1. \quad (7)$$

При выполнении условия (7) имеет место совпадение наклонов характеристик первого (1 ок) и второго (2 ок) оптических каналов.

После установки величины переменного сопротивления Γ следует установить коэффициент γ потенциометра Π , при котором будет выполняться условие

$$\frac{R_{04}}{R_4R_6} \gamma U_0 + \sum_{i=1}^N \frac{I_0(\lambda_i) \beta(\lambda_i)}{e^{k(\lambda_i)c(\lambda_i)\ell}} \frac{R_{02}R_{03}}{R_5R_2R_3} \mu_2^{\Phi\Theta} (S_1 \alpha_1^{\text{заг}} \alpha_1^{\text{отр}} - S_2 \alpha_2^{\text{заг}} \alpha_2^{\text{отр}}) = 0, \quad (8)$$

откуда имеем величину γ .

При выполнении условия (8) характеристика первого оптического канала (1 ок) совпадает с характеристикой второго оптического канала (2 ок), т.е. будет устранена погрешность между обоими оптическими каналами.

На основе вышеизложенного методика наладки измерителя SO_2 атмосферы сводится к следующему:

1. В первый и второй оптические каналы измерителя (рис. 1) установить одинаковые кюветы K_1 , заполненные приземным воздухом.
2. Установить значение γ потенциометра Π в нулевое положение и путем регулировки переменным сопротивлением Γ обеспечить параллельность характеристик обоих оптических каналов, используя разные диафрагмы.
3. Регулируя величину γ потенциометра Π , добиться равенства нулю напряжения U_4^y .

Заменить во втором оптическом канале кювету K_1 на K_2 , заполненную газом SO_2 , и, используя эталонный измеритель, например спектроскоп, откалибровать шкалу разрабатываемого измерителя SO_2 атмосферы.

Рассматриваемая методика была применена для наладки макета измерителя SO_2 атмосферы, который изготовлен в ГИУА в соответствии с функциональной схемой рис. 1 и проходит испытание на озонметрическом пункте на территории ГИУА г. Еревана.

При изготовлении макета измерителя SO_2 атмосферы были применены кюветы диаметром 40 мм и длиной 120 мм, изготовленные в лаборатории Неорганической химии ЕГУ.

В качестве фотоэлементов использованы кремниевые пластины, в качестве светофильтров – ФС 6, а в качестве операционных усилителей – К 140 УД 8Д. Омические сопротивления $R_{01} \dots R_{04}$, R_3 приняты равными 1,2 МОм, сопротивления $R_2, R_4 \dots R_6$ – 12 кОм, $R_1 = 10$ кОм, переменное сопротивление $\Gamma = 4$ кОм, потенциометры Π , $\Pi_1 \dots \Pi_4$ – 30 кОм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Матевосян П.А., Мнацаканян М.Г., Саркисян Г.А.** Разработка измерителя общего содержания двуокиси серы атмосферы // Экологический журнал Армении.-Ереван: Луйс, 2002.- N2.- С. 94-98.
2. **Лейте В.** Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте. – Л.: Химия, 1980.
3. **Кароль И.Л., Розанов В.В., Тимофеев Ю.М.** Газовые примеси в атмосфере. – Л.: Гидрометеиздат, 1983.
4. Методы и аппаратура автоматизированного контроля атмосферных загрязнений // Труды ГГО.- Л.: Гидрометеиздат, 1979.
5. **Матевосян П.А., Мнацаканян М.Г., Акопян М.З.** Разработка аппаратуры для измерения озона, двуокисей серы и озона атмосферы // Сб. материалов годичной конференции ГИУА, 25-29 октября 1999 г./ ГИУА.- Ереван, 1999.
6. Приборы контроля окружающей среды/ Под ред. **В.Е. Михайлова**. – М.: Атомиздат, 1980.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.03.2006.

Պ.Ա. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ, Մ.Զ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ՄԹՆՈՒՈՐՏԻ ԾԾՄԲԻ ԵՐԿՕՔՍԻՊԻ ԶԱՓԻՉԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Բերված են մթնոլորտի ծծմբի երկօքսիդի չափիչի մշակումների և հետազոտման արդյունքները, որոնք հիմնված են չափման օպտիկական մեթոդի վրա: Առաջարկվում է մշակված չափիչի կարգաբերման մեթոդիկան:

Առանցքային բառեր. ծծմբի երկօքսիդ, մթնոլորտ, չափիչ, կարգաբերում, մշակում, օպտիկական մեթոդ, ֆունկցիոնալ սխեմա:

P.A. MATEVOSYAN, M.Z. HAKOBYAN

CULTIVATION AND RESEARCH OF THE ATMOSPHERE SULPHUR DIOXIDE GAUGE

The results of the atmosphere sulphur dioxide gauge based on cultivation and research of the optical measurement method are given. The adjustment methodology of the developed gauge is proposed.

Keywords: sulphur dioxide, atmosphere, measuring device, setting up, elaboration, optical method, functional scheme.

Г.С. КАРАЯН, Ш.Ж. МАРТИРОСЯН

**ФОТОУПРАВЛЯЕМЫЙ ДВУХОПЕРАЦИОННЫЙ ЗАПОМИНАЮЩИЙ
БИПОЛЯРНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ**

Показана возможность создания запоминающего многозначного полупроводникового элемента с двусторонним оптическим управлением. Установлено, что для обеспечения противоположных действий входных сигналов на вольт-амперную характеристику необходимо создать на поверхности второй базы дополнительную $p^+ - n - p$ -структуру.

Ключевые слова: полупроводниковый прибор, электронно-дырочная плазма, электропроводимость, моделирование, оптическое многоканальное управление, биполярная полупроводниковая структура, мультистабильный элемент, двухоперационный прибор.

Введение. Различают следующие основные пути развития информационно-вычислительных технологий:

а) повышение производительности традиционного метода обработки информации на основе использования нанотехнологий, при этом перевод неполиномиальных алгоритмов в полиномиальные принципиально невозможен;

б) некогерентно-коррелированный метод обработки информации нейросетями, допускающий процесс обучения, а следовательно, и создание искусственного интеллекта;

в) квантовый принцип обработки информации, позволяющий перевод неполиномиальных алгоритмов в полиномиальные и моделирование квантовых процессов, но несостоятельный для обучения (см. [1] и цитированные там работы).

Последние два метода, по существу, многозначные и используют многозначную логику. Однако нейроинформатика развивалась на основе формального нейрона без непосредственного участия самого многозначного элемента (он не существовал). Квантовая обработка информации производится в трудновыполнимых условиях, и пока удастся квантовую корреляцию наложить между почти сорока кубитами. В связи с этим в [2] предложен промежуточный и расширенный, в смысле логики, альтернативный способ обработки информации логической системой L_p , состоящей из пяти различных полупроводниковых многозначных элементов-полисторов. Установлено, что система полисторов L_p полна и замкнута для выполнения всех арифметико-логических операций в p -ичной системе ($p > 2$). Все эти полисторы являются оперативными в том смысле, что после выключения управляющих сигналов происходит переход в исходные состояния. На пути создания многозначных компьютеров и нейросетей нужно иметь элемент памяти, реализация которого, очевидно, была бы оптимальной,

если вместо полисторной схемы памяти систему L_p дополнить одним запоминающим полистором. Целью данной работы является разработка принципа работы и моделирование одного варианта запоминающего полистора на основе полупроводниковой биполярной структуры. При этом требуется, чтобы моделируемый полистор был технологически совместим с другими полисторами L_p , а также имел входы управления для выполнения операций двух типов: прямой операции, когда под действием записываемого информационного сигнала полистор из “нулевого состояния” переходит в соответствующее состояние, в котором остается и после выключения управляющего сигнала сколь угодно долго; обратной операции, когда полистор под действием запирающего сигнала возвращается в “нулевое состояние”. Управление электрическим сигналом формально можно считать частным случаем оптического.

В настоящей работе исследуется возможность двустороннего управления состояниями мультитабильной электронно-дырочной плазмы (ЭДП) в биполярных полупроводниковых структурах.

1. Принцип работы запоминающего полистора. Предъявляемые к новому полупроводниковому прибору памяти требования мультитабильности и технологической совместимости с полисторами системы L_p позволяют взять за основу биполярную структуру (рис.1). Для этой структуры вопросы мультитабильности, технологической совместимости и оперативного управления решаются по развитым в [3,4] методам. Для нашей задачи определению подлежат принципы запоминания и двустороннего (двухоперационного) управления состояниями с помощью одностипных сигналов. Задачи эти нетривиальные, и для выполнения двустороннего управления нами предлагается структурное решение. Известна возможность (см., например, [4]) “нечетного” управления, когда управляющие сигналы противоположных знаков приводят к противоположным изменениям характеристик. Такой подход обладает рядом недостатков. Во-первых, для его осуществления необходимо иметь источники напряжения двух полярностей, использование которых нежелательно в больших интегральных схемах. Во-вторых, в случае оптического управления просто невозможно иметь потоки отрицательной интенсивности.

Поэтому, чтобы электрические сигналы из разных входов изменили вольт-амперную характеристику в противоположные стороны, можно воспользоваться дополнительной структурой, созданной в квазинейтральной базе входных каналов (вторая база справа на рис.1а).

Основываясь на кинетических и полевых свойствах ЭДП, в рассматриваемой структуре нетрудно установить физический принцип двустороннего управления.

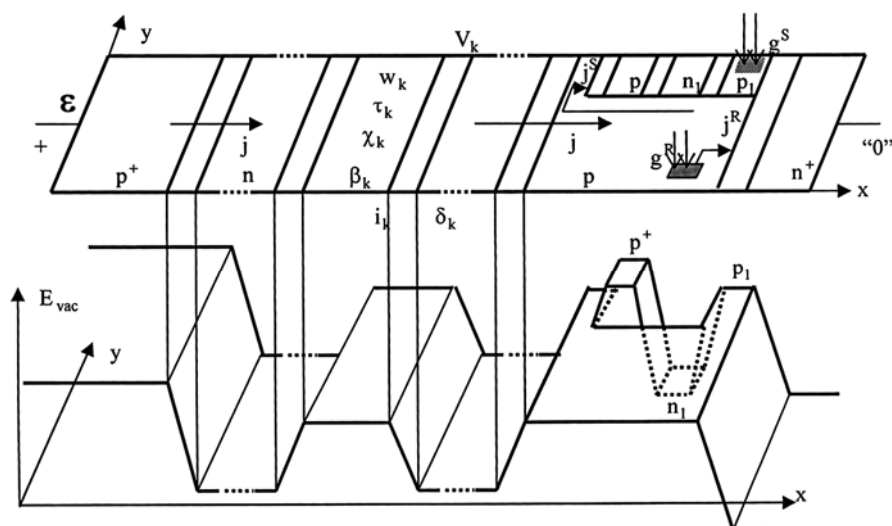


Рис. 1. Расчетная модель (а) и энергия вакуума двухоперационного полистора (б)

Действительно, во второй квазинейтральной базе в результате действия суммарного управляющего сигнала j^c возникают избыточные неравновесные носители. Они дополнительно нейтрализуют объемный заряд ионизированных доноров в первом прямосмещенном переходе (в случае оптического управления также во втором переходе).

Если суммарный ток управления j^c положителен (т.е. имеет направление тока во внешней цепи), то он вызывает дополнительные изменения боковых токов в сторону их повышения, а отрицательный ток j^c приводит к понижению. В рассматриваемой структуре положительность или отрицательность знака электронного тока j^c означает, соответственно, ввод или вывод из базы этого составляющего тока. Показанный на рис.1 “прямой” поток интенсивностью g^R создает положительный ток $j^c = j^R$, а “косвенный” поток интенсивностью g^S - отрицательный ток $j^c = -j^S$. Знак j^c в случае одновременного действия потоков g^R и g^S зависит от значений последних, так как $j^c = j^R - j^S$.

Энергия вакуума равновесного состояния ЭДП в структуре представлена на рис. 1б. При приложении внешнего напряжения по цепи с ЭДС E и сопротивлением R_N барьеры с отрицательными градиентами уменьшаются, а с положительными - увеличиваются. Последние разделяют ЭДП на слабосвязанные, почти отдельные коллективы частиц. При определенном значении суммы боковых токов обратносмешанных переходов происходит инверсия знака напряжения [3]. При этом энергия вакуума деформируется в равновесное, а потом и в состояние с отрицательным градиентом. Тогда

разделенные им два соседних коллектива ЭДП сливаются в единый коллектив. При наличии барьера во втором переходе ($-V_2$) частицы ЭДП в разных его сторонах связаны лишь прошедшими над барьером частицами, количество которых пропорционально $\exp(-eV_2 / kT)$, т.е. практически разделены. После исчезновения разделяющего барьера ЭДП, пространственно расположенная в области вплоть до четвертого перехода, включая односвязанный, составляет единый коллектив, в котором процессы в разных ее частях взаимосвязаны. Физические процессы в первом переходе и во второй базе влияют также на процессы в третьей базе и четвертом переходе. Это влияние распространяется двумя конкурирующими механизмами. Первый из них основан на известном транзисторном эффекте, а второй - на эффекте плазменно-полевого взаимодействия (ЭППВ) [3,4].

Так как распределения распространяются переносом частиц ЭДП и полями, то установление стационарного поля информации обуславливается тем процессом, который протекает быстрее другого. Однако ЭППВ действует только в тех частях ЭДП, в которых отсутствуют барьеры с положительными градиентами. Следовательно, управление состояниями электропроводимости ЭДП в полистере можно осуществлять посредством управления границами действия ЭППВ. В рассмотренном выше случае ЭППВ переносит информацию о процессах в первом эмиттере и во второй базе во всю свою область действия. Следовательно, состояния электропроводимости ЭДП управляются именно этими процессами.

Соответствующие математические условия будут сформулированы в следующем разделе. Обсудим один простой способ осуществления управления в обратную сторону. Этой цели можно достигнуть путем вывода со второй базы подвижных частиц ЭДП, препятствуя нейтрализации ими зарядов ионизированных примесей. Иными словами, нужно реализовать утечку тока со второй базы, т.е. зашунтировать первый $p-n$ - переход. При этом шунт должен быть управляемым сигналом j^S того же типа, что и ток прямого управления прибора j^R . Такую роль может играть $p_1^+ - n_1 - p_1 - n^+$ - тиристор, шунтирующий первый переход. В действительности это будет прибавление некоторых определенных областей n - и p - типов во второй базе (рис.1). Управляющий сигнал j^S переводит эту дополнительную структуру в низкопроводящее состояние, поэтому и происходит снос некоторой части бокового тока для второго перехода. Если этого достаточно для запираения второго перехода, то возникающий барьер сузит область действия ЭППВ, и ВАХ будет деформировать в обратную сторону (рис. 2, кривая 4).

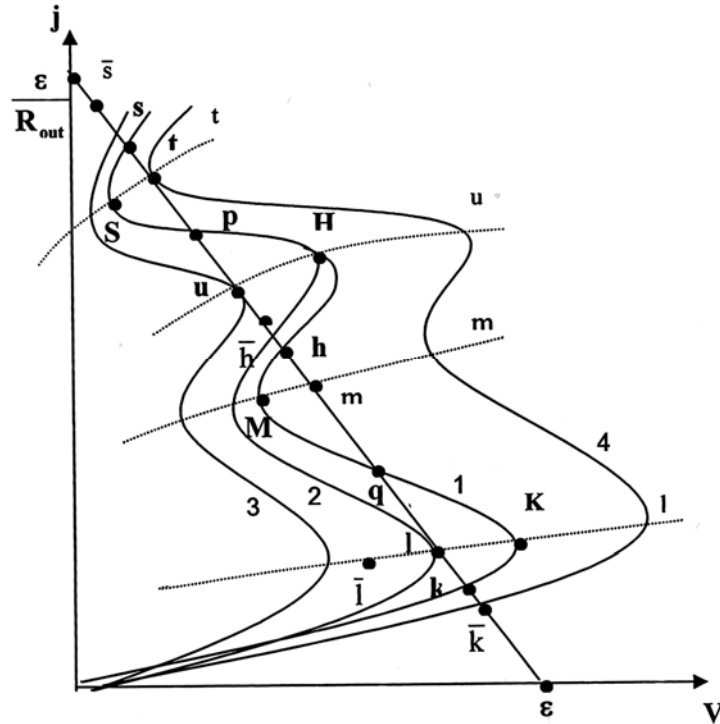


Рис. 2. Семейство вольт-амперных характеристик запоминающего полистора. Кривые 1, 2, 3, 4 соответствуют случаям $j^c = 0$; $j^c = j_l$; $j^c = j_u$; $j^c = -j^s = j_k^c$. Кривые l, m, u, t представляют траектории точек K, M, H, S. Строчные буквы на нагрузочной линии указывают различные состояния полистора

2. Математическая модель запоминающего полистора. Как и в случае оперативных полисторов для арифметико-логических устройств, здесь за основу принимается биполярная структура с высоколегированными базами (для пренебрежения падением напряжения на них при низком уровне инжекции) с длинами баз w_k , условием $l_k < w_k \ll L_k$, где l_k и L_k - соответственно длины свободного пробега и диффузии. Тогда решение совместной системы уравнений кинетики и электростатики при постоянной температуре T приводит к "темновой" ВАХ $V = \sum V_k(j)$ в параметрической форме [3,4]:

$$j_i^D = \sum_{k=1}^N c_{ik} x_k, \quad (1)$$

$$c_{ik} = \begin{pmatrix} 1 + \frac{\delta\sqrt{1+x_1}}{x_1} & \beta_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \beta_2 & i_2 + \frac{\delta_2}{x_2} & \beta_3 i_3 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \beta_{N-1} i_{N-1} & i_{N-1} + \frac{\delta_{N-1}}{x_{N-1}} & \beta_N i_N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \beta_N i_N & i_N \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$x_k \equiv (-1)^k \{1 - \exp[(-1)^{k+1} V_k]\}. \quad (3)$$

Здесь напряжения измерены в единицах $K_B T/e$, а плотность тока - в единицах i_1 ; β_k - коэффициент переноса по k -й базе; i_k - плотность тока насыщения k -го перехода.

Следуя [3,4], генерационно-рекомбинационные процессы в объемах электронно-дырочных переходов представим в виде

$$\delta_k(V_k) = \sigma_k V_k + \frac{en_i}{\tau_k + \tau_{k+1}} \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0(x_k + x_{k+1})}{e\chi_k\chi_{k+1}}} \sqrt{V_k}; \quad k = 2m, \quad (4)$$

где n_i - собственная концентрация носителей; ε - диэлектрическая проницаемость; ε_0 - электростатическая постоянная; τ_k - времена жизни неосновных носителей; χ_k - концентрация примесей в k -й базе.

Рекомбинацией не пренебрегаем только в первом переходе с коэффициентом δ . Это означает, что в структуре имеется единственный источник обратной связи, область действия которого и будет управляться при помощи ЭППВ.

Все эти физические коэффициенты выражаются структурными технологическими параметрами [3,4]. Недиagonальные члены в нечетных строках матрицы $\{c_{ik}\}$ представляют ЭППВ, которые только при определенных условиях способны обеспечить многоуровневость ВАХ (1).

Для конкретности рассмотрим трехуровневый элемент памяти на основе шестислойной структуры с крайними омическими контактами. Для этого необходимо выполнение условий:

$$\beta_2 + \beta_3 - 1 \equiv \beta_2^* > 0; \quad (4) \beta_4 + \beta_5 - 1 < 0 < \beta_4 + \beta_5 - 1 + \Delta\beta_4; \quad \Delta\beta_4 = \frac{\beta_3\beta_4 i_3}{i_4} \beta_2^*. \quad (5)$$

Эта структура описывается 20-ю параметрами $(\chi_k, \tau_k, w_k, \tau_k)$, выбором которых должно выполняться соотношение (4).

Кривая 1 на рис 2 представляет ВАХ (1), которая при внешней цепи

$$E = V + jR_{out} \quad (6)$$

имеет три устойчивых “запоминающих” (k, h, s) и два неустойчивых (p, q) состояния.

Нашей целью является представление принципа работы запоминающего полистора. В высоколегированной второй базе пренебрегаем эффектами топологических неоднородностей, чтобы действие управляющего воздействия учитывалось аддитивно (по закону Кирхгофа). В случае оптического управления решение уравнения непрерывности при однородном поглощении света приводит к следующим формулам для токов управления эмиттерным $j_{эм}^c$ и коллекторным $j_{кол}^c$ переходами:

$$j_{эм}^c = j^R = -\frac{2i_{02}L_2^2}{\bar{Y}_2} \operatorname{sh} \frac{(z_2 - z_1)}{2L_2} \left(\operatorname{sh} \frac{w_2 - \bar{z}}{L_2} + a\beta_2 i_1 \operatorname{sh} \frac{\bar{z}}{L_2} \right) g^R, \\ j_{кол}^c = \alpha j_{эм}^c; \quad \alpha = \frac{\beta_2 i_1}{i_{02}} \operatorname{sh} \frac{\bar{z}}{L_2} \left(\operatorname{sh} \frac{w_2 - \bar{z}}{L_2} + a\beta_2 i_1 \operatorname{sh} \frac{\bar{z}}{L_2} \right)^{-1}, \quad (7)$$

где $\bar{Y}_2$ – равновесная концентрация неосновных носителей во второй базе; z_1 и z_2 – координаты границ; $a \bar{z} = (z_1 + z_2)/2$ – координата центра оптического окна в направлении OZ; g^R – интенсивность фотогенерации носителей, которая пропорциональна интенсивности пучка. Параметрическая ВАХ имеет вид

$$\{j_1 = j_1^D - j^R + j^S = j_1^D - j^c; \quad j_2 = j_2^D + \alpha j^R; \quad j_i = j_i^D \text{ при } i \neq 1, 2. \quad (8)$$

Здесь j^S вызвана током шунта $J^S = S j^S$, который определяется системой уравнений

$$\begin{cases} J^S = i_1^S S^S \left[i_1 (e^{V_1^S} - 1) + \delta_{11}^S e^{V_1^S/2} - \beta_2^S (1 - e^{-V_2^S}) - j_{1c}^S \right] \\ J^S = S^S \left[\beta_2 i_1 (e^{V_1^S} - 1) + \beta_3 i_3 (e^{V_3^S - 1}) + j_{2c}^S \right] \\ J^S = S^S \left[i_3 (e^{V_3^S} - 1) + \beta_3 i_3 (1 - e^{-V_2^S}) \right] \\ V_1^S + V_2^S + V_3^S = V_1; \quad \beta_2^S + \beta_3^S > 1. \end{cases} \quad (9)$$

Система уравнений (9) представляет семейство ВАХ шунта. Если, с учетом определенных условий, на основе ВАХ (3) найти V_1 и j^S (т.е. J^S), то, по аналогии с (7), можно найти j_{1c}^S и j_{2c}^S . В дальнейшем изложении будем говорить только об определении j^S . Противоположность знаков j^R и j^S в первом уравнении системы (8) показывает, что осуществляется двустороннее управление. С другой стороны, первое уравнение системы (9) показывает, что это осуществляется однотипным с j^R , в смысле знака, сигналом j_{1c}^S . Семейство ВАХ рассматриваемой структуры для разных значений j^R и j^S качественно показано на рис.2. Пунктирные кривые представляют траектории точек экстремумов ВАХ на плоскости (V, j). Легко установить, что они являются

монотонно возрастающими, если отсутствует процесс лавинного умножения за счет ударной ионизации (в нашем случае это условие выполняется из-за высокой примеси баз). Из систем уравнений (1), (2), (8) и условия

$$\frac{\sum dV_k(j, j^c)}{dj} = 0 \quad (10)$$

можно получить уравнения этих траекторий в параметрической форме:

$$V_v = V_v(\xi_p, j^c), \quad j_v = j_v(\xi_q, j^c), \quad (11)$$

где $v = K, M, H, S$ (см. рис. 2); $j^c \equiv j^R - j^S$; ξ - набор физических коэффициентов структуры (их можно выразить структурными параметрами прибора).

Теперь сформулируем те дополнительные условия, которые эту структуру превратят в запоминающий элемент для системы L_p [2,3]. Эти условия можно разбить на три класса: существования, функционирования и упорядочения.

Условия существования (соотношения (6), $\delta_1 \neq 0$; $\delta_{2k+1} \neq 0$) дополним условием принадлежности устойчивых “рабочих” точек (состояний) темновой ВАХ нагрузочной линии. Это эквивалентно утверждению, что при $j^c = j^R - j^S = 0$ максимумы ВАХ расположены “сверху” нагрузочной линии (рис. 2, точки К и Н), точки минимумов - “внизу” (точки М и S), а условия

$$E - R_{out} j_M(\xi, 0) > V_h > E - R_{out} j_H(\xi, 0) \quad (12)$$

обеспечивают наличие запоминающего состояния h на рис. 2. Соотношения типа (12) имеют место для всех запоминающих состояний.

Для представления условия функционирования следует найти критические значения сигнала управления $j_v^c (v = l, m, u, t)$, когда траектории точек экстремумов (11) пересекаются с линией $(E, E/R_{out})$ (решением системы уравнений (8) и (11) при $j^c = j_v^c$), и установить значения j_v^c . Очевидно, что для точек максимумов и минимумов следующие неравенства обеспечивают соответственно функционирование режимов “запись” и “стирание” полистора:

$$j_l^c < j_u^c < \dots; \quad j^c \geq j_t^c = \sup(j_t^c, j_m^c \dots). \quad (13)$$

Качественно результаты действия неравенств (13) представлены на рис. 2. Например, если полистор находится в состоянии k (кривая 1), то после включения $j^c > j_l^c$ точка К переходит через точку l в точку $\bar{l}$, а состояние k становится невозможным из-за внешней цепи. Тогда состояние h преобразуется в состояние $\bar{h}$, т.к. при $j^l < j_h^l$ ЭППВ не действует. Полистор переходит в состояние $\bar{h}$, а после выключения j^c - в состояние h и остается там сколько угодно долго из-за устойчивости этого состояния. В этом случае k снова становится возможным, но переход $h \rightarrow k$ спонтанно запрещен. По существу, это условие должно быть обеспечено как условие надежности. Здесь

это не принципиально и можно считать выполненным. Если $j^c > j_u^c$, невозможными становятся состояния k и h , а полистор переходит в состояние s , которое образуется из-за действия ЭППВ.

При $j^c = -j^s < -j_t^c$ из-за внешней цепи становятся невозможными все состояния полистора, кроме $\bar{k}$, куда и переходит полистор. После выключения j^s он снова переходит в состояние k .

Как и в случае системы L_p , здесь ограничимся линейным (эквидистантным) упорядочением, выражая при этом все уровни с номерами состояний полистора. Далее ограничимся упорядочением по выходному напряжению, т.е.

$$V_s \ll V_k - V_h = V_h - V_s \equiv \Delta V = \text{const}. \quad (14)$$

Неравенство в (14) необязательно, но удобно, тем более при $V_s \rightarrow 0$. Для входных токов управления примем условия

$$j_i^R = (i-1)j_0^R; \quad i = 1; 2; 3; 4; \dots$$

Соотношения (6), (8), (12)-(14) обеспечивают свойства полистора быть двухоперационным и запоминающим, но неоднозначно, т.к. число параметров, определяющих структуру, превосходит число определяющих их соотношений.

3. Резюме. Таким образом, воздействие внешнего сигнала через дополнительную внутреннюю входную структуру расширяет возможности управляемости, что достаточно как для создания основного элемента статической памяти запоминающего полистора, так и для двустороннего управления состояниями мультстабильной ЭДП вообще. На основе последнего свойства можно моделировать оперативный полистор, способный на выходе образовать разность двух p -ичных чисел. Поэтому двухоперационные запоминающий и оперативный полисторы составляют оптимальную элементную базу не только для многозначных нейросетей, особенно при выполнении рекурсивных алгоритмов обучения и распознавания образов. Исследования динамических и энергетических свойств предложенного двухоперационного полистора выходят за рамки настоящей работы, но можно привести некоторые грубые оценки. Выделяемая источником полная мощность W_p на p -уровневом полиSTORE имеет порядок $W_p \approx pV_c \Delta j$, величину которой можно минимизировать выбором произведения $(V_c \Delta j)$. Рассеиваемая на структуре джоулева мощность слабо зависит от номера состояния и достигает своего максимального значения в состояниях, близких к $p/2$, и имеет порядок величины $W_k/2$.

По величинам времен переключений рассмотренный здесь запоминающий полистор уступает традиционным транзисторам, но взамен этого допускает более эффективный и быстрый алгоритм поиска как по адресу, так и по "содержанию".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Valiev K.A., Kokin A.A.** Semiconductor Nuclear Magnetic Resonance Quantum Computers with individual and ensemble reference to Qubit// Microelectronics.-1999.- V. 28, N 5.-P. 326-337.
2. **Karayan H.S., Martirosyan Sh.J.** About one Logic Structure and its Realization// Algebra, Geometr and theirs applications, Seminar Proceeding. - 2001. - V. 1.- P. 54-57.
3. Karayan H.S., Physical properties inhomogeneous semiconductor structures //PTS.- 1985.- 19, N 4. – P. 1367-1368.
4. **Karayan H.S., Makaryan A.H., Yolchyan R.A., Martirosyan Sh.J., Khudabashyan M.A.** About Multi-stable bipolar structure Approximation by System of Virtual bi-stable Semiconductor Elements // 1st IEEE International Conference on Circuits and Communications, Proceedings.-St. Petersburg, 2002.-P. 392-395.

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 30.09.2005.

Հ.Ս. ԿԱՐԱՅԱՆ, Շ.Ճ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ԵՐԿԳՈՐԾԱՌՈՒՅԹ ԼՈՒՍԱԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ԵՐԿԲԵՎԵՆ ԿԻՍԱՀԱՂԱՌԴՉԱՅԻՆ ՀԻՇՈՂ ՏԱՐԲ

Ցույց է տրված օպտիկական կառավարմամբ երկգործառույթ (երկօպերացիոն) կիսահաղորդչային բազմարժեք հիշող սարքի ստեղծման հնարավորությունը: Հաստատված է, որ վոլտամպերային բնութագծի վրա մուտքային ազդանշանների հականշական ազդեցության համար անհրաժեշտ է երկրորդ բազայում ստեղծել լրացուցիչ $p^+ - n - p$ կառուցվածք:

Առանցքային բառեր. կիսահաղորդչային սարք, էլեկտրոնախոռոչային պլազմա, էլեկտրահաղորդականություն, մոդելավորում, օպտիկական կառավարում, երկբևեռ կիսահաղորդչային կառուցվածք, բազմավիճակ տարր, երկգործառույթ սարք:

H.S. KARAYAN, SH.J. MARTIROSYAN

PHOTOCONTROLLED TWO-OPERATIONAL STORAGE BIPOLAR SEMICONDUCTOR ELEMENT

The possibility to develop storage multiple semiconductor element with two-operational optical control is discussed. It is established that for providing the opposite action of input signals on volt-ampere characteristic it is necessary to form a supplementary $p^+ - n - p$ structure.

Keywords: semiconductor device, electro (n) plasma, electric conductivity, modeling, optical multichannel control, bipolar semiconductor structure, multistable element, two-operational device.

Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Ա.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Հ.Վ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Տ.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ,
Դ.Ս. ՍՈՂՈՍՈՅԱՆ

ԹՎԱՅԻՆ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՃՇԳՐԻՏ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴ

Նախագծվող թվային սխեմաների արագագործության գնահատման առավել հանրամատչելի մեթոդը վիճակագրական ժամանակային վերլուծությունն է: Այդպիսի վերլուծության ընթացքում ինտեգրալ սխեմաների պատրաստման տեխնոլոգիական գործընթացների, ինչպես նաև շահագործման ընթացքում շրջակա միջավայրի պարամետրերի հնարավոր շեղումների հաշվի առնումը էապես մեծացնում է ստացվող արդյունքների՝ համապատասխանելիության աստիճանը չափումների հետ: Ներկայացված մեթոդը գերծ է տրամաբանական տարրերի հապաղումների և ազդանշանների ժամանման պահերի շեղումների բաշխվածությունից:

Առանցքային բառեր. թվային սխեմա, վիճակագրական ժամանակային վերլուծություն, տրամաբանական տարր, հապաղում:

Նախաբան: Արագագործությունը ժամանակակից թվային գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների (ԳՄԻՍ) կարևորագույն բնութագրերից է [1]: Այն բնորոշող առավել կարևոր պարամետրերից է թվային սխեմաների (ԹՍ) մուտքային և ելքային ազդանշանների փոխանցատման պահերի միջև ընկած ժամանակահատվածը, այսինքն՝ ԹՍ-ի հապաղումը [2]: ԳՄԻՍ-ների ավտոմատացված նախագծման ժամանակակից միջոցներում ԹՍ-ի հապաղման որոշման առավել կիրառվող եղանակը վիճակագրական ժամանակային վերլուծությունն (ՎԺՎ) է: ՎԺՎ-ի հայտնի մեթոդներում [3-8], որպես կանոն, հաշվի չեն առնվում ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) պատրաստման տեխնոլոգիական գործընթացների, ինչպես նաև ԻՍ-ների շահագործման ընթացքում շրջակա միջավայրի պարամետրերի հնարավոր շեղումները: Դա հանգեցնում է ՎԺՎ-ի միջոցով ստացված և իրական ԻՍ-ների վրա կատարված չափումների արդյունքների միջև անթույլատրելի անհամապատասխանության: Վերջինս հարցականի տակ է դնում ՎԺՎ-ի հայտնի միջոցների կիրառման նպատակահարմարությունը: Այդ պատճառով, ներկայումս ՎԺՎ-ի գործնական նախագծման տեսանկյունից բավարար ճշտություն ապահովող մեթոդների մշակման փորձեր են կատարվում՝ հաշվի առնելով վերոհիշյալ շեղումները: Չնայած առաջարկվող լուծումներում [3-8] օգտագործվում է այդ շեղումների վերաբերյալ վիճակագրական տեղեկատվություն, սակայն հաշվի չեն առնվում վերջիններիս պատճառ հանդիսացող մեծությունների միջև փոխկապվածությունները: Դա հանգեցնում է վիճակագրական ժամանակային վերլուծության անհարկի բարդացման, այսինքն՝ անհրաժեշտ մեքենայական միջոցների անթույլատրելի մեծ ծախսերի: Հաճախ [4,5,7], այդ ծախսերի փոքրացման նպատակով, իրական կախվածությունները մոտարկվում են պարզունակ բանաձևերով: Չնայած այդ դեպքում բավարարվում են մեքենայական միջոցների ծախսերին առաջադրվող պահանջները, սակայն դա հատուցվում է արդյունքների անբավարար ճշտությամբ:

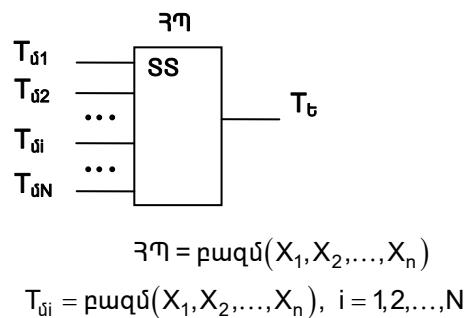
Այդ պատճառով, առաջարկվում է ԹՍ-ների ճշգրիտ վիճակագրական ժամանակային վերլուծության նոր, ընդհանրական մեթոդ, որի հիմքում ընկած է ԹՍ-ի յուրաքանչյուր տարրի հապաղման՝ թելյորյան շարքով ներկայացվող բազմանդամի

կիրառման սկզբունքը: Օգտագործվող բազմանդամի աստիճանը որոշվում է՝ ելնելով վերը նշված շեղումների մեծության և վերլուծության արդյունքների ճշտության պահանջվող աստիճանի հարաբերակցությունից: Առաջարկվող մեթոդը համապիտանի է շեղումների բաշխվածության տեսանկյունից:

Առաջարկվող վիճակագրական ժամանակային վերլուծության մեթոդը:

Առաջարկվում է տրամաբանական տարրերի (SS) մակարդակով ներկայացվող ԹՄ-ների համար նախատեսված ՎԺՎ մոտեցում, որի դեպքում սխեմայի տոպոլոգիան փոխակերպվում է հիմնական մուտքերից դեպի հիմնական ելքեր: Փոխակերպման ընթացքում յուրաքանչյուր SS-ի համար կատարվում են երկու հիմնական գործողություններ: Նախ՝ յուրաքանչյուր SS-ի մուտքային ազդանշանի ժամանման պահի և համապատասխան հապաղման ժամանակի միջև կատարվում է գումարման (ԳՈՒՄ) գործողությունը: Այն կրկնվում է SS-ի բոլոր մուտքային ազդանշանների համար: Այնուհետև, արդեն իրականացված ԳՈՒՄ գործողության արդյունքների հիման վրա իրականացվում է առավելագույն արժեքի հաշվարկման (ԱՌՎ) գործողությունը: Վերջինիս արդյունքում ստացվում է SS-ի ելքում ազդանշանի ժամանման պահի արժեքը:

SS-ի հապաղումը ներկայացվում է որպես անկախ $X_1, X_2, \dots, X_n$ փոփոխականների բազմանդամ, որտեղ n -ը վերջիններիս քանակն է: Նույն մոտեցմամբ, բազմանդամի միջոցով մոտարկվում է յուրաքանչյուր ազդանշանի ժամանման պահը: ՎԺՎ ալգորիթմի աշխատանքի համար անհրաժեշտ տվյալները գրանցվում են սխեմայի տոպոլոգիայի դիտարկման ժամանակ: ՎԺՎ-ում կիրառվող գործողությունների մեկնաբանումը SS-ի կոնկրետ օրինակի (նկ. 1) համար հետևյալն է. SS-ը ունի N մուտք և բազմանդամով ներկայացվող Z -ը հապաղում: $T_{\text{մ}}$ -ն տարրի i -րդ մուտքում ազդանշանի ժամանման պահն է: Ինչպես $T_{\text{մ}}$ -ները, այնպես էլ Z -ը ներկայացվում են բազմանդամի տեսքով:



Նկ. 1. ԳՈՒՄ և ԱՌՎ գործողությունների հաշվարկը

Քանի որ, ն՝ ելքային ազդանշանի ժամանման (T_z) պահը, ն՝ Z -ը ներկայացվում են որպես նույն անկախ $X_1, X_2, \dots, X_n$ փոփոխականների բազմանդամներ, ապա ԳՈՒՄ գործողության արդյունքում նույնպես ստացվում է բազմանդամ: Արդյունաբար բազմանդամում յուրաքանչյուր անդամի գործակիցը $T_{\text{մ}}$ -ի և Z -ի համապատասխան անդամների գործակիցների գումարն է: Յուրաքանչյուր i -րդ մուտքի համար ԳՈՒՄ գործողության արդյունքում տարրի ելքում ազդանշանի ժամանման պահը նշանակելով $T_{\text{ի}}$ - ով, կստանանք.

$$T_{it} = T_{0i} + \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, N: \quad (1)$$

Ընդ որում, այս դեպքում իրականացվում է ճշգրիտ հաշվարկ, և այս քայլում մոտարկումներ չեն արվում: Տարրի ելքում ազդանշանի ժամանման ընդհանրացված T_{it} պահը հաշվարկվում է որպես T_{it} մեծությունների առավելագույն արժեք՝ կիրառելով ԱՌՎ գործողությունը:

$$T_{it} = \text{ԱՌՎ}(T_{1t}, T_{2t}, \dots, T_{Nt}): \quad (2)$$

T_{it} մեծությունը, իր հերթին, նույնպես ներկայացվում է բազմանդամի տեսքով՝

$$T_{it} = \text{բազմ}(X_1, X_2, \dots, X_n): \quad (3)$$

Հայտնի է [6], որ ՎԺՎ-ի դեպքում ԱՌՎ գործողության արդյունքների ճշգրիտ ներկայացումը կապված է բարդությունների հետ: Առաջարկվում է T_{it} բազմանդամի հաշվարկման ռեգրեսիոն մոտեցում՝ օգտագործելով քառակուսային տարբերության նվազարկման վրա հիմնված մոտարկում: Համարելով, որ T_{it} -ի մոտարկման համար օգտագործվող բազմանդամի աստիճանը հայտնի է, փնտրվում է այդ աստիճանն ունեցող այնպիսի բազմանդամ, որի դեպքում ԱՌՎ գործողության արժեքի համեմատ սխալանքը նվազագույնն է:

$$P_0 = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n + c_{n+1} X_1^2 + \dots + c_{2n} X_n^2: \quad (4)$$

(4) –ում բերված երկրորդ աստիճանի մոտարկվող P_0 բազմանդամի օրինակի կիրառման դեպքում գործակիցների հաշվարկման համար օգտագործվող ռեգրեսիոն մոտեցումը հետևյալն է. դիցուք, $X_1, X_2, \dots, X_n$ պարամետրերի համար տրված է ընտրության վեկտորների m բազմությունը: Այդ բազմությամբ կարելի է գնահատել ԱՌՎ գործողության արդյունքների ճշտությունը: Դա հնարավոր է՝ գնահատելով բոլոր T_{it} բազմանդամները և հաշվարկելով դրանց ԱՌՎ-ները: Ենթադրենք, այդ գործընթացի արդյունքը F_i - է: Այդ դեպքում՝

$$O^2 = \sum_{i=1}^m [F_i - (c_1 X_{1i} + \dots + c_{1n} X_{1ni} + c_{n+1} X_{1i}^2 + \dots + c_{2n} X_{ni}^2)]^2, \quad (5)$$

որտեղ O -ն ԱՌՎ գործողության արդյունքում ստացված F_i և բազմանդամի օգնությամբ հաշվարկված արժեքների միջև առկա միջին քառակուսային սխալանքի արմատն է: Սխալանքի նվազարկման նպատակով հաշվարկվում են մասնակի ածանցյալներն ըստ բազմանդամի յուրաքանչյուր գործակցի և դրանք հավասարեցվում են 0-ի:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(O^2)}{\partial c_1} &= -2 \sum_{i=1}^m [F_i - (c_1 X_{1i} + \dots)] X_{1i} = 0, \\ \frac{\partial(O^2)}{\partial c_2} &= -2 \sum_{i=1}^m [F_i - (c_1 X_{1i} + \dots)] X_{2i} = 0, \\ &\dots \\ \frac{\partial(O^2)}{\partial c_{n+1}} &= -2 \sum_{i=1}^m [F_i - (c_1 X_{1i} + \dots)] X_{1i}^2 = 0, \\ &\dots \\ \frac{\partial(O^2)}{\partial c_{2n}} &= -2 \sum_{i=1}^m [F_i - (c_1 X_{1i} + \dots)] X_n^2 = 0: \end{aligned} \quad (6)$$

Ձևափոխելով, ստացվում է՝

$$\begin{aligned}
& c_1 \sum_{i=1}^m X_{i1} X_{i1} + c_2 \sum_{i=1}^m X_{2i} X_{2i} + \dots + c_{n+1} \sum_{i=1}^m X_{1i}^2 X_{i1} + \dots + c_{2n} \sum_{i=1}^m X_{ni}^2 X_{i1} = \sum_{i=1}^m F_i X_{i1}, \\
& c_1 \sum_{i=1}^m X_{i1} X_{2i} + c_2 \sum_{i=1}^m X_{2i} X_{2i} + \dots + c_{n+1} \sum_{i=1}^m X_{1i}^2 X_{2i} + \dots + c_{2n} \sum_{i=1}^m X_{ni}^2 X_{2i} = \sum_{i=1}^m F_i X_{2i}, \\
& \dots \\
& c_1 \sum_{i=1}^m X_{i1} X_{i1}^2 + c_2 \sum_{i=1}^m X_{2i} X_{i1}^2 + \dots + c_{n+1} \sum_{i=1}^m X_{1i}^2 X_{i1}^2 + \dots + c_{2n} \sum_{i=1}^m X_{ni}^2 X_{i1}^2 = \sum_{i=1}^m F_i X_{i1}^2, \\
& \dots \\
& c_1 \sum_{i=1}^m X_{i1} + c_2 \sum_{i=1}^m X_{2i} + \dots + c_{n+1} \sum_{i=1}^m X_{1i}^2 + \dots + c_{2n} \sum_{i=1}^m X_{ni}^2 = \sum_{i=1}^m F_i : \quad (7)
\end{aligned}$$

Սեղմ մատրիցային նկարագրության ստացման նպատակով միավորելով արտահայտությունները կստացվի.

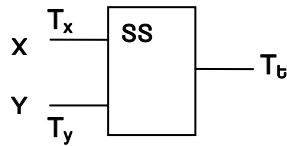
$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^m X_{i1} X_{i1} \dots \sum_{i=1}^m X_{1i}^2 X_{i1} \dots \sum_{i=1}^m X_{i1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m X_{i1} X_{i1}^2 \dots \sum_{i=1}^m X_{1i}^2 X_{i1}^2 \dots \sum_{i=1}^m X_{i1}^2 \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m X_{i1} \dots \sum_{i=1}^m X_{1i}^2 \dots m \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_1 \\ \dots \\ c_{n+1} \\ \dots \\ c_{2n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^m F_i X_{i1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m F_i X_{i1}^2 \\ \dots \\ \sum_{i=1}^m F_i \end{pmatrix} : \quad (8)$$

Այսպիսով, բազմանդամային ռեգրեսիան ներկայացվում է որպես $XC=F$ հավասարումների համակարգ, որը պետք է լուծվի C մատրիցի նկատմամբ: Այդ նպատակով հնարավոր է բերված տիպի մատրիցների հաշվարկի հայտնի եղանակներից ցանկացածի կիրառումը: Սակայն գործակիցների ընտրության ժամանակ անհրաժեշտ է ապահովել P_0 -ի և F_i -ների նվազագույն տարբերություն: Միալանքի ոչ բավարար լինելու դեպքում ԱՌՎ գործողության հաշվարկման ժամանակ իրականացվում է վերամոտարկում ավելի ճշգրիտ բազմանդամով:

Առաջարկվող ռեգրեսիոն մոտեցման բարդությունը կախված է չափվող անկախ X_i մեծությունների n քանակից և ընտրության վեկտորների m թվից: Դրանց մեծացումը միաժամանակ հանգեցնում է հաշվարկային ծախսերի և արդյունքների ճշտության մեծացման: Սակայն միշտ հնարավոր է որոշել n -ի և m -ի այնպիսի լավարկված արժեքներ, որոնց դեպքում ապահովվում է մեքենայական ժամանակի ծախսերի և արդյունքների ճշտության միջև պահանջվող փոխզիջում:

Դիտարկվող ՎԺՎ մեթոդի ընդհանրականությունն այն է, որ այն հաշվի է առնում բոլոր պարամետրական շեղումները, ինչպես նաև SS -ների հապաղումների և ազդանշանների ժամանման պահերի արժեքները՝ առանց ԱՌՎ գործողության ընթացքում կատարվող մոտարկումների: Բազմանդամային ռեգրեսիան հնարավոր է կիրառել կամայական X_i պարամետրական փոփոխականների համար, իսկ արդյունքների ճշտությունը կառավարվող է: ԱՌՎ-ի հաշվարկման ժամանակ օգտագործվող բազմանդամային ռեգրեսիոն մատրիցի չափողականությունը էքսպոնենցիալ օրենքով աճում է՝ կախված m -ից: Սակայն, բնականաբար, ցանկալի է ունենալ

տ-ից հաշվարկային ժամանակի գծային կախվածություն: Ստորև նկարագրվում է այդ նպատակի իրագործմանն ուղղված մոտեցում:



Նկ. 2. Ժամանակային վիճակագրական վերլուծություն G հանգույցի համար

Գծային ՎԺՎ-ի իրականացման համար կիրառվում են ազդանշանների ժամանման պահերի և SS-ի հապաղումների գծային մոդելներ: Այդ նպատակով յուրաքանչյուր SS-ի համար ստացվում են զույգ արժեքներ՝ գծային մոդելով և բազմանդամով հաշվարկված: Նկ. 2-ում բերված օրինակի համար դա նշանակում է, որ մոտքային x և y ազդանշաններից յուրաքանչյուրի համար ստացվում են գծային (T_x^g և T_y^g) և բազմանդամով (T_x^p և T_y^p) մոդելավորման արդյունքում ստացված արժեքները: SS-ի հապաղման գծային և բազմանդամային մոդելներով ստացված արժեքները համապատասխանաբար Z^g և Z^p -ն են:

SS-ի էլքային ազդանշանի ժամանման գծային մոտարկմամբ որոշվող պահը կստացվի հետևյալ կերպ՝

$$T_t^g = \text{ԱՌՎ}(T_x^g + \beta T^g, T_y^g + \beta T^g): \quad (9)$$

Այսպիսի ներկայացման դեպքում T_t^g - ն ստացվում է որպես $X_1, X_2, \dots, X_n$ անկախ պարամետրերի գծային կոմբինացիա՝

$$T_t^g = c_0 + c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_{1n} X_{1n}: \quad (10)$$

Քանի որ հայտնի է X_i անկախ փոփոխականներից յուրաքանչյուրի բաշխվածությունը, ապա՝

$$T_{t_{միջ}}^g = c_0 + c_1 X_{1_{միջ}} + \dots + c_n X_{n_{միջ}}, \quad (11)$$

$$T_{t_2}^g = c_1^2 X_{1_2} + c_2^2 X_{2_2} + \dots + c_n^2 X_{n_2}, \quad (12)$$

որտեղ X_i միջ-ը և X_i շ-ն X_i անկախ փոփոխականների, իսկ $T_{t_{միջ}}^g$ և $T_{t_2}^g$ շ-ն T_t^g -ի, համապատասխանաբար, միջին արժեքը և շեղվածությունն են:

Հաջորդ քայլում, ընդունելով գծային ռեգրեսիայի արդյունքում ստացվող էլքային ազդանշանի ժամանման պահի և միջին շեղման արժեքները որպես հիմք, էլքային ազդանշանի ժամանման պահի և շեղման արժեքների ճշգրտման նպատակով օգտագործվում է բազմանդամային ՎԺՎ-ն: Այս գործընթացի մեկնաբանությունը հետևյալն է. SS-ի էլքում ազդանշանի բազմանդամային ժամանման պահը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$T_t^p = \text{ԱՌՎ}(T_x^p + \beta T^p, T_y^p + \beta T^p), \quad (13)$$

որտեղ T_x^p -ն և T_y^p -ն, համապատասխանաբար, ազդանշանի ժամանման պահերն են X և Y մոտքերում, իսկ Z^p -ն՝ SS-ի բազմանդամով ներկայացվող հապաղումն է: Եթե հայտնի է $T_x^p + Z^p$ ($T_y^p + Z^p$ պայմանի կատարման P^p հավանականությունը, ապա հնարավոր է նաև նույն SS-ի համար $T_x^g + Z^g$ ($T_y^g + Z^g$ պայմանի կատարման P^g հավանականության հաշվարկը: T_t^p - ի որոշման համար օգտագործվում է բազմանդամային ՎԺՎ-ի P^p -ն: Այնուհետև, (11) և (12) արտահայտություններով

հաշվարկվող արժեքները մոտեցնելու նպատակով, ստացված $T_{\text{է}}^{\text{P}}$ -ում կատարվում են փոփոխություններ: Օրինակ, եթե $T_{\text{է}}^{\text{P}}$ -ն ներկայացվում է որպես

$$T_{\text{է}}^{\text{P}} = P^{\text{P}}(T_{\text{x}}^{\text{P}} + \beta T^{\text{P}}) + (1 - P^{\text{P}})(T_{\text{y}}^{\text{P}} + \beta T^{\text{P}}) \quad (14)$$

և անհրաժեշտ է հավասարեցնել $T_{\text{է}}^{\text{P}}$ -ի շեղումը $T_{\text{է}}^{\text{q}}$ -ին, ապա պարզության համար ընդունելով $T_{\text{է}}^{\text{P}}$ -ն որպես երկրորդ կարգի բազմանդամ՝

$$T_{\text{է}}^{\text{P}} = c_0 + c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n + c_{n+1} X_1^2 + \dots + c_{2n} X_n^2, \quad (15)$$

հնարավոր է գնահատել $T_{\text{է}}^{\text{P}}$ -ի միջին արժեքը և շեղվածությունը հետևյալ կերպ.

$$T_{\text{էմիջ}}^{\text{P}} = c_0 + c_1 X_{\text{միջ}} + \dots + c_n X_{\text{միջ}} + c_{n+1} X_{\text{միջ}}^2 + \dots + c_{2n} X_{\text{միջ}}^2, \quad (16)$$

$$T_{\text{էշ}}^{\text{P}} = c_0 + c_1 X_{\text{շ}} + \dots + c_n X_{\text{շ}} + c_{n+1} X_{\text{շ}}^2 + \dots + c_{2n} X_{\text{շ}}^2, \quad (17)$$

ընդ որում, $T_{\text{է}}^{\text{P}}$ -ի շեղումը (17) $T_{\text{է}}^{\text{q}}$ -ի շեղման (12) հետ համաձայնեցնելու նպատակով օգտագործվում են հետևյալ գործակիցները.

$$\alpha^2 = T_{\text{էշ}}^{\text{q}} / T_{\text{էշ}}^{\text{P}}, \quad T_{\text{է}}^{\text{P}} = k T_{\text{է}}^{\text{q}}, \quad T_{\text{էմիջ}}^{\text{P}} = \alpha T_{\text{էմիջ}}^{\text{q}} : \quad (18)$$

Փորձնական արդյունքներ: Կատարված փորձարկումների ժամանակ հաշվի են առնվել SS-ի երեք պարամետրեր՝ սնուցման $V_{\text{ս}}$ լարումը, շեմային $V_{\text{շ}}$ լարումը և կարճ հոսքուղու էֆեկտի համար էլեկտրոնի արագության հագեցման (գործակիցը: Փոփոխականների 1,8վ, 0,5վ և 1,3 միջին արժեքների վրա կիրառվել են համապատասխանաբար 10%, 20% և 7% շեղումներ: Ավելի ընդհանրական մոտեցում ապահովելու համար կիրառվել է ոչ խիստ Գաուսյան բաշխումը, որում ընդունվում է նշված փոփոխականների համաչափ բաշխվածություն՝

$$D \propto C_{\text{P}} V_{\text{ս}} / (V_{\text{ս}} - V_{\text{շ}})^{\alpha}, \quad (19)$$

որտեղ C_{P} -ն SS-ի բեռի ունակությունն է:

Սխալանքը որոշվել է Մոնթե-Կառլոյի մեթոդով ստացվող արդյունքների հետ համեմատության միջոցով: Փորձարկումների ընթացքում ԹՄ-ի կազմում եղած բոլոր SS-ների հապաղումները և ազդանշանների ժամանման պահերը ներկայացվել են 2-րդ կարգի բազմանդամներով: Փորձարկումների արդյունքները ISCAS89 շարքի մի քանի ԹՄ-ների համար բերված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

Փորձարկումների արդյունքները

ԹՄ	Մոնթե-Կառլոյի մեթոդ	Գծային մոդելավորմամբ ՎԺՎ			Բազմանդամային մոդելավորմամբ ՎԺՎ		
		Տևողություն	Շահում (անգամ)	Միջին քառակուսային սխալանք	Տևողություն	Շահում (անգամ)	Միջին քառակուսային սխալանք
C432	2994	1344	2,2	0,144	1390	2,2	0,052
C499	9899	2864	3,5	0,161	2936	3,4	0,056
C880	8252	2360	3,5	0,133	2404	3,4	0,034
C1355	9861	2834	3,5	0,172	2882	3,4	0,032
C1908	12966	2962	4,4	0,152	3010	4,3	0,041
C3540	64793	7207	9	0,150	7361	8,8	0,046
C5315	140650	9580	14,7	0,167	10913	12,9	0,091
C6288	362182	17112	21,2	0,162	17330	20,9	0,034
Միջ.			7,7	0,155		7,4	0,048

Մոնթե-Կառլոյի մեթոդի կիրառման պարագայում ստացվող աշխատանքային ցիկլի տևողության համեմատ գծային մոդելավորմամբ ՎԺՎ-ի դեպքում ստացվում է 7,7 անգամ շահում, իսկ բազմանդամային՝ 7,4: Միջին քառակուսային սխալանքը, համապատասխանաբար 0,155 և 0,048 է: Արդյունքները վկայում են նաև գծային նկատմամբ բազմանդամային ՎԺՎ-ի ունեցած առավելության մասին:

Եզրակացություն: Ներկայացված է թվային սխեմաների ճշգրիտ ժամանակային վերլուծության ընդհանրական մեթոդ, որն անկախ է տրամաբանական տարրերի հապաղումների և ազդանշանների ժամանման պահերի շեղումների բաշխվածությունից: Առաջարկված է թվային տարրերի հապաղումների՝ բազմանդամներով մոդելավորման եղանակ, որտեղ վերջիններիս կարգը հնարավոր է որոշել՝ ելնելով ելքային արդյունքների ճշտության պահանջներից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Baker R.J., Li H.W., Boyce D.E.** CMOS. Circuit design, Layout, and Simulation (2nd edition). - 2005. -P. 1038.
2. **Agarwal A., Vrudhula S.** Computation and Refinement of Statistical Bounds on Circuit Delay // IEEE Design Automation Conf. (DAC). -2003. -P. 348-353.
3. **Agarwal A., Zolotov V. and Blaauw D.** Statistical Timing Analysis Using Bounds and Selective Enumeration // ACM/IEEE International Workshop on Timing Issues in the Specification and Synthesis of Digital Systems. - 2002. -P. 25-31.
4. **Orshansky M., Bandyopadhyay A.** Fast Statistical Timing Analysis Handling Arbitrary Delay Correlations // 41st Design Automation Conference (DAC'04). -2004. -P.337-342.
5. **Visweswariah C., Ravindran K., Walker S.G.** First-Order Incremental Block-Based Statistical Timing Analysis // Design Automation Conference (DAC). -2004. -P.331-336.
6. **Chang H. and Sapatnekar S.** Statistical Timing Analysis Considering Spatial Correlations Using a Single Pert-Like Traversal // 2003 International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD '03). -2003. -P. 621.
7. **Le J., Li X., Pileggi L.** Statistical Timing Analysis with Correlations // Design Automation Conference (DAC). -2004. -P. 343-348.
8. **Bhardwaj S., Vrudhula S.** Probability Distribution of Signal Arrival Times Using Bayesian Networks // IEEE Transactions on CAD of Integrated Circuits and Systems. - 2005. - P. 1784 -1794.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.02.2007:

**В.Ш. МЕЛИКЯН, А.А. МАРТИРОСЯН, Э.В. МЕЛИКЯН, Т.А. ПЕТРОСЯН,
Д.С. СОГОМОНЯН**

МЕТОД ТОЧНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Показано, что наиболее универсальным методом оценки быстродействия проектируемых цифровых схем является статистический временной анализ. Учет возможных отклонений параметров технологических процессов изготовления интегральных схем, а также окружающей среды во время эксплуатации существенно увеличивает степень соответствия получаемых результатов с измерениями. Предложенный метод независим от распределения отклонений задержек логических элементов и моментов прибытия сигналов.

Ключевые слова: цифровая схема, статистический временной анализ, логический элемент, задержка.

**V.Sh. MELIQYAN, A.H. MARTIROSYAN, H.V. MELIQYAN, T.A. PETROSYAN,
D.S. SOGHOMONYAN**

ACCURATE STATISTICAL TIMING ANALYSIS METHOD FOR DIGITAL CIRCUITS

In digital circuit design the statistical timing analysis is a universal method for circuit speed estimation. By considering the process and environmental variations in statistical timing analysis method it is possible to obtain more accurate estimation results, which are closer to measured values. The proposed method does not consider variation distributions of gate delays and signal arrival times.

Keywords: digital circuit, statistical timing analysis, logic gate, delay.

G.SH. SHMAVONYAN

EXTREMELY BROADBAND InGaAsP/InP SUPERLUMINESCENT DIODES

For superluminescent diodes fabricated on the substrate with five 6 nm and two 15 nm InGaAsP quantum wells, a very broad emission spectrum is obtained. The spectral width is nearly 400 nm, covering the range from 1250 nm to 1650 nm.

Keywords: surfactant, heteroepitaxial growth, thin film, surfactant mediated growth.

1. Introduction. Broadband characteristics are attractive for optical fiber communication. Recent technology has made optical fiber exhibits very broad bandwidths, almost covering the range from 1.2 μm to 1.6 μm with a loss of less than 1 dB/km. Superluminescent diodes (SLDs) are good candidates of light sources for optical fiber communication because they are of compact size, can be directly integrated with electronic components. However, to cover the entire usable bandwidth of an optical fiber, many conventional SLDs having different spectral range are required because each conventional SLD usually has a bandwidth of less than 50 nm. Therefore, if the bandwidth of SLDs could be broadened, they will be even more attractive.

Multiple quantum well (MQW) is a convenient way that has been widely used to broaden the bandwidth of SLDs [1]. However the design is not straightforward because the carrier distribution within the MQW is not uniform [2]. By considering the uniform carrier distribution within MQWs, we demonstrate that the spectral bandwidth of SLDs can be significantly broadened by using properly designed nonidentical MQWs grown on InP substrate.

2. Experiment. To achieve the broadband characteristics, a sequence of nonidentical MQWs is designed. The layer structure is shown in Fig. 1. The five 60 Å $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ quantum wells, designed for a transition energy corresponding to 1.3 μm , are grown near the p-cladding layer, while the two 150 Å $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ quantum wells, designed for a transition energy corresponding to 1.3 μm , are grown near the n-cladding layer. $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.3}\text{P}_{0.7}$ barriers of 150 Å width are used to separate the QWs. The separate confinement heterostructure (SCH) layer is 300 Å thick for better uniformity of carrier distribution.

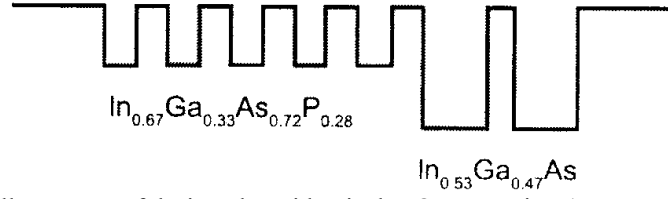


Fig. 1. Quantum-well structure of designed nonidentical MQWs Barrier: 15 nm, $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.3}\text{P}_{0.7}$, SCH region: 30 nm, $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.3}\text{P}_{0.7}$

The designed nonidentical MQW structure was grown on InP substrate. Typical processing techniques were used to fabricate bent-waveguide SLDs [3]. With the bent-stripe structure, the reflection of light from the cleaved facet is reduced, thus minimizing the influence of Fabry-Perot resonance [3]. We used two kinds of devices, one of which is 300 μm , as shown in Fig. 2 and the other is 500 μm , as shown in Fig. 3. No facet coatings were applied to the devices.

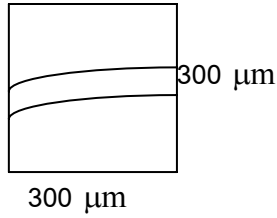


Fig. 2. This is the waveguide structure of the 300 μm long device

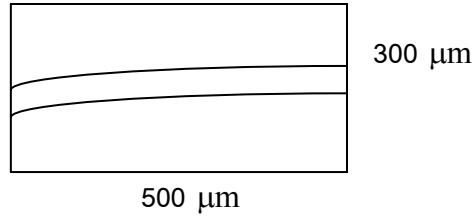


Fig. 3. This is the waveguide structure of the 500 μm long device

The emission spectra of the 500 μm fabrication devices at different current levels are measured and they are shown in Fig. 4 and the emission spectra of the 300 μm fabrication devices at different current levels are measured which are shown in Fig. 5.

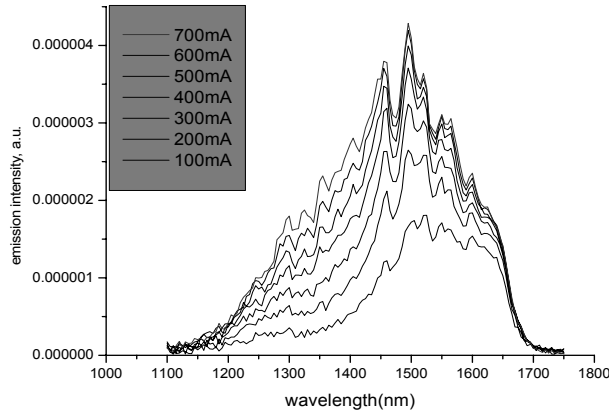


Fig. 4. Emission spectra of SLDs at different injection currents, 500 μm , bending side facet

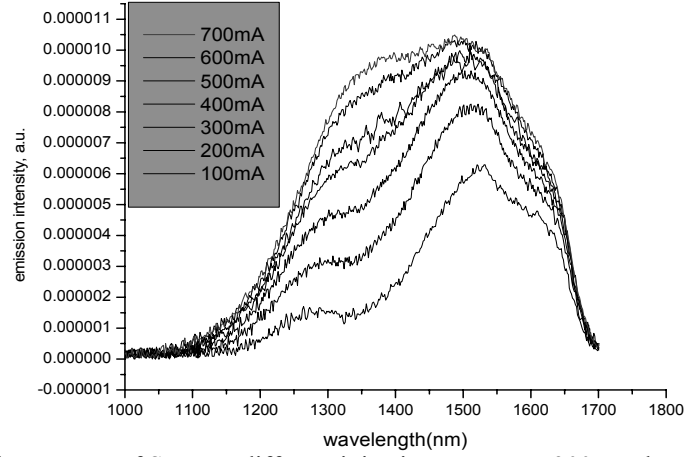


Fig. 5. Emission spectra of SLDs at different injection currents, $300\ \mu\text{m}$, bending side facet

In Fig. 5 for the spectrum of the $300\ \mu\text{m}$ device at low injection current the wavelength of the emitted light is close to $1.5\ \mu\text{m}$, which corresponds to the transition between $n = 1$ conduction band and $n = 1$ valence band of $150\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ quantum wells. These wells are designed for light emitted at $1.6\ \mu\text{m}$ wavelength. Some part of light is emitted at the wavelength close to $1.3\ \mu\text{m}$, which corresponds to the transition between $n = 1$ conduction band and $n = 1$ valence band of five $60\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ quantum wells. These quantum wells are of $1.3\ \mu\text{m}$ range. These spectra describe that at low injection current the carriers gathering in the five $60\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ quantum wells are able to provide the gain. Note that $150\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ QWs are near the n-cladding layer. Thus more carriers accumulate near the n-cladding layer.

When the injection current increases to $200\ \text{mA}$, carriers in five $60\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ QWs have the same contributions as the double $150\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ QWs. However, when the injection current increases to $300\ \text{mA}$, carriers in five $60\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ QWs provide more gain than the double $150\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ QWs. If we increase the current above $500\ \text{mA}$, carriers in five $60\ \text{\AA}$ $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ QWs cannot provide the gain any more. Therefore, the two kinds of MQWs have almost equal gain at a particular injection level. The spectral width is near $400\ \text{nm}$, covering the $1250 \dots 1650\ \text{nm}$ range.

When designing a broadband SLD using a nonidentical MQW structure, factors such as QW transition energy, number and sequence of the different QWs, the thickness of the SCH layer, the selection of the dominant carrier, the ability of the QW to trap the 2D carrier, the uniformity of the 2D carrier within the QWs, etc. must be taken into account. Using a properly designed nonidentical MQW structure, the fabrication of even more broadband SLDs should be possible.

3. Conclusion. We have demonstrated extremely broadband SLDs using properly designed two 150 Å In_{0.53}Ga_{0.47}As QWs and five 60 Å In_{0.67}Ga_{0.33}As_{0.72}P_{0.28} QWs. A spectral width covering the range from 1.25 μm to 1.65 μm has been achieved. The spectral width could be as broad as 400 nm.

It is a pleasure for us to express gratitude to Professor V.V. Buniatyan for useful discussions and NATO - for Reintegration Grant FEL.RIG 980772.

REFERENCES

1. **Semenov, A.T., Shidlovski, V.R., and Safin, S.A.** Wide spectrum single quantum well superluminescent diodes at 0.8mm with bent optical waveguide // Electron. Lett. - 1993. - 29. - P. 854-857.
2. **Lee, B.L., Lai, J.W., and Lin, W.** Experimental evidence of nonuniform carrier distribution in multiple-quantum-well laser diodes // Electron. Lett. - 1998. - 34. - P. 1230-1231.
3. **Lin, Ch.-F., and Juang Ch.-Sh.** Superluminescent diode with bent waveguide // IEEE Photonics Technol. Lett. - 1996. - 8. - P. 206-208.

SEUA. The material was received 05.11.2005.

Գ.Շ. ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ

ԾԱՅՐԱՀԵՂ ԼԱՅՆ **InGaAsP/InP** ՍՈՒՊԵՐԼՅՈՒՄԻՆԵՍԵՆՏՆԱՅԻՆ ԴԻՈԴՆԵՐ

Սուպերլյումինեսցենտային դիոդները, որոնք պատրաստվել են հինգ 6 նմ և երկու 15 նմ լայնությամբ InGaAsP քվանտային փուսեր ունեցող հարթակի վրա, ունեն ճառագայթման շատ լայն սպեկտր: Սպեկտրային լայնությունը կազմում է մոտ 400 նմ, որն ընդգրկում է 1250 նմ-ից 1650 նմ տիրույթը:

Առանցքային բաղեղ. մակերևութային ակտիվ տարր, հետերոէպիտաքսային աճեցում, բարակ թաղանթ, մակերևութային ակտիվ տարրի ձևափոխման աճեցում:

Г.Ш. ШМАВОНЯН

ЭКСТРЕМАЛЬНО-ШИРОКИЕ InGaAsP/InP СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИОДЫ

Для суперлюминесцентных диодов, изготовленных на подложке с пятью 6-нанометровыми и двумя 15-нанометровыми InGaAsP квантовыми ямами, получен широкий эмиссионный спектр. Спектральная ширина составляет ~ 400 нм, которая покрывает область от 1250 нм до 1650 нм.

Ключевые слова: поверхностно-активный элемент, гетероэпитаксиальный рост, тонкая пленка, поверхностно-активный преобразующий элемент роста.

Ա.Ա. ՏԵՐ-ԳԱԼՍՅԱՆ

ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՍՊԱՌՄԱՆ ԱՐԱԳ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ՝
RTL ԿՈՄԱԿԻՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Առաջարկվում է RTL կոմպիլյատորների միջոցով գեներացվող սխեմաների հզորության սպառման գնահատման արագ մեթոդ, որը հիմնված է այդ սխեմաների կառուցվածքի կանոնավորության վրա: Մեթոդը կիրառվել է արդյունաբերական RTL կոմպիլյատորի վրա և ապահովել է գնահատման բարձր ճշտություն: Գնահատման սխալը կազմել է 15%:

Առանցքային բառեր RTL կոմպիլյատոր, բնութագրում, հզորության սպառում:

Ներածություն: Էլեկտրոնային սխեմաների նախագծման ժամանակակից ընթացակարգերում մեծ տեղ է գրավում սխեմաների նկարագրման RTL մակարդակը: RTL նկարագրությունները սխեմաները Ապարատային Նկարագրության Լեզուներով (ԱՆԼ) ներկայացնելու հիմնական միջոց են և ընթացակարգի հաջորդ փուլին փոխանցելուց առաջ պահանջում են համապատասխան որակավորում: Պատմականորեն, էլեկտրոնային արդյունաբերության մեջ սխեմայի նախագծման գործընթացն ուղղորդող որակի չափանիշներ են եղել արտադրողականությունը և մակերեսը: Սակայն այժմ սխեմաների հզորության սպառման հետ կապված հարցերը ևս սկսել են կարևոր դեր խաղալ նախագծային որոշումներ կայացնելիս: Դա պայմանավորված է վերջին ժամանակներում բազմաթիվ դյուրակիր (portable) սարքերի (թվային ֆոտո/տեսա-խցիկներ, բջջային հեռախոսներ և այլն) լայն տարածմամբ, որոնք սխեմաների հզորության սպառման խիստ պահանջներ են ներկայացնում: Սխեմայի հզորության սպառման արագ գնահատումը նախագծման վաղ փուլերում հնարավորություն է տալիս նախագծողներին դիտարկել սխեմայի իրականացման մի շարք տարբերակներ և ընտրել առաջադրված պահանջները բավարարող լավագույն տարբերակը: RTL նկարագրությամբ ներկայացված սխեմաների հզորության սպառման գնահատման ավանդական եղանակները [1-3] ժամանակատար են և RTL կոմպիլյատորների դեպքում [4-6], երբ առկա են մեծ թվով RTL նկարագրություններ, դրանք անարդյունավետ են: Ուստի, RTL կոմպիլյատորների միջոցով գեներացվող նկարագրությունների հզորության սպառման արագ գնահատման խնդիրն արդիական է:

Աշխատանքում ներկայացվող մեթոդը հնարավորություն է ընձեռում արագ գնահատել RTL կոմպիլյատորների միջոցով գեներացվող սխեմաների հզորության սպառումը: Այն հիմնված է RTL կոմպիլյատորների միջոցով ներկայացվող պարամետրացված սխեմաների կառուցվածքի կանոնավորության վրա: Մեթոդը ստուգված է արդյունաբերական RTL կոմպիլյատորի վրա, և վերջինիս գնահատման սխալանքը չի գերազանցում 15%-ը:

1. Մեթոդի նկարագրությունը: Այստեղ և հետագայում խոսքը գնում է շաբլոնների հիման վրա կառուցված RTL կոմպիլյատորների մասին: Մեթոդում շահագործվում է RTL կոմպիլյատորների միջոցով ներկայացվող պարամետրացված սխեմաների կառուցվածքի կանոնավորությունը: [8]-ում ցույց է տրվում, որ այդ կանոնավորությունը հիմք է հանդիսանում գեներացվող սխեմաների մակերեսի և RTL կոմպիլյատորի մուտքային պարամետրերի միջև ֆունկցիոնալ կախվածությունների գոյության համար: Հզորության սպառումը, գտնվելով ուղիղ համեմատական կապի մեջ մակերեսի հետ, ենթարկվում է նմանատիպ կախվածությունների¹: Այդ կախվածությունների անալիտիկ տեսքով ներկայացումը հնարավորություն կտար RTL կոմպիլյատորի կողմից գեներացվող սխեմայի հզորության սպառման գնահատումը հանգեցնել համապատասխան ֆունկցիայի արժեքի հաշվմանը՝ պարամետրերի տրված արժեքների համար: Սակայն, կախվածությունը ներկայացնող ֆունկցիայի անալիտիկ տեսքը հայտնի չէ, և առաջարկվում է դրա փոխարեն կիրառել համապատասխան մոտարկող ֆունկցիան: Մոտարկող ֆունկցիայի ստացման համար բավական է մի քանի կետերում ունենալ ֆունկցիայի արժեքները: Տվյալ դեպքում այդ կետերը պարամետրերի ընտրված արժեքներն են, իսկ այդ կետերում ֆունկցիայի արժեքները՝ պարամետրերի արժեքներին համապատասխանող RTL նկարագրությունների՝ հզորության սպառման գնահատականները: Հզորության սպառման գնահատականները պարամետրերի այդ մի քանի արժեքներին համապատասխանող RTL նկարագրությունների՝ համար ստացվում են ավանդական եղանակով: Մոտարկման հայտնի մեթոդներից այստեղ կիրառվել է հատվածագծային ինտերպոլյացիայի մեթոդը՝ առաջնորդվելով ճշտության ապահովման և իրականացման պարզության նկատառումներով: Այս մեթոդի դեպքում $x_1, \dots, x_n$ կետերի (ինտերպոլյացիոն կետեր) բազմությունից, հարևան յուրաքանչյուր զույգ x_i, x_j կետերով որոշվող հատվածի համար կառուցվում է գծային ֆունկցիա, և այդ հատվածի յուրաքանչյուր x կետի համար ֆունկցիայի արժեքը հաշվվում է հետևյալ բանաձևով.

$$f(x) = f(x_i) + (x - x_i) \cdot \frac{f(x_j) - f(x_i)}{x_j - x_i},$$

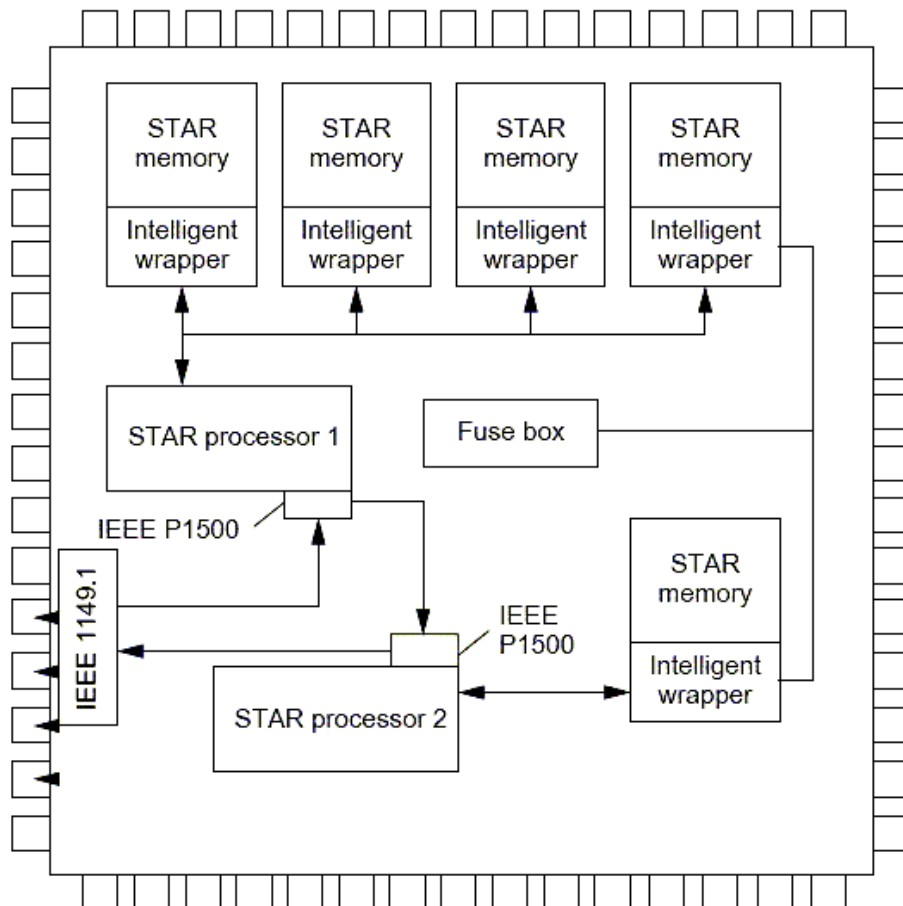
որտեղ $f(x_i)$ -ն և $f(x_j)$ -ն, համապատասխանաբար, i և j կետերում իրական ֆունկցիայի նախապես հաշված արժեքներն են: Ստացված ֆունկցիաների բազմությունն էլ հենց որոնվող մոտարկումն է: Որակյալ մոտարկում ստանալու տեսանկյունից կարևոր նշանակություն ունի ինտերպոլյացիոն կետերի ճիշտ ընտրությունը: Մեր դեպքում, որպեսզի ստացված մոտարկող ֆունկցիաների բազմությունը ծածկի տվյալ պարամետրի արժեքների ողջ միջակայքը, անհրաժեշտ պայմանն ընտրված ինտերպոլյացիոն կետերի բազմության մեջ պարամետրի արժեքների միջակայքի ծայրակետային արժեքների առկայությունն է: Բացի դրանից, ցանկալի է, որպեսզի ինտերպոլյացիոն կետերը հավասարաչափ բաշխված լինեն ողջ միջակայքի վրա: Դա հնարավորություն կտա գնահատման նմանատիպ ճշտություն ապահովել ողջ միջակայքի համար: Բնականաբար, ավելացնելով ինտերպոլյացիոն կետերի քանակը, կարելի է մեծացնել գնահատման ճշտությունը, սակայն դա կհանգեցնի լրացուցիչ հաշվողական և ժամանակային

¹ Ենթադրվում է, որ մակերեսի և հզորության սպառման գնահատման գործընթացում տրամաբանական սինթեզի պայմանները (գործիքը, տրամաբանական տարրերի գրադարանը, ժամանակային և միջավայրի սահմանափակումները և այլն), ինչպես նաև սխեմայի աշխատանքային հաճախականությունը մնում են հաստատուն:

ռեսուրսների անհրաժեշտությանը: Այսպիսով, մեթոդն օժտված է ճկունությամբ և, անհրաժեշտության դեպքում, կարելի է փոխզիջումներ կատարել գնահատման ճշտության և մեթոդի իրականացման համար պահանջվող հաշվողական ու ժամանակային ռեսուրսների միջև:

Հաջորդ գլխում բերված է ներկառուցված հիշողությունների ինքնաստուգման և վերանորոգման ենթահամակարգի նկարագրությունը, որի RTL կոմպիլատորի վրա իրականացվել է մեթոդի ստուգումը:

2. Ներկառուցվող հիշողությունների ինքնաստուգման և վերանորոգման (ԻՍևՎ) ենթահամակարգ: Նկար 1-ում ներկայացված է ԻՍևՎ (STAR – Self Test and Repair) հիշողության համակարգեր պարունակող ՀԲՎ (Համակարգ Բյուրեղի Վրա) [9]: Այն ներառում է STAR պրոցեսորներ, STAR հիշողության նմուշներ իրենց ինտելեկտուալ պատյաններով (Intelligent wrapper) և հիշողությունների վերանորոգումների տվյալների պահոց (Fuse Box): ԻՍևՎ հիշողությունները օժտված են մի շարք ԻՍևՎ ֆունկցիաներով: Ստուգման ալգորիթմները կարող են նախապես ներդրվել BIST մոդուլի մեջ կամ կարգավորվել արտաքինից՝ միկրոկոդի միջոցով, որը կարող է պահվել, օրինակ, էներգաանկախ մշտական հիշողության մեջ: Ներդրված ինքնաախտորոշման մոդուլն իրականացնում է հիշողության անսարքությունների տեղայնացումը և անհրաժեշտության դեպքում ապահովում է այդ անսարքություններին վերաբերող ինֆորմացիայի դուրս բերումն ու գրանցումը: Ներդրված վերանորոգման և հավելյալության տեղաբաշխման մոդուլը հայտնաբերում է գոյություն ունեցող հավելյալ տողերն ու սյուները և որոշում դրանց օպտիմալ բաշխման տարբերակը: Դրա համար այն օգտագործում է անսարքությունների նախապատմությունից ստացվող հիշողությունների թերությունների վերաբերյալ ինֆորմացիան, որը տրամադրվում է սխեմաներ արտադրող գործարանների կողմից: Այսպիսով, վերահասցեավորելով անսարքություն պարունակող տողերն ու սյուները, և օգտագործելով հավելյալ տողերն ու սյուները, ԻՍևՎ պրոցեսորը տեղայնացնում և վերանորոգում է հիշողության անսարքությունները: Տեղաբաշխման մոդուլը հավելյալ տողերի և սյուների տեղաբաշխման ինֆորմացիան վերածում է հիշողությանը հատուկ կոդի և այն գրանցում հիշողությունների թերությունների մասին ինֆորմացիայի գրանցման պահոցում: Մեկ ԻՍևՎ պրոցեսորը կարող է ստուգել և վերանորոգել բազմաթիվ հիշողություններ՝ հաջորդաբար, զուգահեռ կամ ցանկացած այլ հերթականությամբ: Նկարում ներկայացված համակարգը պարունակում է երկու ԻՍևՎ պրոցեսորներ, որոնցից մեկին հատկացված են չորս հիշողության նմուշներ, իսկ մյուսին՝ մեկ հիշողության նմուշ: ՀԲՎ-ի վրա հիշողության նմուշների խմբավորումը ԻՍևՎ պրոցեսորի միջոցով պայմանավորված է մակերեսի, հզորության, արագության, համակարգային տակտային գեներատորի և ՀԲՎ-ի վրա մոդուլների տեղաբաշխման գործոններով: Յուրաքանչյուր հիշողությանը կցված ինտելեկտուալ պատյանն աշխատում է ԻՍևՎ պրոցեսորի հետ համատեղ՝ ապահովելով հիշողությունների ստուգման և վերանորոգման գործողությունների կատարումը, ինչպես նաև հիշողությունների նորմալ աշխատանքը:



Նկ. 1. ԻՍևՎ հիշողության համակարգեր պարունակող բյուրեղ

STAR memory – ԻՍևՎ հիշողության նմուշ

IW (Intelligent Wrapper) - ինտելեկտուալ պատյան

STAR processor – ԻՍևՎ պրոցեսոր

Fuse Box – հիշողությունների վերանորոգման տվյալների պահոց

P1500 – թվային սխեմաների տեստավորման արձանագրություն

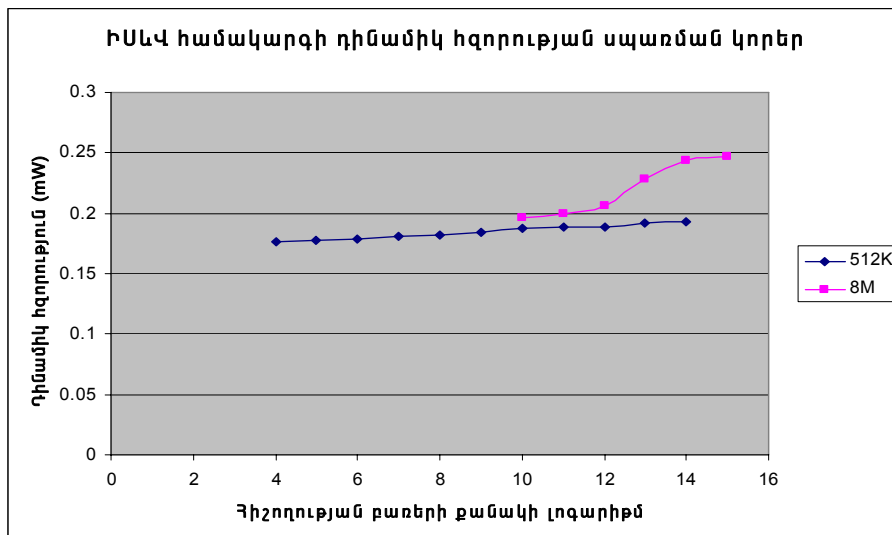
Ինտելեկտուալ պատյանը պարունակում է հասցեների ձևավորման, տվյալների համեմատման մոդուլներ, ռեգիստրներ և մուլտիպլեքսորներ: Ֆունկցիաների կառուցվածքային բաժանումը պատյանների և ԻՍևՎ պրոցեսորի միջև պայմանավորված է ԻՍևՎ ինֆրակառուցվածքի աշխատանքի համար անհրաժեշտ թողունակության պահանջներով: ԻՍևՎ պրոցեսորի և ինտելեկտուալ պատյանի միջև տվյալների փոխանակումը տեղի է ունենում ցածր թողունակությամբ: Ինտելեկտուալ պատյանի և հիշողության միջև ապահովված է տվյալների փոխանակման բարձր թողունակություն: Ինտելեկտուալ պատյանի՝ հիշողությանը մոտիկ տեղակայումը նախատեսված է հիշողության աշխատանքային հաճախականությամբ ստուգումն ապահովելու նպատակով:

3. Փորձնական արդյունքներ: Դիտարկվող ներկառուցվող հիշողությունների ԻՍևՎ ենթահամակարգի մոդուլներից գնահատման մեթոդը կիրառվել է միայն STAR պրոցեսորի և ինտելեկտուալ պատյանների համար: ԻՍևՎ ենթահամակարգի RTL կոմպիլատորի մուտքային պարամետրերի բազմությունից, վերլուծության արդյունքում, դուրս են բերվել այն պարամետրերը, որոնք այս կամ այն չափով ազդեցություն ունեն նշված երկու մոդուլների հզորության սպառման բնութագրի վրա: Դրանք ներկայացված են աղյուսակի տեսքով (տե՛ս աղյուսակը)

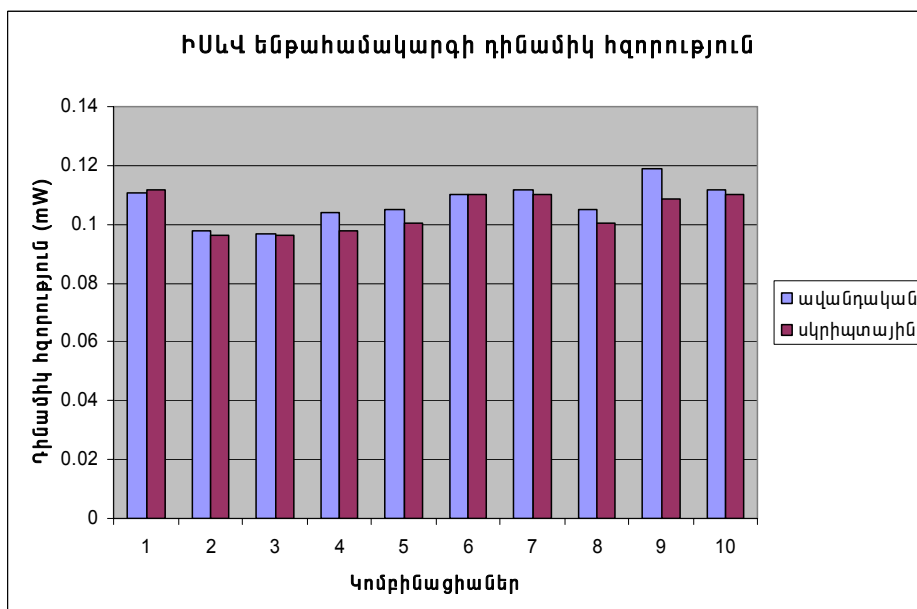
Աղյուսակ

Մուտքային պարամետր	Տիպ	Հզորության սպառման առումով պարամետրի ազդեցությանը ենթարկվող մոդուլները
Հիշողության բառերի քանակ	քանակական	ԻՍևՎ պրոցեսոր, ինտել.պատյան
Բառի կարգայնություն	քանակական	ինտելեկտուալ պատյան
Ենթաբառում գ/կ հնարավորություն	որակական	ինտելեկտուալ պատյան
Հիշողության մուտքերի քանակ	որակական	ԻՍևՎ պրոցեսոր, ինտել.պատյան
Հիշողության նմուշների քանակ	քանակական	ԻՍևՎ պրոցեսոր
Վերանորոգման հնարավորություն	որակական	ԻՍևՎ պրոցեսոր
Տեստավորման ալգորիթմ	որակական	ԻՍևՎ պրոցեսոր

Այս բոլոր պարամետրերի համար ընտրվել են համապատասխան արժեքների բազմությունները՝ առաջնորդվելով երկրորդ գլխում բերված ցուցումներով և դրանց բոլոր հնարավոր կոմբինացիաներին համապատասխանող RTL նկարագրությունների համար, ավանդական եղանակով, գնահատվել են հզորության սպառման բնութագրերը, որոնք ինտերպոլյացիոն կետեր են հանդիսացել մոտարկման համար: Այդ կետերով կառուցված կորի տեսքը (նկ. 2) հաստատեց երկրորդ գլխում բերված՝ RTL կոմպիլատորների միջոցով ներկայացվող պարամետրացված սխեմաների հզորության սպառման և RTL կոմպիլատորի մուտքային պարամետրերի միջև գոյություն ունեցող որոշակի ֆունկցիոնալ կախվածությունների գոյության վերաբերյալ ենթադրությունները:



Նկ. 2. ԻՍՆՎ ենթահամակարգի դինամիկ հզորության սպառման կախվածության գրաֆիկը հիշողության բառերի քանակի լոգարիթմից



Նկ. 3. ԻՍՆՎ պրոցեսորի դինամիկ հզորության ավանդական և սկրիպտային եղանակներով ստացված գնահատականների համեմատություն

Հատվածագծային ինտերպոլյացիայի արդյունքում ստացվել են մոտարկող ֆունկցիաները, որոնք ներդրվել են TCL լեզվով ներկայացված հզորության սպառման գնահատման սկրիպտի մեջ: RTL կոմպիլյատորի շարժանային իրականացումը

հնարավորություն է տալիս այդ սկրիպտը ներդնել RTL կոմպիլյատորի միջավայրում՝ շաբլոնի տեսքով: Այնուհետև, մեթոդի ճշտության ստուգման նպատակով, պատահականության սկզբունքով ընտրվել են պարամետրերի արժեքների մի շարք կոմպինացիաներ և դրանց համապատասխան RTL նկարագրությունների հզորության սպառման ավանդական եղանակով ստացված գնահատականները համեմատվել են սկրիպտի միջոցով ստացված գնահատականների հետ: Արդյունքում մեթոդի գնահատման սխալը չի գերազանցել 15%-ը: Համեմատության արդյունքները ներկայացված են նկար 3-ում: Նմանատիպ արդյունքներ ստացվել են նաև ստատիկ հզորության սպառման համար:

Եզրակացություն: Առաջարկվում է հզորության սպառման արագ գնահատման մեթոդ՝ RTL կոմպիլյատորների միջոցով գեներացվող սխեմաների համար: Ցույց է տրվում, որ RTL կոմպիլյատորների միջոցով պարամետրացվող սխեմաների կառուցվածքի կանոնավորությունը կարող է հիմք հանդիսանալ սխեմայի հզորության սպառման բնութագրի և RTL կոմպիլյատորի մուտքային պարամետրերի միջև եղած կախվածությունները մոտարկման միջոցով որոշելու համար: Գործնական կիրառություն ունեցող RTL կոմպիլյատորի վրա ցույց է տրվում մեթոդի պիտանելիությունը և բարձր ճշտության ապահովման ունակությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Nemani M., Najm F.** High-Level Area and Power Estimation for VLSI circuits // IEEE Transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems. – 1999. - Vol. 18, No. 6.
2. **Li F. et. al,** High-Level Area and Power-Up Current Estimation Considering Rich Cell Library// Asia and South Pacific Design Automation Conference. - 2004. – P.899-904.
3. **Ravi S., Raghunathan A., Chakradhar S.** Efficient RTL Power Estimation for Large Designs// Proceedings of the 16th International Conference on VLSI Design.- 2003.
4. **Horstmannshoff J., Meyr H.** Efficient Building Block Based RTL Code Generation form Synchronous Data Flow Graphs// Annual ACM IEEE Design Automation Conference, Proceedings of the 37th conference on Design automation. - 2000.- P. 552 – 555.
5. **Kejariwal A., Mishra P., Astrom J., Dutt N.** HDL Generation Method for Configurable VLIW processor, CECS Technical Report #03-04, Center for Embedded Computer Systems, University of California. - February, 2003
6. **Zarrineh K., Upadhyaya S.A.** New Framework For Automatic Generation, Insertion and Verification of Memory Built-In Self Test Units// 1999 17TH IEEE VLSI Test Symposium.- April, 1999.
7. **Cheng K., Hsueh C., Huang J., Yeh J., Huang C. and Wu C.** Automatic Generation of Memory Built-In Self-Test Cores for System-on-Chip// Proceedings of the 10th Asian Test Symposium. - 2001.
8. **Ter-Galstyan A.** An Automation Method For Gate-Count Characterization Of RTL Compilers// East-West Design & Test Workshop. - Sochi, Russia, September 15-19, 2006.
9. **Zorian Y., Shoukourian S.** Embedded-Memory test and repair: Infrastructure IP for SoC yield// IEEE Design & Test of Computers. - May – June, 2003.

ԵՊՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.04.2007:

А.А. ТЕР-ГАЛСТЯН

МЕТОД БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ RTL КОМПИЛЯТОРОВ

Предлагается быстрый метод оценки потребляемой мощности схем, генерируемых RTL компиляторами, который основан на структурной регулярности этих схем. Метод был применен в промышленных RTL компиляторах и обеспечил высокую точность оценки. Погрешность метода составляет 15%.

Ключевые слова: RTL компилятор, характеристика, потребляемая мощность.

A.A. TER-GALSTYAN

A QUICK ESTIMATION METHOD OF POWER ESTIMATION FOR RTL COMPILERS

A quick method of consumption power for designs generated by RTL compilers, which estimation is based on structure regularity of those designs is proposed. It has been applied to an industrial RTL compiler and provided high accuracy of estimation. The estimation error is within 15%.

Keywords: RTL compiler, characterization, consumption power.

А.С. ГЮРДЖЯН

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММОЙ

Выявлены возможные варианты структуры системы управления программой. Рассмотрена возможность ее оптимизации.

Ключевые слова: программа, организационная структура, система управления.

При формировании структуры системы управления происходит организационно-правовое закрепление за структурными подразделениями и ответственными исполнителями органа руководства основных функций и процедур принятия решений, обеспечивающих управление процессом реализации программы.

В основе построения организационной структуры органа руководства программой лежат следующие принципы:

- централизация процесса управления реализацией программы в едином органе;
- четкая регламентация процесса принятия решений при управлении программой и распределение полномочий и ответственности между всеми уровнями системы управления;
- полнота отображения всех функций управления в функциях подразделений и ответственных исполнителей органа руководства программой;
- соблюдение соподчиненности подсистем управления, принадлежащих различным уровням иерархии системы управления программой.

Централизация управления программой в рамках специального органа руководства является одним из наиболее важных отличий программно-целевых методов от традиционных способов организации управления. Централизация управления, как показывает, например, опыт в области программ создания космической и военной техники, позволяет предотвратить затягивание сроков выполнения работ, значительно сократить, а в ряде случаев и исключить совсем задержки в передаче и использовании завершенных результатов. Центральный орган руководства создается в период формирования программы и прекращает свое функционирование после ее реализации. Поэтому централизация управления в ходе реализации программы должна сочетаться с хозяйственной самостоятельностью организаций-исполнителей, имеющих различную ведомственную подчиненность. Следовательно, центральный орган руководства программой своими полномочиями должен дополнять, а не подменять существующие административные органы отраслевого и территориального управления. Эта особенность программно-целевого управления [1] требует четкой регламентации всех функций полного

цикла процесса управления и распределения полномочий и ответственности за принятие решений между различными уровнями системы управления программой.

Возможны различные формы организации управления реализацией программы, которые в той или иной мере отражают описанные выше особенности программно-целевого управления.

В данной работе предлагается общий подход к формированию организационной структуры системы управления программой, в рамках которого может быть дано более полное обоснование выбора тех или иных форм организации управления.

Отличительной особенностью данного подхода от традиционного, основанного только на устранении недостатков, выявленных при ретроспективном анализе существующих систем управления, является возможность целенаправленного, планомерного приближения действующей системы управления к более совершенной, разработанной на основе принципов программно-целевого управления [2]. Если в рамках традиционного подхода к совершенствованию организации управления вначале фиксируются недостатки существующей системы, затем анализируются причины их возникновения и предлагаются мероприятия, направленные на устранение отмеченных недостатков, то при рассматриваемом подходе сначала формируется "идеальная" модель системы управления, затем существующая система представляется в стандартизованном виде, допускающем ее сопоставление с "идеальной системой", после чего устанавливается соответствие (расхождение) существующей с "идеальной" и составляется план совершенствования действующей системы с учетом имеющихся ограничений.

Процесс формирования структуры системы управления программой с учетом описанных выше особенностей предлагаемого подхода может быть представлен в виде последовательности характерных этапов: определение требований к структуре системы управления программой; определение возможных вариантов структуры системы управления; определение возможных вариантов комплексного обеспечения элементов структуры системы управления; оптимизация структуры системы управления процессом реализации программы.

К числу основных видов требований, характеризующих организационную структуру системы управления, относятся:

- требования, определяющие степень централизации и децентрализации управления (число уровней иерархии, распределение полномочий в процессе реализации функций управления между уровнями иерархии);
- требования к качественным характеристикам исполнителей, реализующих основные функции управления в пределах заданных полномочий (специализация и квалификация);
- требования к количественным характеристикам комплексного обеспечения функций управления – информация, кадры, технические средства и т.д. (стоимость, трудоемкость, быстродействие, надежность, пропускная способность и т.д.).

Исходным базисом формирования требований к организационной структуре системы управления реализацией программы служит информационно-логическая модель процесса управления, определяющая набор

функций процесса управления, способы их реализации и информационную связь между ними. В результате анализа функциональной модели системы управления прежде всего определяется максимально допустимое число уровней руководства. Например, для реализации основных функций управления программой достаточно выделить три уровня управления, которые условно могут быть названы как уровень руководителя программы, уровень руководителя подпрограммы (группы работ программы) и уровень руководителя (ответственного исполнителя) работы программы.

На основе анализа способов реализации функций управления для каждого уровня руководства должны быть установлены пределы полномочий, характеризующие степень их участия в процессе выполнения той или иной функции. Для определения пределов полномочий может быть построена таблица распределения ответственности в процессе выполнения функций управления, представляющая собой прямоугольную матрицу, столбцы которой соответствуют уровням управления, а строки – основным функциям процесса управления. Элементы матрицы отображают характер ответственности того или иного уровня управления при выполнении соответствующей функции. Последовательность шагов при построении организационной структуры системы управления программой выглядит следующим образом: 1 – построение “идеальной” системы; 2 – представление существующей системы в стандартизированном виде, допускающем ее сопоставление с “идеальной”; 3 – установление соответствия (расхождения) существующей системы и “идеальной”; 4 – определение путей совершенствования существующей системы (приближения к “идеальной”) с учетом имеющихся ограничений.

Распределение ответственности в ходе реализации основных функций управления между уровнями руководства может служить основой для определения требований к качественным характеристикам исполнителей и количественным характеристикам комплексного обеспечения реализации функций управления. Решение первой задачи сводится к определению устойчивого набора элементарных признаков, наличие которых необходимо для выполнения соответствующей функции или процедуры процесса управления в пределах заданных полномочий. С этой целью должны быть построены тезаурусы процедур управления, в качестве дискрепторов которых выступают признаки специализации и квалификации исполнителей. Решение второй задачи сводится к определению предельных значений для количественных показателей, характеризующих комплексное обеспечение реализации основных функций и процедур процесса управления (информационное, кадровое, материально-техническое обеспечение и т.п.). К ним относятся, например, такие показатели, как стоимость, трудоемкость, быстродействие (продолжительность реализации), надежность и др. Определение этих требований может быть основано на использовании статистических методов, либо на экспертных оценках компетентных специалистов.

Определение возможных вариантов организационной структуры системы управления основано на анализе характерных особенностей действующей системы управления научно-технического прогресса, традиционных и новых форм организации управления. Для этого анализируемая система управления должна быть представлена в стандартизированном виде, допускающем ее сопоставление с моделью “идеальной” системы управления,

что позволяет четко фиксировать совпадающие и различные части. Наличие их совпадающих частей свидетельствует о возможных направлениях совершенствования существующей структуры органов отраслевого или территориального управления.

Следует отметить, что при определении вариантов совершенствования структуры действующих систем управления, удовлетворяющих требованиям, сформулированным на предыдущем этапе, должны быть учтены наиболее адекватные формы организации управления программами, эффективность которых подтверждена опытом действующих систем управления как у нас, так и за рубежом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Գյուրջյան Ա.Ս. Վերադարձը ծրագրանպատակային մեթոդների լայն կիրառությանը ՀՀ տնտեսությունում արդյունավետ կլինի / ՀՀ ֆինանսների եւ էկոնոմիկայի նախարարության տնտեսագիտական հետազոտությունների ինստիտուտ // ՀՀ սոցիալ-տնտեսական արդի հիմնախնդիրները: Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2004. - էջ 279-285:
2. Методические рекомендации по разработке комплексных народнохозяйственных программ. - М.: ЦЭМИ АН СССР, 1976. – 289 с.

ИАА. Материал поступил в редакцию 07.08.2006.

Ա.Ս.ԳՅՈՒՐՋՅԱՆ

ԾՐԱԳՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՍՏԵՂԾՄԱՆ ՄԿՋՔՈՒՆՔՆԵՐԸ

Սահմանված են պահանջները, վեր են հանված կառավարման համակարգի կազմակերպական կառուցվածքի հնարավոր տարբերակները, դիտակված են վերջինիս լավարկման հնարավորությունները:

Առանցքային բառեր. ծրագիր, կազմակերպական կառուցվածք, կառավարման համակարգ:

A.S. GYURJYAN

PRINCIPLES OF ESTABLISHING ORGANIZATIONAL STRUCTURES FOR THE PROGRAM MANAGEMENT SYSTEM

The requirements to the possible options of the structure of the management system are defined. The possibilities of its optimization are discussed.

Keywords: programs, organization structure, management system.

А.В. ТАДЕВОСЯН, А.М. АМБАРЦУМЯН, А.С. АЙРАПЕТАН, А.С. АКАРМАЗЯН

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Предлагается методологический подход к определению оценки техногенного риска загрязнения воздуха и ранжирования прилегающих территорий на примере гипотетической аварии на предприятии в черте г.Еревана с выбросом в окружающую среду жидкого аммиака.

Ключевые слова: техногенная авария, распространение вредных веществ, экологическая опасность, оценка риска, ранжирование территорий.

Возникновение техногенных аварий, сопряженных с угрозой жизни и здоровью населения, является острой проблемой современного индустриального общества. Опасности подвергается население, проживающее в непосредственной близости к потенциально опасным объектам. Экологическая опасность характеризуется интегральной оценкой - риском, который определяется как произведение вероятности негативного воздействия источника загрязнения на ущерб, полученный в результате воздействия.

В Армении многие химически опасные объекты размещены в населенных пунктах с высокой плотностью населения. К числу таких объектов относятся как крупные химические предприятия, так и обычные компоненты инфраструктуры крупного города-предприятия пищевой промышленности, использующие промышленные холодильные установки, работающие на аммиаке (пивные заводы, хладокомбинаты), водонапорные станции с запасами хлора и т.п.

В настоящее время нет четких нормативных критериев принятия решения по защите населения. Решения о проведении защитных мероприятий принимаются, зачастую, на основе субъективных оценок возможного развития событий.

Для решения этой задачи необходимо осуществить заблаговременное ранжирование прилегающих территорий по степени опасности для населения. Принятый на сегодняшний день подход выделения вокруг химически опасного объекта так называемой зоны ответственности предприятия радиусом 2,5 км явно недостаточен.

Вероятность возникновения аварийной ситуации, связанной с источниками химического загрязнения, представляет собой сложную функцию от числа источников, времени и условий их эксплуатации. Очевидно, чем больше число источников, тем выше вероятность возникновения аварийной ситуации на контролируемом объекте или территории.

Риск, обусловленный техническим (например, химическим) объектом, имеет стохастическую природу и определяется целым рядом случайных явлений, а именно: вероятностью возникновения техногенной аварии; степенью негативного воздействия на человека и окружающую среду; климатическими и метеорологическими условиями; вероятностью попадания населения в зону воздействия вредных факторов.

В данной работе предлагается методологический подход к определению оценки техногенного риска загрязнения воздуха и ранжирования прилегающих территорий по степени опасности на примере гипотетической аварии на предприятии в черте г.Еревана с выбросом в окружающую среду жидкого аммиака, используемого в качестве хладагента.

Для расчета приземных концентраций загрязняющих веществ использована программа “Радуга”, учитывающая метеорологические и топологические данные рассматриваемого региона.

Модель дисперсии загрязняющих веществ в атмосфере в качестве выходных параметров определяет глубину и площадь зоны распространения загрязненного воздуха и скорость перемещения его фронта, как функцию метеоусловий, в качестве которых нами используются усредненные скорость ветра и температура воздуха для различных сезонов года, а также времени суток с наименьшей скоростью ветра - в 3 часа ночи, как видно из диаграмм рис.2, усредненная меньшая скорость ветра в течение суток (статистическая информация о повторяемости метеоусловий рис. 1, 2). Возможность возникновения аварийной ситуации в 3 часа ночи рассматривается и с учетом человеческого фактора (усталость организма человека, управляющего производством).

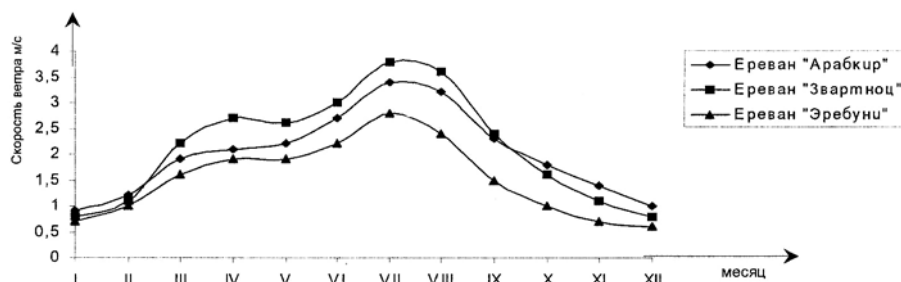


Рис.1. Распределение скорости ветра по месяцам в различных регионах г. Еревана

Было рассчитано распределение основных параметров гипотетических аварий с выбросом в окружающую среду аммиака соответственно из двух источников выброса, находящихся на расстоянии 800 м друг от друга.

Рассмотрим картины рассеивания аммиака при разных количествах аварийного выброса (один из вариантов приведен на рис.3). В таблице представлены данные расчетов рассеивания для всех сезонов года при разовом выбросе аммиака для трех количественных вариантов: 1) $C_1=45,0$ г/с, $C_2=20$ г/с; 2) $C_1=450,0$ г/с, $C_2=200$ г/с; 3) $C_1=4,5$ г/с, $C_2=2,0$ г/с.

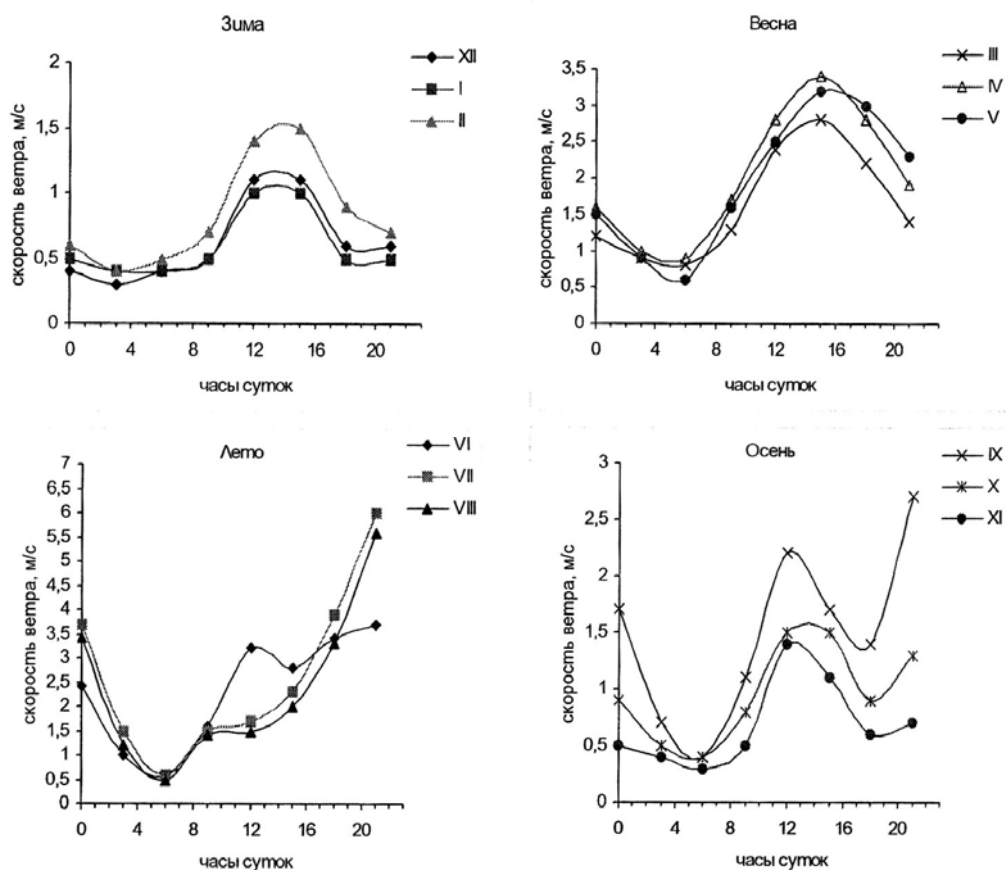


Рис.2. Распределение скорости ветра в зависимости от сезона и времени суток

Для первого варианта видно, что дозволённая приземная концентрация аммиака, равная $\sim 1,0$ в долях ПДК, достигается при соответствующих климатических условиях рассеивания примерно на расстоянии 1 км от эпицентра выбросов. При этом загрязнённое облако покрывает это расстояние за 40,6; 18,3; 9,4 и 23,1 мин соответственно сезону.

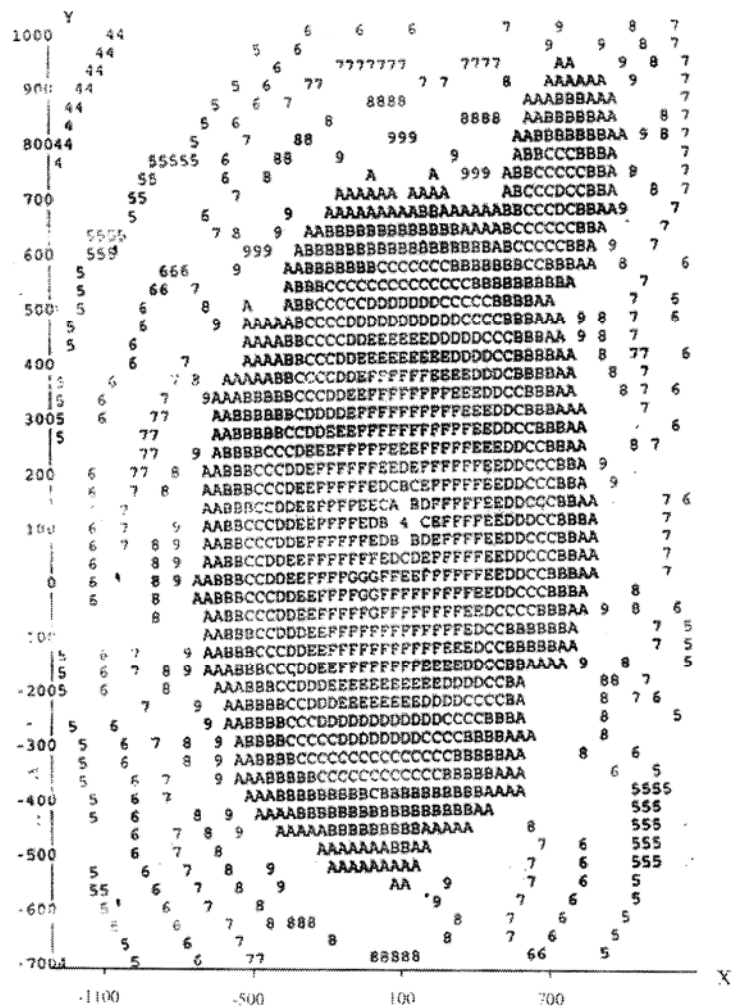


Рис.3. Распределение аммиака из двух источников выброса

Обозначения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	G
Концентрация в долях ПДК	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5

При разовом выбросе аммиака в десять раз меньше рассматриваемого (вариант 3) для любого сезона $C_{\max} < 1,0$, если же в десять раз больше рассматриваемого (вариант 2), то загрязненное облако обладает смертоносным действием в любом случае.

Таблица

Расчетная приземная концентрация загрязняющего вещества (аммиака) $C_{\max}$
(в долях ПДК) в зависимости от сезона, среднемесячной температуры сезона, среднемесячной сезонной скорости ветра V (м/с),
(примерно в 3 часа ночи), исходной концентрации выбросов
и расстояния от эпицентра выбросов

Сезон	Зима			Весна			Лето			Осень		
Сред. темпер. сезона, °C	-3,0			15,0			29,2			15,0		
Скорость ветра, V, м/с	0,41			0,91			1,78			0,72		
Исходная мощность выброса, г/с C ₁ C ₂	45,0	450,0	4,5	45,0	450,0	4,5	45,0	450,0	4,5	45,0	450,0	4,5
	20,0	200,0	2,0	20,0	2000	2,0	20,0	200,0	2,0	20,0	200,0	2,0
Расст. от эпицентра выброса, м	Приземная концентрация аммиака $C_{\max}$ (в долях ПДК)											
0	1,2	12,0	0,12	7,5	75,0	0,75	4,5	45,0	0,45	7,6	76,0	0,76
± 500	1,5	15,0	0,15	2,5	25,0	0,25	2,5	25,0	0,25	2,3	23,0	0,23
± 1000	1,1	11,0	0,11	0,97	9,7	0,097	1,05	10,5	0,105	0,9	9,0	0,09
± 1500	0,8	8,0	0,08	0,64	6,4	0,064	0,7	7,0	0,07	0,6	6,0	0,06
Скорость фронта, F, км/ч	1,47			3,28			6,41			2,6		
Время t, мин, за которое загрязняющее облако накрывает зону радиусом 1 км	40,6			18,3			9,4			23,1		

Отсюда можно сделать вывод, что объем (масса) аммиака, хранимого в емкостях, не должен превышать определенной величины, соответствующей в случае возможного разового выброса при пересчете на концентрацию (г/с) величины 45,0 и 20,0 г/с.

Анализ данных расчетов рассеивания при 10-кратном увеличении или уменьшении количества выбросов аммиака в случае гипотетических аварийных ситуаций показал, что концентрация аммиака в долях ПДК в приземном слое атмосферы при соответствующих климатических условиях рассеивания изменяется пропорционально количеству выбросов.

Распределение вероятности возникновения зоны загрязнения различной глубины (выброс 45,0 и 20,0 г/с) для разных сезонов года представлено на рис.4.

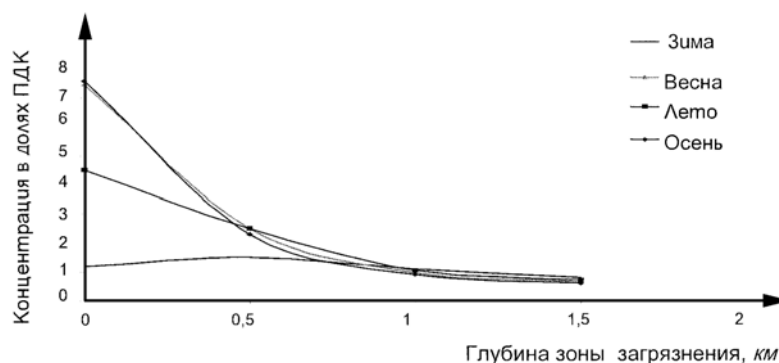


Рис.4. Распределение вероятности возникновения зоны заражения различной глубины (выброс 45,0 и 20,0 г/с) для различных сезонов года. (В точке 0 – центр площадки, на которой находятся оба источника)

Полученные зависимости являются основой для оценки риска для населения оказаться в случае аварии в зоне загрязнения, т.е. это вероятность того, что облако загрязненного воздуха накроет территорию, удаленную от эпицентра аварии на расстоянии X км. Из рис.4 видно, что прилегающие к источнику выброса территории в радиусе 1000 м в случае аварии (выброс 45,0 и 20,0 г/с) будут накрыты загрязненным воздухом с вероятностью, равной единице, т.е. при любых условиях. Объекты, удаленные от источника выброса более чем на 1000 м, окажутся в зоне безопасности, т.к. $C_{\max} < 1,0$ (в долях ПДК).

Необходимо учесть, что все расчеты проводились при усредненных сезонных температурах и наименьшей скорости ветра в течение суток, однако в реальных условиях эти параметры могут существенно отличаться от расчетных. Поэтому в дальнейшем для более полной и реальной картины последствий техногенных аварий имеет смысл проведение подобного анализа для каждого часа суток, т.к. скорости ветра в течение суток меняются существенно (рис.2). В случае прогноза на летний сезон при количествах выбросов, соответствующих второму варианту, смертоносная концентрация ($C_{\max}$ аммиака 4,0...5,0 в долях ПДК) в течение 6 часов достигает расстояния 10 км (см. табл., лето, рис. 5).

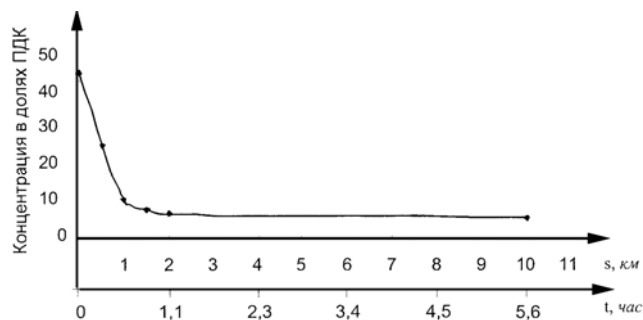


Рис. 5. Распределение концентрации аммиака в зависимости от расстояния и времени

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макаров О.Н.** Система управления экологически безопасным развитием большого города // Инженерная экология. –1996. - N4. - С.54-63.
2. **Ефимов К.М.** и др. Информационная модель для системы оценки риска возникновения радиационных аварий // Экологические системы и приборы. – 2003. - N3. - С.33-47.
3. **Питулько В.М.** Научное обеспечение управления риском аварий и катастроф // Инженерная экология. – 1996. - N3. - С. 36-44.
4. **Крапчатов В.П., Аверкиев А.В.** Территория современного города и зоны промышленного риска // Экология и промышленность России. –1996, август. - С. 4-8.
5. **Татевосян А.В., Агабалова А.П.** Метод оценки потенциальной опасности химико-технологического объекта // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. - СПб, 2002. –Т.7, N6 (54). - С. 80-82.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.01.2006.

Ա.Վ. ԹԱՂԵՎՈՍՅԱՆ, Ա.Մ. ՀԱՄԲԱՐԶՈՒՄՅԱՆ, Ա.Ս. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ,
Հ.Ս. ԱԿԱՐՄԱԶՅԱՆ
ԱՐՏԱՂԻՐԱՏՆԵՍԱԿԱՆ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ՝ ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՎՐԱ ՈՒՆԵՑԱԾ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Առաջարկվում է օդի աղտոտման տեխնածին ռիսկի գնահատումը որոշելու և մերձակա տարածքների կարգադասման մեթոդաբանական մոտեցում՝ ձեռնարկությունում ենթադրյալ վթարի օրինակի վրա, այն դեպքում, երբ շրջակա միջավայր է արտանետվում հեղուկ ամոնիակ:

Առանցքային բառեր. տեխնածին վթար, վնասակար նյութերի տարածում, էկոլոգիական վտանգ, ռիսկի գնահատում, տարածքների կարգադասում:

**A.V. TADEVOSYAN, A.M. HAMBARDZUMYAN, A.S. HAYRAPETYAN,
H.S. AKARMAZYAN
ASSESSMENT OF INDUSTRIAL ECONOMIC OBJECT IMPACT ON ENVIRONMENT**

A methodological approach of air contamination man-caused risk assessment determination and ranking nearby territory on the example of a hypothetical accident in the enterprise in Yerevan that causes liquid ammonia emission into the environment is proposed.

Keywords: man-caused accident, propagation of detrimental compounds, ecological danger, risk assessment, ranking territories.

Ա.Ռ. ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ

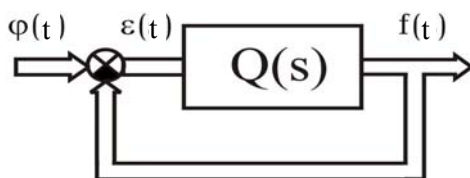
ԳԾԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ
ԿՈՄՊԵՆՍԱՏՈՐԻ
ՕՊՏԻՄԱԼ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄՈՒՏՔԱՅԻՆ ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Հիմք ընդունելով գծային բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգերի (ԲԱԿՀ) ելքային ազդանշանի վիճակագրական ճշտության սկալյար գնահատականը՝ առաջարկվում է կոմպենսատորի օպտիմալ պարամետրերի ընտրության նոր մոտեցում: Կառավարման որակը հաշվի առնելու նպատակով որպես սահմանափակում ընդգրկվել է ԲԱԿՀ-ի տատանողականության ցուցանիշը: Առաջարկված մոտեցումը կիրառվել է համապատասխան ալգորիթմական և ծրագրային ապահովումների ստեղծման ժամանակ: Մշակված ծրագրով նախագծվել է ռեալ տեստային ԲԱԿՀ-ի կոմպենսատոր:

Առանցքային բառեր. բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգ, վիճակագրական ճշտություն, փոխանցման ֆունկցիաների մատրից, սպեկտրալ խտությունների մատրից, օպտիմալ պարամետր:

Ավտոմատ կառավարման տեսության ժամանակակից գրականության մեջ կան բազմաթիվ աշխատություններ, որոնք նվիրված են վեկտորական պատահական գործընթացների օպտիմալ գտմանը: Դրանցից են մասնավորապես Կոլմոգորով-Վիների դասական տեսության տարածումը ԲԱԿՀ-ի դեպքի համար, Կալման-Բյուսիի տեսության առանձին ասպեկտների մանրակրկիտ դիտարկումը և այլն [1,2]: Դրա հետ մեկտեղ համեմատաբար քիչ ուշադրության են արժանանում պատահական ազդեցությունների տակ գտնվող ԲԱԿՀ-ի հետազոտման և նախագծման ճարտարագիտական մեթոդները: Միաչափ համակարգերի տեսության համապատասխան մեթոդների տարածումը ԲԱԿՀ-ի դեպքի համար առաջացնում է որոշ դժվարություններ, որոնք էապես աճում են՝ կառավարվող կոորդինատների քանակի ավելացմանը զուգընթաց: Այդ պատճառով անհրաժեշտ է մշակել ԲԱԿՀ-ի հետազոտման և նախագծման այնպիսի մեթոդներ, որոնք հաշվի կառնեն վերջիններիս առանձնահատկությունները և, միևնույն ժամանակ, սերտ կապի մեջ կլինեն դասական ճարտարագիտական մեթոդների հետ:

Դիտարկենք ընդհանուր տեսքի N մուտքերով և N ելքերով գծային կայուն ԲԱԿՀ (նկ. 1):



Նկ.1. Գծային ԲԱԿՀ-ի մատրիցային կառուցվածքային սխեմա

$Q(s)$ -ը ԲԱԿՀ-ի փոխանցման ֆունկցիաների մատրիցն է, $\varphi(t) = \varphi_{\text{օգ}}(t) + \varphi_{\text{վրդ}}(t)$ -ն մուտքային ազդանշանի վեկտորն է, որը բաղկացած է օգտակար՝ $\varphi_{\text{օգ}}(t)$ և վրդովող՝ $\varphi_{\text{վրդ}}(t)$ բաղադրիչներից, $f(t) = f_{\text{օգ}}(t) + f_{\text{վրդ}}(t)$ -ն ելքային ազդանշանի վեկտորն է, որտեղ $f_{\text{օգ}}(t)$ -ն և $f_{\text{վրդ}}(t)$ -ն պայմանավորված են $\varphi_{\text{օգ}}(t)$ և $\varphi_{\text{վրդ}}(t)$ բաղադրիչներով, իսկ $\varepsilon(t)$ -ն սխալի վեկտորն է: Քանի որ համակարգը գծային է, ապա մուտքային օգտակար և վրդովող ազդեցությունները կարելի է դիտարկել առանձին: Ընդունենք, որ $\varphi_{\text{վրդ}}(t)$ պատահական վրդովմունքների վեկտորը ենթարկվում է գաուսյան բաշխմանը և ունի զրոյական մաթսպասում: Այս դեպքում P_f ելքի կովարիացիաների մատրիցն ունի հետևյալ տեսքը [3]՝

$$P_f = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_f(j\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(j\omega) S_\varphi(j\omega) \Phi^*(j\omega) d\omega ,$$

որտեղ $S_\varphi(j\omega)$ -ն և $S_f(j\omega)$ -ն, համապատասխանաբար, $\varphi_{\text{վրդ}}(t)$ և $f_{\text{վրդ}}(t)$ վեկտորների սպեկտրալ խտությունների մատրիցներն են, իսկ $\Phi(j\omega) = [I + Q(j\omega)]^{-1} Q(j\omega)$ -ն փակ ԲԱԿՀ-ի փոխանցման ֆունկցիաների մատրիցն է, $\Phi^*(j\omega)$ -ն՝ $\Phi(j\omega)$ -ին համալիր-համալուծ մատրիցն է:

Սովորաբար P_f կովարիացիաների մատրիցի միջոցով կարելի է գաղափար կազմել ԲԱԿՀ-ի $f(t)$ ելքային ազդանշանի վիճակագրական ճշտության ($f_{\text{վրդ}}(t)$ բաղադրիչի) մասին: Սակայն P_f -ի հաշվարկը կապված է որոշ բարդությունների հետ և, բացի դրանից, այն կիրառելիս անհրաժեշտ է նկատի ունենալ N հատ $P_{fii} (i = \overline{1, N})$ դիսպերսիաները (P_f մատրիցի անկյունագծային տարրերը) և ԲԱԿՀ-ի ելքային փոփոխականների $N(N-1)/2$ հատ ($P_{fik} = P_{fki}; i, k = \overline{1, N}$) փոխադարձ կոռելյացիոն մոմենտները: Այդ պատճառով առաջարկվել է [3] ԲԱԿՀ-ի ելքային $f(t)$ ազդանշանի վիճակագրական ճշտությունը գնահատել սկալյար մեծությամբ, որը կունենա ականառու ֆիզիկական իմաստ: Որպես այդպիսի գնահատական ընդունվել է ԲԱԿՀ-ի $f_{\text{վրդ}}(t)$ ելքային ազդանշանի վեկտորի մոդուլի դիսպերսիան [3]՝

$$D_f = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{tr} \{ \Phi(j\omega) S_\varphi(j\omega) \Phi^*(j\omega) \} d\omega , \quad (1)$$

որտեղ tr -ով նշանակված է մատրիցի հետքը (անկյունագծային տարրերի գումարը):

Ներմուծելով մատրիցի՝ Շմիդտի նորման [4], որը կամայական քառակուսային $A = \{a_{ij}\}$ մատրիցի համար ունի

$$\|A\|_{\text{tr}} = \sqrt{\text{tr}\{AA^*\}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |a_{ij}|^2}$$

տեսքը, D_f -ի վերին սահմանը գնահատելու համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը [3].

$$D_f \leq \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \|\Phi(j\omega)\|_{\text{tr}}^2 \|S_\varphi(j\omega)\|_{\text{tr}} d\omega, \quad (2)$$

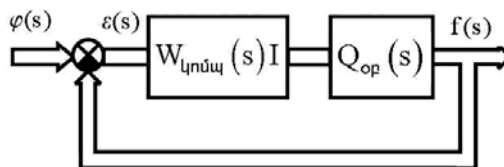
որը $N=1$ դեպքում վերափոխվում է հավասարության և համապատասխանում է դասական կառավարման տեսության հայտնի առնչությանը [5]՝

$$D_f = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |\Phi(j\omega)|^2 s_\varphi(\omega) d\omega : \quad (3)$$

(2) և (3) արտահայտությունների նմանությունը թույլ է տալիս ԲԱԿՀ-ի հետազոտման համար կիրառել դասական կառավարման տեսության հաճախականային մեթոդները: (2) արտահայտության հիման վրա բացահայտվել է ԲԱԿՀ-ի կանոնական բազիսի և վիճակագրական ճշտության կապը [3]: Որոշ մասնավոր դեպքերում D_f -ի համար հնարավոր է ստանալ անալիտիկ առնչություն [6]: Թվարկված տեսական արդյունքների հիման վրա MATLAB կիրառական ծրագրերի փաթեթի միջավայրում մշակվել է ծրագիր, որը հնարավորություն է տալիս հետազոտելու ԲԱԿՀ-ի ելքային ազդանշանի վիճակագրական ճշտությունը:

Վերոհիշյալ փաստերը հիմք են ծառայել պատահական վրդովող ազդեցությունների դեպքում ԲԱԿՀ-ի նախագծման համար առաջարկել նոր մոտեցում, որտեղ ԲԱԿՀ-ի կոմպենսատորի պարամետրերի ընտրության ժամանակ, որպես օպտիմալության չափանիշ ընդունվում է ԲԱԿՀ-ի ելքային ազդանշանի վիճակագրական ճշտության D_f սկալյար գնահատականը:

Դիտարկենք հետևյալ ԲԱԿՀ-ն.



Նկ.2. Սկալյար կոմպենսատորով գծային ԲԱԿՀ-ի մատրիցային կառուցվածքային սխեմա

ԲԱԿՀ-ի օբյեկտը նկարագրվում է $Q_{op}(s)$ փոխանցման ֆունկցիաների մատրիցի միջոցով, որի մուտքի առանձին կապուղիներում տեղադրված է $W_{komp}(s)$ փոխանցման ֆունկցիայով կոմպենսատոր: Այդպիսի կոմպենսատորը գրականության մեջ ընդունված է անվանել սկալյար:

Ենթադրենք, որ կոմպենսատորի կառուցվածքը հայտնի է և անհրաժեշտ է որոշել նրա K ուժեղացման գործակիցը և T_j , $j = 1, m$ ժամանակի հաստատունները:

Ձևակերպենք նշված ԲԱԿՀ-ի $W_{կոմպ}(s)$ կոմպենսատորի օպտիմալ պարամետրերի ընտրության խնդիրը՝ ըստ ԲԱԿՀ-ի ելքային $f(t)$ վեկտորի մոդուլի D_f դիսպերսիայի նվազագույն արժեքի: Որպես սահմանափակումներ ընդունենք ԲԱԿՀ-ի կայունության ապահովումը, $W_{կոմպ}(s)$ կոմպենսատորի K ուժեղացման գործակցի, ինչպես նաև T_j , $j = \overline{1, m}$ ժամանակի հաստատունների նվազագույն և առավելագույն հնարավոր սահմանները: Որպես կառավարման որակի չափանիշ ներմուծենք ԲԱԿՀ-ի համար ընդունված M տատանողականության ցուցանիշը [7], որի համար ունենք հետևյալ առնչությունը.

$$M = \max_{0 \leq \omega \leq \infty} \|\Phi_\varepsilon(j\omega)\|_{\text{сн}},$$

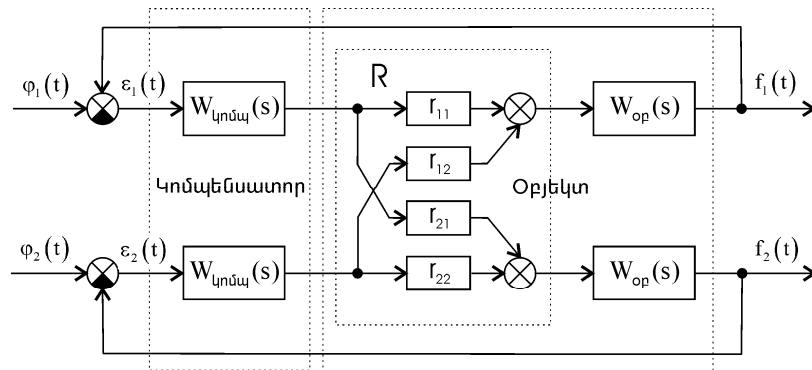
որտեղ $\Phi_\varepsilon(j\omega) = [I + Q_{\text{оп}}(s)(W_{կոմպ}(s)I)]^{-1}$, իսկ $\|\Phi_\varepsilon(j\omega)\|_{\text{сн}}$ -ով նշանակված է փակ ԲԱԿՀ-ի՝ ըստ սխալի հաճախականային փոխանցման ֆունկցիաների մատրիցի սպեկտրալ նորմը: Կամայական A քառակուսային մատրիցի սպեկտրալ նորմը որոշվում է որպես AA^* էրմիտյան մատրիցի ամենամեծ սեփական թվից քառակուսի արմատի դրական արժեք [4]:

Անհրաժեշտ է նշել, որ տատանողականության ցուցանիշը թույլ է տալիս գաղափար կազմել ԲԱԿՀ-ի կայունության պաշարների, և նրա ճշտության մասին, ընդ որում՝ այդ ինֆորմացիան, անկախ առանձին կանալների քանակից, կենտրոնացված է միակ M թվի մեջ, որն ունի փոփոխության համեմատաբար նեղ սահմաններ [7]: Ինչպես միաչափ համակարգեր նախագծելիս, այստեղ էլ խորհուրդ է տրվում M -ի արժեքը ընտրել $1,3 \leq M \leq 3$ սահմաններում: ԲԱԿՀ-ի կայունության որոշման համար հարմար է օգտվել վիճակների տարածությունում համակարգը նկարագրող A մատրիցից: ԲԱԿՀ-ի կայուն լինելու անհրաժեշտ և բավարար պայման է հանդիսանում A մատրիցի բոլոր սեփական թվերի բացասական իրական մաս ունենալը, այսինքն՝ $\text{Re}[\lambda_i(A)] < 0$, $\forall i = \overline{1, N}$: ԲԱԿՀ-ի A մատրիցը միարժեքորեն որոշվում է համակարգի $\Phi(s)$ փոխանցման ֆունկցիաների մատրիցից, երբ անցում է կատարվում վիճակների տարածություն: Հաշվի առնելով վերը նշված դիտողությունները՝ ԲԱԿՀ-ի կոմպենսատորի օպտիմալ պարամետրերի ընտրության համար անհրաժեշտ է լուծել հետևյալ էքստրեմալ խնդիրը՝

$$\left\{ \begin{array}{l} D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{tr}\{\Phi(j\omega)S_{\varphi}(\omega)\Phi^*(j\omega)\}d\omega \rightarrow \min_{K, T_j (j=1,m)}, \\ \max_{0 \leq \omega \leq \infty} \|\Phi_{\varepsilon}(j\omega)\|_{\text{cn}} \leq 3, \\ \max_{0 \leq \omega \leq \infty} \|\Phi_{\varepsilon}(j\omega)\|_{\text{cn}} \geq 1,3, \\ \text{Re}[\lambda_i(A)] < 0, \quad i = \overline{1, N}, \\ K \geq K_{\min}, \quad K \leq K_{\max}, \\ T_j \geq T_{j \min}, \quad T_j \leq T_{j \max}, \quad j = \overline{1, m} : \end{array} \right. \quad (4)$$

Ինչպես երևում է (4) համակարգից, առաջադրված խնդիրը ոչ գծային էքստրեմալ խնդիր է: Այն լուծելու համար կարելի է օգտվել որևէ թվային մեթոդից: Դիտարկված խնդրի լուծման համար կիրառելով պատահական որոնման հիպերսֆերիկ մեթոդը [8]՝ մշակվել է ալգորիթմ և գրվել ծրագիր՝ MATLAB-ի միջավայրում:

Օրինակ. Դիտարկենք նկ. 3-ում պատկերված ԲԱԿՀ-ի կոմպենսատորի օպտիմալ պարամետրերի ընտրության խնդիրը:



Նկ.3. Սկալյար կոմպենսատորով գծային ԲԱԿՀ-ի կառուցվածքային սխեմա

Բաց ԲԱԿՀ-ը նկարագրվում է հետևյալ ձևով՝

$$Q(s) = (W_{\text{օբ}}(s) * I) R * (W_{\text{կոմպ}}(s) * I),$$

որտեղ $W_{\text{օբ}}(s)$ -ը օբյեկտի առանձին կապուլինների փոխանցման ֆունկցիան է

$$W_{\text{օբ}}(S) = \frac{750000000}{s(s+25)(s+400)(s+500)},$$

I -ն 2×2 չափանի միավոր մատրից է, R -ը՝ կոշտ փոխադարձ կապերի մատրից

$$R = \begin{bmatrix} 0,8660 & 0,5000 \\ -0,5000 & 0,8660 \end{bmatrix},$$

$W_{\text{կոմպ}}(S)$ -ը՝ համակարգի յուրաքանչյուր կապուղում տեղադրված կոմպենսատորների փոխանցման ֆունկցիան.

$$W_{\text{կոմպ}}(S) = \frac{K (s+3) (s+25)}{(s+1/T_1) (s+1/T_2)} :$$

$W_{\text{կոմպ}}(S)$ -ի պարամետրերը ունեն հետևյալ փոփոխման սահմանները. $K = [0,1;10]$, $T_1 = [0,1; 10]$, $T_2 = [0,001; 0,005]$: Մուտքային վրդովող ազդանշանի $S_{\varphi}(j\omega)$ սպեկտրալ խտությունների մատրիցը հետևյալն է.

$$S_{\varphi}(j\omega) = \frac{1}{0,04\omega^2 + 1} * I :$$

Խնդիրը լուծվել է MATLAB-ի միջավայրում գրված ծրագրի օգնությամբ և ստացվել են հետևյալ արդյունքները.

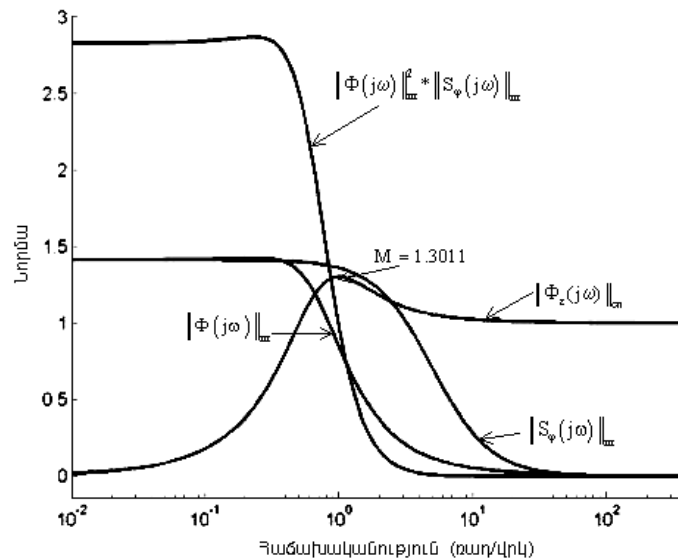
Կոմպենսատորի պարամետրերը՝ $K = 0,1000$, $T_1 = 0,5382$, $T_2 = 0,0010$,

ԲԱԿՀ-ի էլքային վեկտորի մոդուլի D_f դիսպերսիայի օպտիմալ արժեքը.

$D_{f \text{ opt}} = 0,6403$:

ԲԱԿՀ-ի տատանողականության ցուցանիշը՝ $M = 1,3011$:

Տրված դեպքի համար ԲԱԿՀ-ի հաճախականային բնութագրերը բերված են նկ. 4-ում:



Նկ.4. ԲԱԿՀ-ի հաճախականային բնութագրերը

Այսպիսով, ԲԱԿՀՀ-ի մատրիցային բնութագրերի փոխարեն օգտագործելով առաջարկված սկալյար վիճակագրական ճշտության գնահատականը [3] և ԲԱԿՀՀ-ի տատանողականության ցուցանիշը [7]՝ հնարավորություն է ընձեռվում ԲԱԿՀՀ-ի հետազոտման և նախագծման խնդիրներում զգալիորեն կրճատել անհայտների թիվը: Ասվածը հատկապես կարևոր է մեծ չափողականություն ունեցող համակարգերի համար: Նշված հանգամանքով է պայմանավորված առաջարկվող մոտեցման հիման վրա ստեղծված ալգորիթմական և ծրագրային միջոցների արդյունավետությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Лившиц Н.А., Виноградов В.Н., Голубев Г.А.** Корреляционная теория оптимального управления многомерными процессами. - М.: Советское радио, 1974. - 328 с.
2. **Bosgra O.H., Kwakernaak H., Meinsma G.** Design Methods for Control Systems. DISC, **2004.** - **325 p.**
3. **Гаспарян О.Н., Чилингарян А.Р.** Об одной скалярной оценке статистической точности линейных многомерных систем автоматического регулирования // Моделирование, оптимизация, управление: Вестник ГИУА.- 2005.- Вып.8, т. 1.- С. 102-108.
4. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц.- М.: Физматлит, 2004.- 560 с.
5. Теория автоматического управления / Под ред. В.Б. Яковлева. - М.: Высшая школа, 2003.- 568 с.
6. **Гаспарян О.Н., Чилингарян А.Р.** К вычислению дисперсий на выходах однотипных и нормальных многомерных систем регулирования // Моделирование, оптимизация, управление: Вестник ГИУА.- 2006.- Вып.9, т. 1.- С. 111-119.
7. **Skogestad S., Postlethwaite I.** Multivariable Feedback Control.- Analysis and Design, John Wiley & Sons, 1996.- 572 p.
8. Թերզյան Հ.Ս. Ավտոմատացված նախագծման համակարգերի տեսություն: - Երևան, Լոս-Անջելոս, Աթենք, 1995.- 433 էջ:

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 29.08.2006:

А.Р. ЧИЛИНГАРЯН

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЕНСАТОРА ЛИНЕЙНЫХ
МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ
ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

На основе скалярной оценки статистической точности выходного сигнала линейных многомерных систем автоматического регулирования (МСАР) предложен новый подход для определения оптимальных параметров компенсатора. Для учета качества управления в число ограничений вводится показатель колебательности МСАР. Предложенный метод применялся для создания соответствующего алгоритма и программы. При помощи упомянутой программы спроектирован компенсатор МСАР.

Ключевые слова: многомерная система автоматического регулирования, статистическая точность, матрица передаточных функций, матрица спектральных плотностей, оптимальный параметр.

A.R. CHILINGARYAN

**DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF COMPENSATOR FOR LINEAR
MULTIVARIABLE FEEDBACK CONTROL SYSTEMS UNDER RANDOM INPUT
DISTURBANCES**

A new method of optimal parameter compensator determination based on scalar statistic accuracy estimate of output signal of linear multi-input multi-output (MIMO) feedback control systems is proposed. To consider the quality of control with a number of restrictions, the index of oscillation of MIMO control systems is shown. The offered method is applied for creating the corresponding algorithm and the program. By means of the mentioned program a compensator of MIMO control system is designed.

Keywords: multi-input multi-output feedback control systems, statistic accuracy, transfer function matrix, spectral density matrix, optimal parameter.

Н.Э. ЭВОЯН, Г.А. КАРДАШЯН

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ТРАНСПОРТНЫХ ТАРАХ С ОСОБО ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ПРОДУКТОМ

Разработана методика расчета электрического поля в транспортных тарах с высокодисперсным иницирующим веществом с точки зрения оценки искроопасности явления статической электризации.

Ключевые слова: методика, электрическое поле, заряд, потенциал, порошковый материал, утечка, искра, емкость, двухфазная система.

1. Обратные утечки заряда за счёт электропроводности осажденного продукта в осадительных емкостях технологической системы. Исследование разрядки заряженной массы обрабатываемого продукта в осадительных емкостях позволяет оценить степень накопления зарядов в этих сосудах и, следовательно, возможность возникновения в них опасных электрических разрядов. Рассмотрим с этой точки зрения процесс утечки зарядов через электропроводность плотной массы продукта в осадительном сосуде (см. рис.).

Средний потенциал заряженной массы относительно заземленной металлической поверхности, согласно Хоу [1], равен

$$U_{\text{cp}} = \frac{\rho_{\text{об}} H}{2\varepsilon_0 \varepsilon} \left| R + H - \sqrt{R^2 + H^2} \right|, \quad (1.1)$$

где $\rho_{\text{об}}$ – удельный объемный заряд осажденной массы продукта; H и R – высота и радиус цилиндрического слоя.

Тогда

$$C = \frac{q}{U_{\text{cp}}} = \frac{\rho_{\text{об}} \pi R^2 H}{U_{\text{cp}}} = \left[\frac{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon R^2}{R + H - \sqrt{R^2 + H^2}} \right], \quad (1.2)$$

где q – заряд слоя, а сопротивление утечки:

$$R_{\text{ут}} = \frac{H}{2\pi R^2 \gamma_{\text{об}}}, \quad (1.3)$$

$\gamma_{\text{об}}$ – удельная электропроводность слоя; ε_0 – электрическая постоянная; ε – абсолютная диэлектрическая проницаемость вещества.

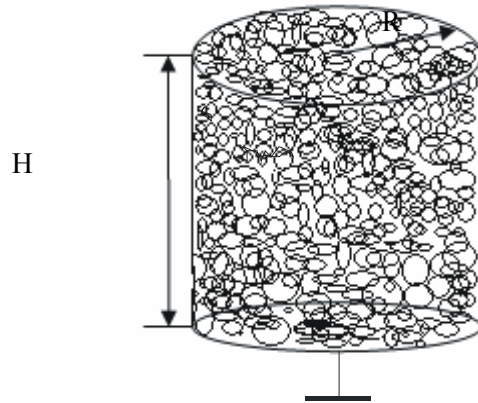


Рис. Схема расчета сопротивления утечки зарядов плотной массы продуктов в осадительных емкостях

Из полученных выражений можно определить постоянную времени разрядки:

$$T = R_{yt} C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon H}{\gamma_{об} \left[R + H - \sqrt{R^2 + H^2} \right]}. \quad (1.4)$$

Время, необходимое для разрядки заряженной массы продукта до значения заряда $q_k = q_0 n$ (где $n < 1$), равно

$$t_k = R_{yt} C \ln n = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\gamma_{об} \left[\frac{R}{H} + 1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{H^2}} \right]} \ln n. \quad (1.5)$$

Рассмотрим три характерных случая:

а) $R = H$. Тогда

$$t_n = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{0,59 \gamma_{об}}, \quad (1.6)$$

т.е. время разрядки не зависит от размеров осажденного слоя;

б) $R \gg H$. Тогда

$$t_n = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\gamma_{об}} \ln n. \quad (1.7)$$

Получена известная формула релаксации зарядов на поверхности заряженных тел. Такое совпадение не является случайным, так как при $R \gg H$ практически вся поверхность тела оказывается заземленной, и утечка заряда со всей поверхности по всем направлениям является равновероятной;

в) $H \gg R$. Это случай разрядки бесконечно длинной тонкой нити, конец которой заземлен. Тогда

$$t_n = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\gamma_{об} [1 - 1]} \rightarrow \infty, \quad (1.8)$$

т.е. имеем вполне логичное объяснение.

Полученное выражение можно использовать для определения скорости стекания зарядов в осадительных емкостях технологических систем обработки и транспортировки порошкообразных материалов.

2. Методика расчета электрических полей в цилиндрических емкостях с двухфазными системами <<газ-твердая фаза>> (Г-Т). Предлагаемая методика основана на численно-аналитическом решении уравнения Пуассона. Исходными данными для расчета полей являются конфигурация аппарата и распределение объемной плотности зарядов в нем. Данная методика может быть распространена на все цилиндрические аппараты с двухфазными системами Г-Т, как металлические, так и диэлектрические. Так как рассматриваемые аппараты имеют форму цилиндров, то исследуется осесимметричное поле. Полученные аналитические решения позволяют также построить номограммы для инженерного проектирования.

Рассмотрим методику аналитических расчетов электрических полей в цилиндрических аппаратах. Потенциал в любой точке аппарата будем искать в виде

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} B_n(Z) J_0 \left(x_n \frac{r}{R} \right). \quad (2.1)$$

При этом $B_n(Z)$ удовлетворяют обыкновенным дифференциальным уравнениям:

$$B_n'' - \alpha_n^2 B_n(Z) = -\frac{\alpha_n(Z)}{\varepsilon}, \quad (2.2)$$

где $\alpha_n = x_n/R$.

Граничные условия: $B_n(0) = B_n(H)$ (электропроводящие корпус и крышка емкости заземлены). Решая это уравнение методом вариации произвольных постоянных [2], получим окончательное решение:

$$B_n(Z) = \frac{1}{\varepsilon_0 \alpha_n} \int_0^Z \alpha_n(\zeta) \operatorname{sh}[\alpha_n(\zeta - z)] d\zeta + \\ + \frac{\operatorname{sh}(\alpha_n z)}{\varepsilon_0 \alpha_n \operatorname{sh}(\alpha_n H)} \cdot \int_0^H \alpha_n(\zeta) \operatorname{sh}[\alpha_n(H - \zeta)] d\zeta. \quad (2.3)$$

При этом

$$B_n'(z) = -\frac{1}{\varepsilon_0} \int_0^z \alpha_n(\zeta) \operatorname{ch}[\alpha_n(\zeta - r)] d\zeta + \\ + \frac{\operatorname{ch}(\alpha_n z)}{\varepsilon_0 \operatorname{sh}(\alpha_n H)} \int_0^H \alpha_n \operatorname{sh}[\alpha_n \operatorname{sh}(H - \zeta)] d\zeta. \quad (2.4)$$

На функцию $\alpha_n(z)$ не налагается практически никаких ограничений (требуется только ее непрерывность). Полученные аналитические выражения являются общим решением поставленной задачи.

Для составляющих вектора напряженности электрического поля имеем

$$E_z = \frac{\partial U}{\partial z} = - \sum_{n=1}^{\infty} B'_n(Z) J_0 \left(x_n \frac{R}{r} \right). \quad (2.5)$$

$$E_r = \frac{\partial U}{\partial r} = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{\infty} x_n B_n(Z) J_1 \left(x_n \frac{r}{R} \right). \quad (2.6)$$

3. Методика расчета поля в накопительных емкостях с учетом утечки зарядов продукта.

После обработки в технологическом оборудовании (установках пневмотранспорта, просеивания, размельчения, сушки и т.д.) заряженный продукт обычно поступает в приемную (сборную) емкость. Наличие большого количества заряженного продукта в емкости, высокая его плотность приводят к тому, что внутри емкости возникают сильные электрические поля, что может вызвать образование опасных электрических разрядов. В связи с этим важное значение имеет расчет полей в емкости. При этом необходимо учесть два характерных случая:

- 1) быстрое заполнение емкости, когда можно пренебречь стеканием заряда продукта;
- 2) постепенное заполнение емкости, когда наряду с накоплением одновременно происходит стекание заряда продукта на Землю через заземленный металлический корпус емкости.

Расчет поля здесь проводится для цилиндрических электропроводящих емкостей. Считаем, что часть пространства занята продуктом в насыщенном состоянии с объемной плотностью ρ_1 и высотой h_1 . Остальная часть емкости $(H - h)$ заполнена продуктом, находящимся во взвешенном состоянии с объемной плотностью заряда ρ_2 .

Методика расчета электрического поля в емкости в этом случае аналогична методике, изложенной ранее, и, с точки зрения опасности статического электричества, является наиболее важной.

Второй случай - расчет электрического поля в емкости с учетом утечки зарядов.

С целью разработки практической методики расчета электрического поля в емкости, заполненной заряженным продуктом, принимаем следующую модель. За время t_i в бункере образуется i -й слой заряженного продукта высотой h_i и радиусом R_i . Наложение слоев в емкости учитывается в правой части уравнения (3.1) при подстановке ρ . Необходимо иметь в виду, что процесс изменения ρ происходит медленнее, чем процесс установления поля. Время t_i зависит от скорости заполнения емкости, то есть от производительности установки, габаритов емкости и принятых размеров слоев. Утечку заряда определяем по формуле

$$\rho = \rho_0 e^{-\beta t}, \quad (3.1)$$

где $\beta = 0,59 \frac{\gamma_{\text{сл}}}{\varepsilon_0 \varepsilon}$; $\gamma_{\text{сл}}$ – удельная электропроводность.

Пусть засыпан первый слой с объемным зарядом ρ_0 , высотой H_1 , радиусом R_1 . Через t_2 над первым слоем образуется второй слой размерами H_2 , R_2 и объемным зарядом ρ_0 . Утечка заряда из первого слоя определяется по формуле

$$\rho_1 = \rho_0 e^{[-\beta(t_2 - t_1)]}. \quad (3.2)$$

За время t_3 над первым слоем образуется третий слой размерами H_3 , R_3 и объемным зарядом ρ_0 . К этому времени остаточные заряды в первом и втором слоях будут соответственно

$$\rho_1' = \rho_0 \exp[-\beta(t_3 - t_1)], \quad (3.3)$$

$$\rho_2 = \rho_0 \exp[-\beta(t_3 - t_2)]. \quad (3.4)$$

Рассуждая аналогично, получим к моменту времени t_n для i слоя

$$\rho_i = \rho_0 \exp[-\beta(t_n - t_1)], \quad (3.5)$$

а для n слоя:

$$\rho_n = \rho_0. \quad (3.6)$$

Следовательно, в любое дискретное время $t_1, t_2, \dots, t_n$ мы имеем в соответствии с этими формулами дискретное распределение объемной плотности зарядов $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ по высоте емкости.

Таким образом, при заполнении емкости продуктом с объемной плотностью заряда ρ_i соответствующего i -того слоя необходимо учесть значения ρ во всех низлежащих $(n-1)$ слоях. В правой части уравнения Пуассона имеем значение $\rho = \text{const}$ для определенного значения времени и слоя. Поэтому, например, для 20 слоев нужно 20 раз делать расчет поля, учитывая граничные условия и составляя системы уравнений, а затем путем наложения полей определить значения потенциалов. В этом случае электродинамическая задача сведена к электростатической. Безусловно, расчет проведенного по начальному значению удельного заряда продукта, поступающего в емкость, не учитывает утечки заряда продукта за счет газового разряда. В связи с этим значения потенциала получаются завышенными. Однако целесообразность такого расчета не вызывает сомнения, так как свидетельствует о реальной искроопасности этого участка технологической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Миролябов Н.Н.** и др. Методы расчета электрических полей. – М.: Высшая школа, 1963. – 415 с.
2. **Янке Е., Эмде Ф.** Специальные функции. – М.: Наука, 1964. – 342 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 02.02.2006.

Ն.Է. ԷՎՈՅԱՆ, Գ.Ա. ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԸ ԱՌԱՆՁՆԱԴԵՍ ԶԳԱՅՈՒՆ ՆՅՈՒԹԵՐՈՎ ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՏԱՐԱՆԵՐՈՒՄ

Մշակված է էլեկտրական դաշտերի հաշվարկի մեթոդիկա՝ բարձր դիսպերսայնությամբ նախապայթեցում հրահրող նյութերով տրանսպորտային տարաներում, ստատիկ էլեկտրականացման երևույթի և բռնկման գնահատականի տեսակետից:

Առանցքային բառեր. մեթոդ, էլեկտրական դաշտ, լիցք, պոտենցիալ, փոշիացված նյութ, ներհոսք, կայծ, տարողություն, երկֆազ համակարգ:

N.E. EVOYAN, G.A. KARDASHYAN

ELECTRIC FIELD IN TRANSPORT CONTAINERS BY SPECIALLY SENSITIVE SUBSTANCE

A method of analysing high dispersive pre-explosion inducing substances in the transport containers, with the point of view of the electrostatic phenomenon and the flashing is developed.

Keywords: method, electric field, charge, potential, powder material, leakage, spark, capacity, two-phase system.

З.А. БАБАЯН, Э.Л. ИГНАТЯН, А.М. БАГДАСАРЯН

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ПРИРОДНЫХ КАМНЕЙ

Приведены результаты анализа контроля качества облицовочных плит из природных камней. Выделены основные параметры, от которых наиболее существенно зависят размеры плит, их прямоугольность, полированность лицевой поверхности и неплоскостность. Проведен анализ погрешностей измерений длины, ширины и толщины плит.

Ключевые слова: облицовочная плита, контроль качества, погрешность измерений.

Точность размеров плит зависит от множества факторов и, в первую очередь, от применяемых технологических средств их производства и средств измерений. Качество изготовленных плит на алмазно-дисковых станках зависит прежде всего от: биения алмазных отрезных кругов; бокового износа алмазных дисков; несовпадения направления подачи стола с плоскостью вращения диска; погрешностей размеров междисковых фланцев.

Анализ погрешностей показал, что указанные факторы сказываются на точности конечных размеров плит, причем их влияние различно. Погрешности любого из размеров плит можно представить в виде

$$\Delta' = f(\Delta'_1, \Delta'_2, \Delta'_3, \Delta'_4), \quad (1)$$

где Δ' - предельная погрешность какого-либо размера плиты; $\Delta'_1, \Delta'_2, \Delta'_3, \Delta'_4$ - предельные погрешности размера плиты, обусловленные соответственно: торцевым биением алмазных отрезных кругов; боковым износом алмазных дисков; несовпадением направления подачи стола с плоскостью вращения диска; неточным изготовлением междисковых фланцев. Погрешность Δ'_4 равна допуску на толщину фланца.

Торцевые биения вызывают положительные и отрицательные смещения, что увеличивает ширину пропила, тем самым уменьшая размеры распиловочных плит. Следовательно, при оценке этого параметра необходимо учитывать их суммарное воздействие. Последнее и составляет погрешность Δ_1^1 с отрицательным знаком, т.е. $\Delta_1^1 = -2|\Delta_1|$. Увеличение ширины пропила проявляется в течение всего периода работы пилы вплоть до ее износа, следовательно, погрешность Δ_1 проявляется как систематическая. В соответствии с ГОСТ 16115-82Е нормируемые значения погрешности вследствие биения отрезных кругов различные для разных диаметров этих кругов (табл. 1). Учитывая, что эти погрешности уменьшают размер плиты,

нормируемому значению Δ_1^1 , указанному в табл.1, следует приписать знак "минус".

Экспериментально исследованы биения отрезных кругов диаметром 800, 1100 и 1600 мм. Результаты измерений приведены в табл. 2. Как видно из данных таблицы, круг диаметром 800 мм смещается вследствие биения в пределах 0,65...0,90 мм (при норме 0,80 мм), диаметром 1100 мм – в пределах 1,05 1,30 мм (при норме 1,10 мм), диаметром 1600 мм - в пределах 1,60...1,90 мм (при норме 1,60 мм). При этом, если сопоставить с нормой средние арифметические значения смещения, то получим значительные расхождения (0,01, 0,08 и 0,13 мм соответственно при обычной точности и 0,26; 0,45 и 0,62 мм - при повышенной точности). Однако в отдельных случаях отклонения превышают норму на 18 % при обычной точности и до 70 % - при повышенной точности.

Таблица 1
Допускаемые значения погрешностей торцевых биений отрезного круга

№ п/п	Диаметр отрезного круга, мм, по ГОСТ 16115-88Е	Допускаемые биения, мм	
		при обычной точности	при повышенной точности
1	250	0,20	0,17
2	315	0,25	0,21
3	400	0,32	0,26
4	500	0,40	0,33
5	630	0,50	0,42
6	800	0,80	0,53
7	975	1,00	0,67
8	1000	1,00	0,67
9	1100	1,10	0,73
10	1250	1,25	0,83
11	1400	1,40	0,93
12	1600	1,60	1,10
13	2000	2,0	1,40

При определении действительной погрешности, обусловленной торцевым биением отрезных кругов Δ_1 , измерения проводились при помощи индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм, который закреплялся на штативе рядом с диском, а отрезной круг - на контрольном валу станка. При вращении отрезного круга максимальные и минимальные показания индикатора регистрировались, после чего рассчитывалась их разница. Размах значений биения R для каждого диска вычислялся по формуле

$$R = \Delta_1(\max) - \Delta_2(\min). \quad (2)$$

Таблица 2

Результаты измерений смещения отрезных кругов вследствие биения на станке СМР-017, Δ_1^1 , мм

№	Φ 800	Φ 1100	Φ 1600
1	0,85	1,10	1,75
2	0,90	1,05	1,65
3	0,90	1,20	1,60
4	0,75	1,25	1,65
5	0,70	1,25	1,75
6	0,80	1,20	1,90
7	0,80	1,15	1,85
8	0,65	1,10	1,60
9	0,75	1,15	1,80
10	0,80	1,30	1,70
	$\bar{x} = 0,79$	$\bar{x} = 1,175 \approx 1,18$	$\bar{x} = 1,72$

Смещение вследствие биения для 13 кругов колеблется в пределах 0,1...1,3. При этом для 5 кругов, т.е. почти в 40 % случаев, значение погрешности выше нормы. Смещение погрешности вследствие бокового износа алмазных сегментов, в соответствии с ГОСТ 16115 - 88Е, может достигать 1,5 мм.

Экспериментально износ измерялся микрометрической скобой с ценой деления 0,01 мм. При этом измерялась толщина шести сегментов, равномерно расположенных на окружности круга, за результат было взято среднее арифметическое значение. Выявлено, что износ сегментов приводит к увеличению толщины плиты, следовательно, погрешность носит систематический характер и имеет знак "плюс". Норма износа за 120 часов составляет 1,5 мм. При этом погрешность Δ_2 возрастает в зависимости от срока эксплуатации дисков до своего предельного значения. Влияние несовпадения направления подачи стола с плоскостью вращения диска приводит к увеличению ширины пропила, следовательно, к уменьшению толщины плиты. Эта погрешность также носит систематический характер и имеет знак "минус". Это значит, что нормируемому значению, выбранному из ГОСТ 16115-88Е, следует приписать знак "минус", т.е. $\Delta_3 = -0,8$ мм. При анализе смещения вследствие неточного изготовления междисковых фланцев выявленная погрешность Δ_4 составила $-0,03$ мм при нормируемом значении $\pm 0,1$ мм, которым можно пренебречь. Итак, основными погрешностями станков, влияющими на точность размеров плит, являются составляющие Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 . В этом случае уравнение следует записать в виде

$$\Delta' = f(\Delta_1', \Delta_2', \Delta_3'). \quad (3)$$

Учитывая, что указанные погрешности являются систематическими, суммарная погрешность (мм) может быть в пределах

$$\Delta = +\Delta_2' - (\Delta_1' + \Delta_3') = +1,5 - 1,9 = -0,4.$$

При определении действительной погрешности, обусловленной боковым износом алмазных сегментов Δ_2 , измерены толщины новых алмазных сегментов до начала распиловки плит и после работы этого же диска в течение 120 часов. Результаты измерений толщины сегментов 6 отрезных кругов через различные интервалы времени приведены в табл.3.

Таблица 3

Значения ширины блока до и после распиловки с учетом поправки на погрешность вследствие биения и толщины распиловочного круга

№ п/п	Ширина блока до распи- ловки, <i>L</i>	Размеры частей блока после распиловки, <i>мм</i>			Расчет Δ_3 , <i>мм</i> $(\ell_1 + \ell_2 + h + \Delta_1) - L$
		I часть II часть (I+II)			
Т У Ф					
1	700,2	350,0	342,2	692,2	692,2- 700,2+6,5+0,5=-1,0
2	700,1	350,0	342,1	692,1	692,2-700,2+6,5+0,5=-1,1
3	700,2	350,0	342,2	692,2	692,2-700,4+6,5+0,5=-1,2
4	700,4	350,8	341,6	692,4	692,4-700,4+6,5+0,5=-1,0
5	699,8	350,3	341,5	691,8	691,8-699,8+6,5+0,5=-1,0
<i>h</i> ≈ 6,5		<i>δ</i> ≈ 0,5		$\Delta_3(\text{cp}) = -1,04$	
М Р А М О Р					
6	400,3	198,7	193,7	392,4	392,4-400,3+6,5+0,5=-0,9
7	400,0	198,3	193,5	391,9	391,9-400,0+6,5+0,5=-1,1
8	399,6	198,5	193,1	391,6	391,6-399,6+6,5+0,5=-1,0
9	400,6	198,3	194,3	392,6	392,6-400,6+6,5+0,5=-1,0
10	400,2	198,9	193,5	392,3	392,3-400,2+6,5+0,5=-0,9
<i>h</i> ≈ 6,5		<i>δ</i> ≈ 0,5		$\Delta_3(\text{cp}) = -0,98$	
Г Р А Н И Т					
11	600,0	298,9	293,2	592,1	592,1-600,0+6,5+0,5=-0,9
12	600,4	298,6	293,7	592,3	592,3-600,4+6,5+0,5=-1,1
13	600,2	298,8	293,4	592,2	592,2-600,2+6,5+0,5=-1,0
14	600,3	298,5	293,8	592,3	592,3-600,3+6,5+0,5=-1,0
15	599,8	298,4	293,3	591,7	591,7-599,8+6,5+0,5=-1,1
<i>h</i> ≈ 6,5		<i>δ</i> ≈ 0,5		$\Delta_3(\text{cp}) = -1,02$	

Как видно, предельные значения износа алмазного бруска составили для туфа - до 4,5 мм, для гранита - 4,8 мм. Определение действительной погрешности Δ_3 , обусловленной несовпадением направления подачи стола с плоскостью вращения круга, выполнялось путем сопоставления размера (L) плиты до распиловки и суммарного значения $(\ell_1 + \ell_2)$ после ее распиловки на

две части с учетом поправки на погрешности вследствие биения Δ_1 и толщины Δ_2 распиловочного круга по формуле

$$\Delta_3 = (\ell_1 + \ell_2 + \Delta_1 + \Delta_2) - L. \quad (4)$$

Значения погрешности Δ_3 для туфа, мрамора и гранита практически совпадают, при этом их среднее значение составляет $\Delta_3 = 1,0$ мм. Сопоставление допускаемых погрешностей, вносимых конструктивными особенностями станков, с их действительными значениями, полученными в результате измерений, показывает, что они носят систематический характер и согласуются по знаку. При исследовании погрешности размеров облицовочных плит выявлено, что, наряду с погрешностями, обусловленными конструкцией станков, существенное значение имеет погрешность измерения размеров плит Δ_1'' , зависящая от погрешностей средства измерений, метода измерений Δ_2'' , а также погрешности измерений, обусловленной действием влияющей величины Δ_3'' . На основе вышеизложенного можно записать

$$\Delta'' = f(\Delta_1'', \Delta_2'', \Delta_3''). \quad (5)$$

Таким образом, в результате анализа показано, что применяемые при измерениях линейки и рулетки имеют погрешность Δ_1'' до $\pm 0,3$ мм, а погрешность Δ_2'' методов измерения оценивается значением $\pm 0,7$ мм. Необходимо отметить, что погрешность вследствие колебания температуры для условий Армении также может достигать десятых долей миллиметра. Наибольшее значение имеет методическая погрешность, что свидетельствует о несовершенстве метода измерений размеров плит путем наложения линеек на поверхность плиты.

Совокупное влияние температуры погрешностей и погрешностей метода измерений может привести к погрешности измерений, близкой или превышающей установленную норму до ± 1 мм. Это означает, что следует отказаться от металлических линеек и метода их наложения на поверхность плиты. Необходимо создать более точные средства и метод измерений облицовочных плит. С этой целью предлагается принципиальная схема автоматической установки для отбраковки плит и повышения точности измерений геометрических размеров плит при их изготовлении и сокращении времени их контроля [1-3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9480-8.
2. ГОСТ 16115-88Е.
3. **Бабаян З.А.** Разработка и исследование оценки качества полированности плит на конвейере // Метрологическое обеспечение измерительных систем: Сб. докл. III Межд. научн.-техн. конф., 2-6 октября 2006. – Пенза, 2006. – С. 200-206.

НПП ГЗАО "Камень и силикаты". Материал поступил в редакцию 20.03.2006.

Զ.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ, Է.Լ. ԻԳՆԱՏՅԱՆ, Ա.Մ. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ

**ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԵՐԻՑ ՍՏԱՑՎՈՂ ԵՐԵՍՊԱՏՄԱՆ ՍԱԼԻԿԱՆԵՐԻ ՈՐԱԿԻ ՎԵՐԱՀԱՅՄԱՆ
ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԵՎ ԱՊԱՐԱՏՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Երեսպատման քարե արտադրանքի որակի բարձրացման հիմնահարցերի մեջ մեծ դեր է խաղում քարի մշակման հիմնական և օժանդակ գործընթացների ավտոմատացումը (համակարգչայնացումը), որը կյոլյատրի դժվարունակ ձեռքի օպերացիաները բացառել և մշակման ժամանակ փոքրացնել սխալանքները: Առաջին անգամ բերվում են բնական քարերից երեսպատման սալիկների չափումների վիճակի վերահսկման արդյունքների վերլուծությունը տեխնոլոգիայի մշակման գործընթացում և պատրաստի արտադրանքի վերահսկման ժամանակ, առանձնացված են հիմնական պարամետրերը՝ (սալիկների չափսերը, փոխադրահայացությունը, երեսի հարթության փայլքը և անհարթությունը), մեծ ուշադրություն է հատկացված երկարության, լայնության և հաստության չափումների ճշգրտություններին:

Առանցքային բառեր. երեսպատման սալիկ, որակի վերահսկում, չափումների սխալանք:

Z.A. BABAYAN, E.L. IGNATYAN, A.M. BAGHDASARYAN

**DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF TECHNIQUES AND DEVICES FOR QUALITY CONTROL
UNDER FACING SLABS MADE FROM NATURAL STONE**

The results of the analysis relative to the control over the state of measuring in production, as well as over the finished product is presented. The basic parameters governing the quality of slabs are emphasised. These parameters are dimensions of slabs, squareness, the state of polishing the facial surface and the surface nonflatness. The analysis of length-, width- and thickness -metering errors is given.

Keywords: slab, control quality, metering error.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՇԵԿՅԱՆ Հ.Գ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Հ.Պ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Է.Պ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Ռ.Պ.

ԳԼՈՐՄԱՆ ԱՌԱՆՅՔԱԿԱԼՆԵՐՈՎ ՌՈՏՈՐԻ ՍՈՒԲԶԱՐՄՈՆԻԿ
ՏՍՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ 3

ԱՎԱԳՅԱՆ Վ.Շ.

ՊՂՆՁԵ ԱՐԱԳԱՅՆՈՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԻՖՈԶԻՈՆ ԶՈՂՄԱՆ ԵՎ
ԵՌԱԿՑՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ
ՄՇԱԿՈՒՄԸ 9

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

ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ա.Ն., ԵԶՄԿՅԱՆ Հ.Հ., ՖՐԱՆԳՈՒԼՅԱՆ Ա.Ա.

Fe₂O₃ - NiO - CoO - MoO₃ ՕՔՍԻԴԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻՑ ԲԱՐԴ ՕՔՍԻԴՆԵՐԻ
ՄԻՆԹԵԶՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 16

ՏՈՆՈՅԱՆ Ա.Հ., ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ Ն.Ն., ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ Ա.Զ., ԴԱՎԹՅԱՆ Ս.Պ.

ՊՈԼԻՄԵՐ-ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ԿՈՄՊԶԻՏՆԵՐԻ ՍՏԱՅՈՒՄ ՖՐՈՆՏԱԼ
ՊՈԼԻՄԵՐԱՅՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԵՎ ՆՐԱՆՑ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
..... 24

ՄԱՀՐԱՂՅԱՆ Ա.Բ., ՄԱՍՅԱՆ Ս.Գ., ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ Ա.Վ.

ԶԵՐՄԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՄԻՋՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ԱՄՐԱՑՄԱՄԲ ԱՐԱԳԱՀԱՏ ՀԱՄԱԶՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ 33

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Կ.Գ., ԱԼԱՅԱՆ Ա.Ա., ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Գ.Ս.

ՏԱՐԱԾԱԶՓԱԿԱՆ ՄԵՏԱՂԱԳՐՈՒԹՅԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ
ԿՈՆԿՐԵՏ ՄԵՏԱՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ
..... 40

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Հ.Ա., ԳԱԼՍՏՅԱՆ Հ.Ժ., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Կ.Ս.

ՊԱՀԱՆՁՎՈՂ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ՑԱԾՐ ԼԵԳԻՐՎԱԾ ՊՂՆՁԻ
ՀԱՄԱԶՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ
..... 45

ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ Ն.Գ.

ԲԱՍՏԵՆԻՏ ԴԱՍԻ ԱՍԲԵՍՏԱԶԵՐԾ ՇՓԱԿԱՆ ԱՐԳԵԼԱԿԱՅԻՆ
ՆԵՐԴԻՐՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՄԱՐԴԱՏԱՐ ԱՎՏՈՄԵՔԵՆԱՆԵՐՈՒՄ
..... 53

ԽԱԶՈՅԱՆ Ա.Ա.

ՀԱԶՈՐԴԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՌԵԱԿՑԻԱՅԻ ՓՈԽԼԵՐԻ
ԱՐԺԵՔԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ԶԳԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԹՎԱՅԻՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ 59

ՖԱՀՐԱՂՅԱՆ Հ.Ս.

ՏԱՐԲԵՐ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐՈՎ ԶԵՐՄԱՄՇԱԿՎԱԾ ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ
ՖԻԶԻԿԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 63

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ԱՂԱՄՅԱՆ Տ.Ս., ՄԱՍՈՒՆՅԱՆ Մ.Է.	
ՊՂՆՁԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ԼՈՒԾԵԼԻՈՒԹՅՈՒՆԸ ՋՐՈՒՄ՝ ԹՐԹՈՒԱՂԱՅՈՒՄ՝ ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՄԱՆՐԱՅՈՒՄԻՑ ՀԵՏՈ	68
.....	
ՄԱՐԳՍՅԱՆ Լ.Ե., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Մ., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Մ.Վ., ԱՆՏԱՇՅԱՆ Գ.Գ.	
ՊՂՆՁԱԿՈԼՉԵՂԱՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻՑ ԱՐԺԵՔԱՎՈՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐՁՄԱՆ ՌԱՅԻՈՆԱԼ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄԸ	73
ՄԻՆԱՍՅԱՆ Ա.Գ.	
ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԵՎ ՌԵՆԻՈՒՄԻ ՍՈՒԼՖԻԴՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ	80
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ.Ս., ԲԱՂԱԼՅԱՆ Ն.Պ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ս.Է.	
ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԹՈՒՅԼԱՏՐԵԼԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԸ ԵՎ ՆՐԱ ԻՐԱՅՈՒՄԸ	83
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Վ.Գ.	
ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՏԱՐԻ ԵՎ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՅՈՒՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԳՈԼՈՐՇԱԾԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՎՐԱ ՆՍՏՎԱԾՔՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԸ	94
ԽԻՋԱՆՅԱՆ Ա.Մ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Լ.Ս.	
ՄՆԱՅՈՐԴԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԱՆՋԱՏՈՒՄՆԵՐԸ ՋՋԷՌ ՏԻՊԻ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐԻ ՎԹԱՐԱՅԻՆ ԿԱՆԳԱՌՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ	100
.....	
ՄԻՆԱՍՅԱՆ Զ.Ա., ՍՈՒԼԹԱՆՅԱՆ Խ.Գ.	
ԳԼԱՆԱԿԱՆ ՄԱՐՄՆԻ ԼԱՅՆԱԿԱՆ ՈՂՈՂՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՋԵՐՄԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎՄԱՆ ՄԵԹՈԴ	107
.....	
ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ Ա.Ե.	
ՀԵԼԼԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՎ ԿԱՀԱՎՈՐՎԱԾ ԿՈՆԴԵՆՍԱՅԻՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱ- ԿԱՅԱՆԻ ՆԵՐԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ	118
....	
ԵՂԻԱՋԱՐՅԱՆ Լ.Վ., ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ Լ.Հ., ԱՍԱՏՐՅԱՆ Թ.Պ.	
ԻՆԴՈՒԿՅՈՒՆ ԷԼԵԿՏՐԱՀԱՇՎԻՉՆԵՐԻ ՍԽԱԼԱՆՔՆԵՐԸ ՑԱՆՅԻ ԼԱՐՄԱՆ, ԲԵՌԻ ՀՈՍԱՆՔԻ ԵՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՅԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԻՐԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ	124
ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ Պ.Ա., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Մ.Զ.	
ՄԹՆՈԼՈՐՏԻ ԾԾՄԲԻ ԵՐԿՕՔՍԻԴԻ ՉԱՓԻՉԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՀԵՏԱՋՈՏՈՒՄ	130
..	
ԿԱՐԱՅԱՆ Հ.Ս., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Շ.Ժ.	
ԵՐԿԳՈՐԾԱՌՈՒՅԹ ԼՈՒՍԱԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ԵՐԿԲԵՎԵՌ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴ- ՉԱՅԻՆ ՀԻՇՈՂ ՏԱՐՐ	135

ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ա.Հ., ՄԵԼԻՔՅԱՆ Հ.Վ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Տ.Ա., ՍՈՂՈՍՏՈՆՅԱՆ Դ.Ս.	
ԹՎԱՅԻՆ ՍԽԵՄԱՆՆԵՐԻ ՃՇԳՐԻՏ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴ	145
.....	
ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ Գ.Շ.	
ԾԱՅՐԱՀԵՂ ԼԱՅՆ InGaAsP/InP ՍՈՒՊԵՐԼՅՈՒՄԻՆԵՍՏԵՆՏԱՅԻՆ ԴԻՈԴՆԵՐ	153
.....	
ՏԵՐ-ԳԱԼՍՅԱՆ Ա.Ա.	
ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՍՊԱՌՄԱՆ ԱՐԱԳ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ՝ RTL ԿՈՄՊԻԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ	157
ԳՅՈՒՐՋՅԱՆ Ա.Ս.	
ԾՐԱԳՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՍՏԵՂԾՄԱՆ ՄԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐԸ	165
.....	
ԹԱԴԵՎՈՍՅԱՆ Ա.Վ., ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ Ա.Ս., ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ Ա.Ս., ԱԿԱՐՄԱԶՅԱՆ Հ.Ս.	
ԱՐՏԱԴՐԱՏՆԵՍԱԿԱՆ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ՝ ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՎՐԱ ՈՒՆԵՑԱԾ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ	169
.....	
ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ Ա.Ռ.	
ԳԾԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱԶԱԾ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿՈՄՊԵՆՍԱՏՈՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄՈՒՏՔԱՅԻՆ ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ	176
.....	
ԷՎՈՅԱՆ Ն.Է., ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ Գ.Ա.	
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԸ ԱՌԱՆՁՆԱՊԵՍ ԶԳԱՅՈՒՆ ՆՅՈՒԹԵՐՈՎ ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՏԱՐԱՆԵՐՈՒՄ	184
.....	
ԲԱԲԱՅԱՆ Զ.Ա., ԻԳՆԱՏՅԱՆ Է.Լ., ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Ա.Ս.	
ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԵՐԻՑ ՍՏԱՅՎՈՂ ԵՐԵՄՊԱՏՄԱՆ ՍԱԼԻԿՆԵՐԻ ՈՐԱԿԻ ՎԵՐԱՀՍԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԵՎ ԱՊԱՐԱՏՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	190

СОДЕРЖАНИЕ

ШЕКЯН Г.Г., ХАЛАТЯН А.П., ХАЛАТЯН Э.П., ХАЛАТЯН Р.П.	
СУБГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ РОТОРА НА ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ	3
АВАГЯН В.Ш.	
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФФУЗИОННОЙ ПАЙКИ И СВАРКИ МЕДНЫХ УСКОРЯЮЩИХ СТРУКТУР	9
АГБАЛАН С.Г., ПЕТРОСЯН А.А., АГБАЛАН А.С.,	
КАЗАРЯН А.Н., ЕЗАКЯН А.О., ФРАНГУЛЯН А.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ ИЗ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ $Fe_2O_3 - NiO - CoO - MoO_3$	16
ТОНОЯН А.О., КИРАКОСЯН Н.Н., ВАРДЕРЕСЯН А.З., ДАВТЯН С.П.	
ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В УСЛОВИЯХ ФРОНТАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ, И ИХ СВОЙСТВА	24
САГРАДЯН А.И., МАМЯН С.Г., АНДРИАСЯН А.В.	
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ БЕЗУГЛЕРОДИСТЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПЛАВОВ С ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	33
КАРАПЕТЯН К.Г., АЛАЯН А.А., ОВСЕПЯН Г.С.	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ ПРИ РЕШЕНИИ КОНКРЕТНЫХ МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКИХ ЗАДАЧ	40
КАРАПЕТЯН Г.А., ГАЛСТЯН А. Ж., АГБАЛАН К. С.	
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ С ТРЕБУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ	45
МЕЛИКСЕТАН Н.Г.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗАСБЕСТОВЫХ ФРИКЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ НАКЛАДОК КЛАССА БАСТЕНИТ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ ИСЛАМСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ИРАН	53
ХАЧОЯН А.А.	
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЦЕННОСТЕЙ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЕЙ СТАДИЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ	59
ФАГРАДЯН А.М.	
СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ, ТЕРМООБРАБОТАННЫХ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ	63
МАРТИРОСЯН В.А., АГАМЯН Т.С., САСУНЦЯН М.Э.	
РАСТВОРИМОСТЬ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА В ВОДЕ ВСЛЕДСТВИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ВИБРОМЕЛЬНИЦЕ	68
САРГСЯН Л.Е., ОГАНЕСЯН А.М., МАРТИРОСЯН М.В., АНТАШЯН Г.Г.	

ОЦЕНКА И ИСПЫТАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МЕДНО-КОЛЧЕДАНОВОГО КОНЦЕНТРАТА	73
МИНАСЯН А.Г.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ СУЛЬФИДОВ МОЛИБДЕНА И РЕНИЯ	80
ХАЧАТРЯН В.С., БАДАЛЯН Н.Р., ГРИГОРЯН С.Э.	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОПУСТИМОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ	83
ПЕТРОСЯН В.Г.	
ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ В УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	94
ХИЗАНЦЯН А.М., ОГАНЕСЯН Л.С.	
ОСТАТОЧНЫЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИЙНЫХ ОСТАНОВАХ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР	100
МИНАСЯН З.А., СУЛТАНЯН Х.Г.	
МЕТОД РАСЧЕТА ТЕПЛОТДАЧИ В ЛОВОЙ ЧАСТИ ПОПЕРЕЧНО ОБТЕКАЕМЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ	107
МОВСИСЯН А.Е.	
ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИСТАНЦИОННЫХ РЕЖИМОВ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ОБОРУДОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ГЕЛЛЕРА	118
ЕГИАЗАРЯН Л.В., КАРАХАНИЯН Л.О., АСАТЯН Т.П.	
ПОГРЕШНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИКОВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ, ТОКА И КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ	124
МАТЕВОСЯН П.А., АКОПЯН М.З.	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДВУОКИСИ СЕРЫ АТМОСФЕРЫ	130
КАРАЯН Г.С., МАРТИРОСЯН Ш.Ж.	
ФОТОУПРАВЛЯЕМЫЙ ДВУХОПЕРАЦИОННЫЙ ЗАПОМИНАЮЩИЙ БИПОЛЯРНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ	135
МЕЛИКЯН В.Ш., МАРТИРОСЯН А.А., МЕЛИКЯН Э.В., ПЕТРОСЯН Т.А., СОГОМОНЯН Д.С.	
МЕТОД ТОЧНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ СХЕМ	145
ШМАВОНЯН Г.Ш.	
ЭКСТРЕМАЛЬНО-ШИРОКИЕ InGaAsP/InP СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИОДЫ	

ТЕР-ГАЛСТЯН А.А.	153
МЕТОД БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ RTL КОМПИЛЯТОРОВ	157
ГЮРДЖЯН А.С.	
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММОЙ	165
ТАДЕВОСЯН А.В., АМБАРЦУМЯН А.М., АЙРАПЕТЯН А.С., АКАРМАЗЯН А.С.	
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	169
ЧИЛИНГАРЯН А.Р.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЕНСАТОРА ЛИНЕЙНЫХ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	176
ЭВОЯН Н.Э., КАРДАШЯН Г.А.	
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ТРАНСПОРТНЫХ ТАРАХ С ОСОБО ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ПРОДУКТОМ	184
БАБАЯН З.А., ИГНАТЯН Э.Л., БАГДАСАРЯН А.М.	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ПРИРОДНЫХ КАМНЕЙ	190

CONTENTS

SHEKYAN H.G., KHALATYAN H.P., KHALATYAN E.P., KHALATYAN R.P. SUBHARMONIC OSCILLATIONS OF ROTOR ON ROLLING CONTACT BEARING	3
AVAGYAN V.SH. STUDY AND DEVELOPMENT OF DIFFUSION BRAZING AND WELDING OF THE COPPER ACCELERATING STRUCTURES TECHNOLOGY	9
AGBALYAN S.G., PETROSYAN A.A., AGBALYAN A.S., GHAZARYAN A.N., EZAKYAN H.H., FRANGULYAN A.A. INVESTIGATION OF THE PROCESS OF COMPOUND OXIDE SYNTHESIS FROM $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{NiO} - \text{CoO} - \text{MoO}_3$ OXIDE SYSTEMS	16
TONOYAN A.H., KIRAKOSYAN N.N., VARDERESYAN A.Z., DAVTYAN S.P. POLYMER-POLYMERIC COMPOSITIES OBTAINED BY FRONTAL POLYMERIZATION AND THEIR PROPERTIES	24
SAGRADYAN A.I., MAMYAN S.G., ANDRIASYAN A.V. CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL CHANGES AND FORMATION OF NONCARBON HIGH-CUTTING ALLOY PROPERTIES WITH INTER- METALLIC STRENGTH FOR THERMOMECHANICAL TREATMENT	33
KARAPETYAN K.G., ALAYAN A.A., HOVSEPYAN G.S. APPLICATION OF THE METHODS OF STEREOMETRIC MATERIALS SCIENCE TO SOLVING CONCRETE PROBLEMS IN MATERIALS SCIENCE	40
KARAPETYAN H.A., GALSTYAN H.Zh., AGHBALYAN K.S. TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR OBTAINING LOW-ALLOYED COPPER ALLOYS WITH REQUIRED PROPERTIES	45
MELIKSETYAN N.G. THE UTILIZATION OF ASBESTOS-FREE FRICTION BRAKE NODES ON BASTENITE TYPE IN VEHICLES OF ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN	53
KHACHOYAN A.A. NUMERICAL ANALYSIS OF VALUES AND SENSITIVITIES OF CONSECUTIVE CHEMICAL REACTION STEPS	59
FAHRADYAN H.M. STATISTICAL ANALYSIS OF PHYSICOMECHANICAL PARAMETERS OF DETAILS, THERMALLY PROCESSED IN DIFFERENT WAYS	63
MARTIROSYAN V.H., AGHAMYAN T.S., SASUNTSYAN M.E. WATER SOLUBILITY OF COPPER CONCENTRATE AFTER THE MECHANO-CHEMICAL TREATMENT IN VIBRATION MILL	68
SARGSYAN L.YE., HOVHANNISYAN A.M., MARTIROSYAN M.V., ANTASHYAN G.G. EVALUATION AND TESTING OF THE RACIONAL TECHNOLOGY OF VALUABLE METAL RECOVERY FROM COPPER- PIRITE CONCENTRATE	73
MINASYAN A.G.	

INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL LEACHING PROCESS OF THE MOLYBDENUM AND RHENIUM SULPHIDES	80
KHACHATRYAN V.S., BADALYAN N.P., GRIGORYAN S.E.	
MATHEMATICAL MODEL OF ADMISSIBLE STEADY-STATE CONDITION IN ELECTRIC POWER SYSTEM AND ITS REALIZATION	83
PETROSYAN V.G.	
PROCESS OF SEDIMENTS ACCUMULATION ON STEAM GENERATING SURFACES UNDER THE IRRADIATION OF COOLANT AND CONSTRUCTION MATERIALS OF NUCLEAR POWER PLANTS	94
KHIZANTSYAN A.M., HOVHANNISYAN L.S.	
SHUTDOWN HEAT AT EMERGENCY HOT STAND REACTORS OF WWER TYPE	100
MINASYAN Z.A., SULTANYAN Kh.G.	
METHOD OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER CALCULATION IN FRONT SECTION OF HORIZONTAL STREAMLINED CYLINDRICAL BODIES	107
MOVSISYAN A.E.	
PECULIARITIES OF INTRAPLANT REGIMES OF CONDENSATIONAL POWER PLANT EQUIPPED WITH HELLER SYSTEM	118
YEGHIAZARYAN L.V., KARAKHANYAN L.H., ASATRYAN T.P.	
ERRORS OF INDUCTION METERS IN REAL CONDITIONS OF GRID VOLTAGE, LOAD CURRENT AND POWER COEFFICIENT CHANGES	124
MATEVOSYAN P.A., HAKOBYAN M.Z.	
ULTIVATION AND RESEARCH OF THE ATMOSPHERE SULPHUR DIOXIDE GAUGE	130
KARAYAN H.S., MARTIROSYAN SH.J.	
PHOTOCONTROLLED TWO-OPERATIONAL STORAGE BIPOLAR SEMICONDUCTOR ELEMENT	135
MELIQYAN V.Sh., MARTIROSYAN A.H., MELIQYAN H.V., PETROSYAN T.A., SOGHOMONYAN D.S.	
ACCURATE STATISTICAL TIMING ANALYSIS METOD FOR DIGITAL CIRCUITS	145
SHMAVONYAN G.SH.	
EXTREMELY BROADBAND InGaAsP/InP SUPERLUMINESCENT DIODES	153
TER-GALSTYAN A.A.	
A QUICK ESTIMATION METHOD OF POWER ESTIMATION FOR RTL COMPILERS	157
GYURJYAN A.S.	
PRINCIPLES OF ESTABLISHING ORGANIZATIONAL STRUCTURES FOR THE PROGRAM MANAGEMENT SYSTEM	165
TADEVOSYAN A.V., HAMBARDZUMYAN A.M., HAYRAPETYAN A.S., AKARMAZYAN H.S.	
ASSESSMENT OF INDUSTRIAL ECONOMIC OBJECT IMPACT ON ENVIRONMENT	169
CHILINGARYAN A.R.	
DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF COMPENSATOR FOR	

LINEAR MULTIVARIABLE FEEDBACK CONTROL SYSTEMS UNDER RANDOM INPUT DISTURBANCES	176
EVOYAN N.E., KARDASHYAN G.A.	
ELECTRIC FIELD IN TRANSPORT CONTAINERS BY SPECIALLY SENSITIVE SUBSTANCE	184
BABAYAN Z.A., IGNATYAN E.L., BAGHDASARYAN A.M.	
DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF TECHNIQUES AND DEVICES FOR QUALITY CONTROL UNDER FACING SLABS MADE FROM NATURAL STONE	190