

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿՆԱԳԻՐ

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. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ,
Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԿՅԱՆ,
ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ,
Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора), З.К.
СТЕПАНЯН (ответ. секретарь),
С.Г. АГБАЛЯН, Р.В. АТОЯН, В.В. БУНИАТЯН,
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, S.P. DAVTYAN,
S.M. GHAZARYAN, V.Z. MAROUKHYAN, YU.L. SARGSYAN,
V.S. SARKISSYAN, S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN,
V.S. KHACHATRYAN

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային
շարվածքը
եւ ձեւավորումը՝

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2004

Г.Г. ШЕКЯН, Э.П. ХАЛАТЯН, Г.В. ЗАХАРЯНЦ

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Показано, что в элементах конструкции машин и механизмов под воздействием высокочастотных механических колебаний возникает динамическая ползучесть. На основании проведенных исследований получено для линейных систем интегро-дифференциальное уравнение ползучести.

Ключевые слова: динамическая ползучесть, вязко-упругое тело, частота нагружения.

При высокочастотных нагружениях конструктивных элементов машин и механизмов наблюдаются изменения механических свойств материалов, вследствие чего возникает явление холодной ползучести. В зависимости от материала конструктивного элемента и температуры высокочастотная составляющая воздействующей нагрузки может повышать или понижать скорость ползучести [1].

В опытах Гринвуда [2] (на свинцовом образце) было обнаружено, что скорость ползучести до десятка раз увеличивается при наложении переменной составляющей нагрузки. Оказалось, что вибрационная нагрузка существенно ускоряет процесс рекристаллизации свинца [3]. Влияние вибрационной нагрузки на структурное изменение в материале отмечалось рядом других авторов [4]. В работах Гварниери [5,6] показано, что у хромоникелевой стали и алюминиевого сплава переменная нагрузка ускоряет ползучесть.

В наших опытах также обнаружено, что ползучесть свинца, меди, алюминия при нормальной температуре под воздействием переменной нагрузки происходит довольно интенсивно. Опыты были сравнительно непродолжительными (около суток), уровень напряжений был невысок, но ползучесть испытуемого образца была заметна невооруженным глазом. Структурный анализ образца после испытаний показал существенное изменение строения кристаллической решетки.

Явление динамической ползучести было известно достаточно давно, в особенности для материалов органического происхождения, однако учет ползучести при механических расчетах конструкций не вызывался серьезной необходимостью, пока скорости машин и манипуляторов, а также виброактивность некоторых специальных агрегатов не повысили на несколько порядков. При этом первые наблюдения над ползучестью при низких температурах носили количественный характер.

Линейная теория совершенно неприемлема для описания ползучести металлов, тем более при переменном нагружении. По существу, первым серьезным приложением теории линейной вязко-упругости являлось исследование ползучести бетона.

Как известно, напряжение и скорость деформации в вязкой жидкости связаны законом вязкости Ньютона:

$$\sigma = 3\eta\dot{\varepsilon}.$$

В упругом материале напряжения и деформации связаны законом Гука:

$$\sigma = E\varepsilon.$$

При попытке описать деформацию твердого тела, происходящую во времени, вероятно, необходимо объединить свойства вязкости и упругости (7).

Таким образом, мы приходим к представлению о вязко-упругом теле Максвелла, для которого связь между напряжениями и деформациями представляется уравнением

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{3\eta}. \quad (1)$$

Если действующая на тело постоянная составляющая напряжения преобладает над переменной составляющей, то можно предполагать, что деформация происходит с постоянной скоростью.

Предположим теперь, что тело растянуто напряжением σ_0 и в этом же направлении приложено переменное напряжение, изменяющееся по закону $\sigma_v(\cos)t$, где σ_v - амплитуда напряжения; ω - частота изменения напряжения. Тогда уравнение (1) примет вид

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{E\tau}, \text{ где } \tau = \frac{3\eta}{E}, \sigma = \sigma_v \cos \omega t. \quad (2)$$

Решение (2) дает

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0}{E\tau}t + \frac{\sigma_v}{E\tau\omega} \sin \omega t. \quad (3)$$

Как видно из (3), третий член, обусловленный наличием переменной составляющей напряжения, знакопеременен и не может влиять на величину нарастания деформации. Этот вывод противоречит экспериментальным данным. Противоречивый результат получен из-за того, что не были приняты во внимание структурные изменения в теле, которые происходят из-за переменности напряжения. На самом деле, если в исходном уравнении принять модуль упругости переменным, т.е. изменяющимся по мере изменения структуры материала, то получим совсем другие результаты. Если следовать гипотезе Фохта, т.е.

$$(\sigma_1 + \sigma_2 = E\varepsilon + 3\eta\dot{\varepsilon} = E(\varepsilon + \tau\dot{\varepsilon}),$$

то получим

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0 + \sigma_v \sin \omega t}{E} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]. \quad (4)$$

Комбинируя вязко-упругое тело Максвелла и Фохта, можно получить реологическую модель (рис.1), которая, по крайней мере, лучше воспроизводит поведение реальных твердых тел под нагрузкой, согласно которой $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$, где

$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E_1}$, а ε_2 связано с силой соотношением (4), а именно:

$$\sigma = E_2\varepsilon_2 + 3\eta\dot{\varepsilon}_2.$$

Исключая ε_1 и ε_2 , получим

$$\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}\right)\sigma + \frac{3\eta}{E_1 E_2} \dot{\sigma} = \varepsilon + \frac{3\eta}{E_2} \dot{\varepsilon}.$$

Приняв $E_1 = E$, $\frac{E_1 + E_2}{3\eta} = \lambda$, $\frac{E_2}{3\eta} = \mu$, будем иметь

$$\dot{\sigma} + \lambda\sigma = E(\dot{\varepsilon} + \mu\varepsilon), \quad (5)$$

где E , λ и μ изменяются по изменению структуры материала, но всегда выполняется условие $\lambda > \mu$, что следует из рассмотренной модели.

Уравнение (5) можно разрешить относительно напряжения или относительной деформации.

Тогда напряжение выразится через деформацию следующим образом:

$$\sigma = E_0\varepsilon - (\lambda - \mu) \int_{-\infty}^t E(\tau)\varepsilon(\tau) \exp[-\lambda(t - \tau)] d\tau. \quad (6)$$

Аналогичным образом можно выразить ε через σ :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_0} + (\lambda - \mu) \int \frac{1}{E(\tau)} \sigma(\tau) \exp[-\mu(t - \tau)] d\tau. \quad (7)$$

Интегральное уравнение типа Вольтера (6) или (7) совершенно эквивалентно уравнению (5) с соответствующими начальными условиями. Нижний предел интегрирования можно принять равным нулю вместо отрицательной бесконечности, т.к. при $t < 0$ $\varepsilon = 0$ $\sigma = 0$.

Если кривые релаксации или кривые ползучести могут быть аппроксимированы при помощи набора экспоненциальных функций, то нахождение закона деформирования, т.е. определение коэффициентов a_k и b_k в соотношении

$$a_0\sigma + a_1 \frac{d\sigma}{dt} + \dots + a_n \frac{d^n \sigma}{dt^n} = b_0\varepsilon + b_1 \frac{d\varepsilon}{dt} + \dots + b_m \frac{d^m \varepsilon}{dt^m}, \quad (8)$$

сводится к выполнению алгебраических операций.

Уравнение (8) эквивалентно интегральному уравнению [7]

$$\sigma = A\varepsilon - \int_0^t \Gamma(t - \tau)\varepsilon(\tau) d\tau, \quad (9)$$

где $\Gamma(t - \tau) = \sum_{i=1}^n A_i \alpha_i \exp[-\alpha_i(t - \tau)]$, $A = \sum_{i=0}^n A_i$. Функция $\Gamma(t - \tau)$ называется ядром релаксации, а тела, поведение которых описывается соотношением (9), называются наследственно-упругими. Если $m=n$, то все значения α_i должны быть положительными.

Тогда интегральное соотношение между ε и σ , как и в [7], примет вид

$$\varepsilon = B\sigma + \int_0^t K(t - \tau)\sigma(\tau) d\tau. \quad (10)$$

Здесь $K(t - \tau) = -\sum_{i=1}^p B_i \beta_i \exp[-\beta_i(t - \tau)]$, $B = \sum_{i=0}^p B_i$.

Функция $K(t - \tau)$ называется ядром ползучести, ядро релаксации является его резольвентой.

Полная деформация тела складывается из мгновенной деформации, которая определяется напряжением, действующим в данный момент времени, и связана с ним законом Гука, и из наследуемой деформации $d\varepsilon$. Предполагается, что $d\varepsilon$ пропорциональна некоторой функции $K(t - \tau)$ [8]:

$$d\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma(\tau) d\tau(t - \tau).$$

Интегрируя по τ (от $-\infty$ до t и добавляя мгновенную деформацию, получим

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \left[\sigma + \int_{-\infty}^t K(t - \tau) \sigma(\tau) d\tau \right]. \quad (11)$$

В пределе сумма, фигурирующая в определении $K(t - \tau)$ в формуле (10), превращается в интеграл

$$K(t - \tau) = - \int_0^{\infty} \beta B(\beta) \exp[-\beta(t - \tau)] d\beta.$$

Функция $B(\beta)$ называется спектром ползучести.

Совершенно аналогично имеем

$$\Gamma(t - \tau) = \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) \exp[-\alpha(t - \tau)] d\alpha.$$

Функция $A(\alpha)$ представляет собой спектр релаксации, т.е. ядра ползучести и релаксации представляют собой трансформации Лапласа соответствующих спектров, а функция $\Gamma(t - \tau)$ указывает на изменение модуля упругости.

В качестве примера рассмотрим задачу о вынужденных поперечных колебаниях стержня. Для этого в обычном уравнении поперечных колебаний заменим модуль упругости соответствующим упругим оператором.

Для стержня постоянного поперечного сечения F будем иметь

$$EJ(1 - \Gamma) \frac{d^4 V}{dz^4} + \rho F \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = q_0 + q(z, t). \quad (12)$$

Главные формы собственных колебаний упругой балки являются фундаментальными функциями уравнения

$$\frac{d^4 V_k}{dz^4} - \lambda_k^4 V_k = 0 \quad (13)$$

при соответствующих однородных граничных условиях, где λ_k^4 - фундаментальные числа.

Подставляя в (12) $V = \sum T_k(t) V_k(z)$ и имея в виду (13), получим

$$\sum [EJ(1 - \Gamma) \lambda_k^4 T_k + \rho F \ddot{T}_k] V_k = q(z, t). \quad (14)$$

Умножив (14) на $V_s(z)$, проинтегрировав по длине балки и имея в виду, что V_k образуют ортогональную систему функций

$$\frac{EJ}{\rho F} \lambda_s^4 = \omega_s^2 \frac{1}{\rho F} \int_0^l q(z_1, t) V_s(z) dz = \omega_s^2 q_s(t),$$

получим интегро-дифференциальное уравнение вида

$$\ddot{T} + \omega^2 (1 - \Gamma) T = \omega^2 q \quad (15)$$

(для простоты записи индекс s опущен), где ω - собственные значения функции (частота собственных колебаний стержня).

Если оператор Γ есть сумма экспоненциальных операторов нулевого порядка: $\Gamma = \sum A_s a_s \exp[-a_s(t - \tau)]$ и $q(t) = \exp(ipt)$, то функцию $T(t)$ будем искать в виде $T = a \exp i(pt + \varphi)$. Подставляя T в (15), получим

$$a \left\{ -p^2 + \omega^2 \left[1 - \sum \frac{A_s a_s}{a_s + ip} \right] \right\} = \omega^2 \exp(-i\varphi).$$

Отделяя действительную часть от мнимой, будем иметь

$$a = \left\{ p^2 \left(\sum \frac{A_s a_s}{a_s^2 + p^2} \right)^2 + \left(\frac{p^2}{\omega^2} - 1 + \sum \frac{A_s a_s}{a_s^2 + p^2} \right)^2 \right\}^{-1/2} \quad (16)$$

и

$$\operatorname{tg} \varphi = -p \frac{\sum \frac{A_s a_s}{a_s^2 + p^2}}{p^2} \cdot \frac{1}{\omega^2 - 1 + \sum \frac{A_s a_s^2}{a_s^2 + p^2}}. \quad (17)$$

Если же оператор Γ содержит слагаемое в виде оператора дифференцирования, например, для вязко-упругого тела

$$\Gamma = -a \partial / \partial t,$$

то уравнение (15) сводится к обычному уравнению колебаний с затуханием.

Этот же метод применим, если Γ представляет собой оператор с произвольным ядром.

Считая по-прежнему $q = \exp(ipt)$, решение ищем в виде $T = a \exp[i(pt + \varphi)]$.

Тогда будем иметь

$$\Gamma_1 = \int_0^\infty \Gamma(z) \cos pzd z, \quad \Gamma_2 = \int_0^\infty \Gamma(z) \sin pzd z,$$

$$a = \left[\left(-\frac{p^2}{\omega^2} + 1 - \Gamma_1 \right)^2 + \Gamma_2^2 \right]^{-1/2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\Gamma_2}{\frac{p^2}{\omega^2} - 1 + \Gamma_1}, \quad (18)$$

$$\Gamma T = a \exp(i\varphi) \int_{-\infty}^t \Gamma(t - \tau) \exp(-ip\tau) d\tau,$$

где p - собственное значение.

Принимая упругий оператор $E = E_0 \cdot \Gamma^\bullet$, где $\Gamma^\bullet = 1 - \Gamma$ - ядро релаксации, и переходя к оригиналу, с учетом гипотезы Фохта и результатов экспериментальных исследований получим

$$1 - \Gamma = 1 - \frac{\sqrt{1 + k^2}}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_3)^2]^2 + k^2}} \cdot e^{-\left[2 - \left(\frac{\omega}{\omega_3}\right)^2\right]^2 (1-\alpha) \left(\frac{t}{t_0}\right)^{1-\alpha}}, \quad (19)$$

$$\frac{\dot{f}}{\dot{f}_0} = 1 - \frac{\sqrt{1 + k^2}}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_3)^2]^2 + k^2}} \cdot e^{-\left[2 - \left(\frac{\omega}{\omega_3}\right)^2\right]^2 (1-\alpha) \left(\frac{t}{t_0}\right)^{1-\alpha}}, \quad (20)$$

$$\frac{E}{E_0} = \left[1 + \frac{\sigma_m}{\sigma_a} \sqrt{\frac{[1 - (\omega/\omega_3)^2]^2 + k^2}{1 + k^2}} \right] \cdot e^{-\left[2 - \left(\frac{\omega}{\omega_3}\right)^2\right]^2 (1-\alpha) \left(\frac{t}{t_0}\right)^{1-\alpha}}, \quad (21)$$

где $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_m}{E_0}$ - деформация от постоянной части напряжения; σ_m - амплитудная часть напряжения, ω - частота вынужденных колебаний (нагружения); ω_3 - базовая частота изменений напряжений, до значения которой не происходит структурного изменения материала. Для углеродистых и легированных сталей $\omega_3 = 250$ Гц (получено экспериментально); k - коэффициент внутреннего сопротивления, равный $k = \frac{\gamma}{\pi}$; γ - логарифмический декремент затухания материала; t - текущее время; t_0 - базовое время (зависит от материала и частоты), в течение которого не происходит структурного изменения материала; α - постоянная, зависящая от материала ($0 < \alpha < 1$).

По результатам экспериментальных исследований для легированных сталей получено: $\alpha = 0,85$, $t_0 = 200$ ч, для углеродистых сталей $\alpha = 0,72$, $t_0 = 250$ ч.

Проведена серия экспериментов на динамическую ползучесть с различными частотами нагружения на цилиндрических образцах из сталей марок Сталь 40Х, ШХ15 и А35 при значениях напряжений $\sigma_m = 2 \cdot 10^8$ Па, $\sigma_a = 5 \cdot 10^7$ Па. На рис.1 показаны зависимости изменения модуля упругости от частоты нагружения в течение $t = 1000$ ч.

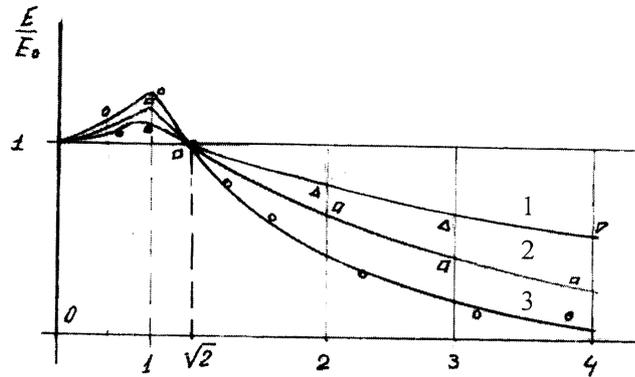


Рис.1. Зависимость изменения модуля упругости от частоты нагружения в течение $t=1000$ ч: 1 - для материала Сталь 40X; 2- для материала Сталь ШХ15; 3- для материала Сталь А36

Как видно из рис. 1, до значения частоты $\omega/\omega_B = \sqrt{2}$ модуль упругости несколько растёт и при $\omega/\omega_B = 1$ получает некоторое упрочнение. При $\omega/\omega_B = \sqrt{2}$ модуль упругости материала снова принимает первоначальное значение. Далее с возрастанием соотношения частот ω/ω_B модуль упругости убывает, и чем больше хрупкость материала, тем интенсивнее происходит спад.

Изменение деформации по времени при различных частотах нагружения испытуемого образца из марки Сталь 40X показано на рис.2. Как видно из графика, для углеродистых сталей, у которых $\omega = 250$ Гц, с увеличением частоты возбуждения увеличивается деформация ползучести, а на частоте возбуждения, равной базовой частоте, деформация ползучести отсутствует. На графике дискретные точки соответствуют экспериментальным данным.

Огромный практический интерес представляют также кривые релаксации напряжения при постоянной средней деформации.

Из (21) будем иметь $\sigma = \sigma_M - \sigma_a A$.

Время полной релаксации наступит, если $\sigma = \sigma_M - \sigma_a A = 0$, тогда из (20) и (21) будем иметь

$$t = t_0 \left[\frac{\ln \frac{\sigma_a}{\sigma_0} \sqrt{\frac{1 - k^2}{[1 - (\omega/\omega_b)^2]^2 + 1}}}{- [1 - (\omega/\omega_b)^2]^2 (1 - a)} \right]^{(1-a)} \quad (22)$$

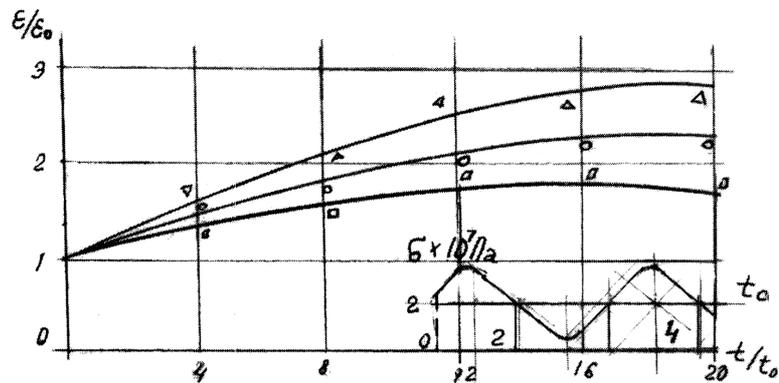


Рис. 2. Зависимость деформации $\varepsilon/\varepsilon_0$ от соотношения t/t_0 при частотах нагружения ;
 $1 - \omega = 0,5 \cdot 10^3$ Гц; $2 - \omega = 10^3$ Гц; $3 - \omega = 2 \cdot 10^3$ Гц

На рис. 3 представлены кривые релаксации напряжения, построенные по формуле (22) и по результатам экспериментальных исследований на углеродистых образцах при различных частотах нагружения. Дискретные точки относятся к результатам экспериментальных исследований.

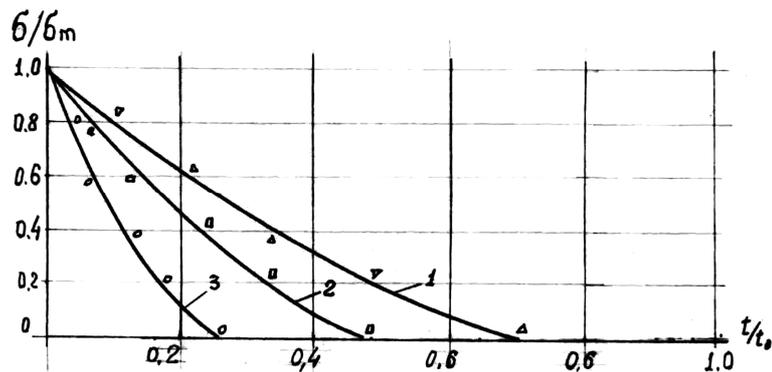


Рис. 3. Зависимость релаксации напряжения от соотношения t/t_0 при частотах нагружения : $1 - \omega = 0,1 \cdot 10^3$ Гц; $2 - \omega = 500$ Гц; $3 - \omega = 1000$ Гц; $4 - \omega = 1500$ Гц

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Работнов Ю.Н.** Расчет деталей машин на ползучесть // Изв. АН СССР, ОТН.- 1948.- №6.- 546 с.
2. **Greenwood J.N.** The influence of vibration on the creep of lend // Proc. ASTM.- 1949.- Т.49. - P.72-84.
3. **Hanstock R.F.** The effect of vibration jnaprecipitation hardened aluminum alloy // Journ. Inst. Of Metals. - 1948.-Т.76.- P.469-492.

4. **Guarnieri G.L.** The creep-rupture properties of aircraft sheet alloys subjected to intermittent load and temperature // ASTM. Spec. Techn. Publ. - Baltimore, 1954.- № 165.- P.132-150.
5. **Guarnieri G.L.** Intermittent stressing and heating tests of aircraft structural metals // Wright Air Dev. Centr, Techn. -1954. - Rep. 53-24.- P.43-64.
6. **Миленко С.Т.** Кратковременная ползучесть при переменных напряжениях // Ползучесть и длительная прочность: Сб.- Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963.- С.46-61.
7. **Работнов Ю.Н.** Ползучесть элементов конструкций. - М: Наука, 1966.- 752 с.
8. **Шекян Г.Г.** Виброползучесть и релаксация напряжений в конструктивных элементах электрических машин // Изв. вузов. Электромеханика II, Новочеркасск, 1998.- С.57-61.

Ин-т механики НАН РА, ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.2003.

Հ.Գ.ՇԵԿՅԱՆ, Է.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Գ.Վ.ԶԱԽԱՐՅԱՆՑ

ՆՅՈՒԹԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿ ԱՉԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Բացահայտված է բարձր հաճախականության մեխանիկական տատանումների ազդեցության տակ մեքենաների և մեխանիզմների տարրերում դինամիկ սողքի առաջացման երևույթը: Ուսումնասիրությունների հիման վրա գծային լարվածային վիճակի համար ստացված է սողքի ինտեգրա-դիֆերենցիալ հավասարումը:

H.G. SHEKYAN, E.P. KHALATYAN, G.V. ZAKHARYANTS

MECHANICAL MATERIAL PROPERTY CHANGES AT DYNAMIC HIGH-FREQUENCY EFFECTS

It is shown that in machine and mechanism construction elements at mechanical high-frequency vibrations the dynamic creeping arises. Based on studies carried out an integro-differential equation of creeping is obtained for linear systems.

Р.П. ДЖАВАХЯН, О.С. АРЗУМАНЯН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОЛИКОВОГО НАСОСА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПРЕРЫВИСТЫЙ ПОТОК КРОВИ

Предлагаются необходимые изменения структуры и основных параметров роликового насоса аппарата искусственного кровообращения, а также номенклатура и размеры сменных кровеносных трубок, обеспечивающие прерывистый поток крови и непрерывное регулирование кровотока. Получены корреляционные зависимости, позволяющие установить во время операции на сердце значения регулируемых параметров насоса с целью обеспечения им требуемого кровотока.

Ключевые слова: искусственное кровообращение, прерывистый поток крови, регулирование кровотока, роликовый насос, кровеносная трубка, корреляция.

В связи с широким применением аппаратов искусственного кровообращения (АИК) при операциях на сердце важное значение приобретает вопрос проектирования и создания насосов АИК, отвечающих современным требованиям [1] по обеспечению **прерывистого потока крови и близкого к физиологическому закону $V(t)$ изменения объемной скорости кровотока** [2, 3]. Номенклатура сменных упругих кровеносных трубок и основные параметры представленного на рис. 1 роликового насоса, отвечающего этим требованиям, устанавливаются при обеспечении следующих условий:

$$500 \leq Q_m \leq 6500 \text{ мл}, \quad (1)$$

$$0,7Q_m^0 \leq Q_m \leq 1,1Q_m^0, \quad (2)$$

$$60 \leq n_1 = n \leq 100 \text{ об/мин}, \quad (3)$$

$$50 \leq P_{cp} \leq 100 \text{ мм рт. ст.}, \quad (4)$$

$$0,01 \leq k_1 \leq 0,15, \quad (5)$$

$$\frac{1}{3} < k_s < \frac{2}{3}, \quad (6)$$

где Q_m - минутный объем кровотока (МОК); Q_m^0 - стартовый МОК, определяемый для больного весом m , ростом H , наружной площадью $S \cong \sqrt{m \cdot H / 3600} \text{ м}^2$ тела по формуле

$$Q_m^0 = (1,7 \dots 2,4) S; \quad (7)$$

n_1 - частота вращения несущего ролик кривошипа l , равная числу n сокращений сердца в минуту; P_{cp} - среднее за цикл давление крови; k_1 - коэффициент, характеризующий степень деформации упругой кровеносной трубки; $k_s = t_s / T$ - отношение времени систолы ко времени одного цикла.

Геометрические и кинематические параметры насоса АИК определяются векторами

$$W_r = W_r(R_n, r) \quad \text{и} \quad W_k = W_k(\varphi_1, n_1),$$

где (см. рис. 1) R_n - максимальный радиус опорной цилиндрической поверхности насоса, где помещается упругая кровеносная трубка радиуса r ; φ_1 - угол поворота несущего ролик кривошипа.

В [1] на основе принятых допущений предложена методика расчета МОК- $Q_m = Q_m(W_r, W_k)$ по геометрическим и кинематическим параметрам роликового насоса. Для учета ошибок, вносимых принятыми допущениями, и неучтенных факторов проведено также сравнение расчетных и экспериментальных данных, полученных для фиксированных значений радиуса r гибких кровеносных труб роликового насоса, и введен уточняющий коэффициент k_2 , равный

$$k_2(r) = 1,05 - 0,431r^{0,972}.$$

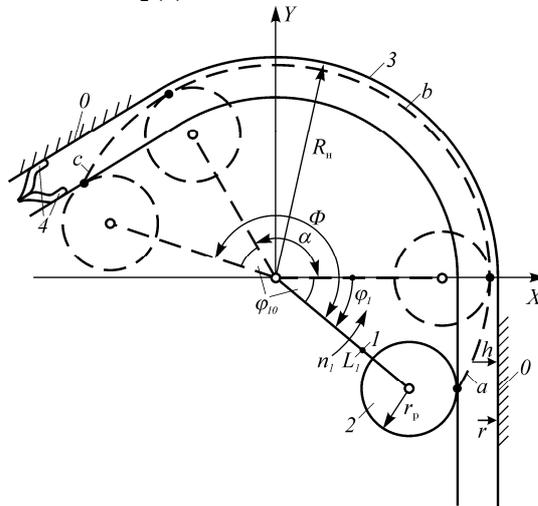


Рис. 1

В [1] получены также расчетные формулы

$$V = V(W_r, W_k, k_2), \quad Q = Q(W_r, W_k, k_2), \quad Q_m = Q_m(W_r, W_k, k_2),$$

позволяющие определить с учетом k_2 близкие к реальным значения объема скорости (V), циклового (Q) и минутного (Q_m) объемов кровотока, реализуемых роликовым насосом.

Для регулирования в интервале (1) МОК Q_m , определяемого для конкретного больного по формуле (7), основные параметры насоса, номенклатура и размеры сменных гибких кровеносных трубок должны быть выбраны так, чтобы возможно было обеспечить условие (1) в более узких границах изменения стартовых значений

$$70 \leq n_1^0 \leq 90, \quad (8)$$

$$0,02 \leq k_1^0 \leq 0,1 \quad (9)$$

параметров n_1 и k_1 , чем условия (3) и (5).

Для определения значений радиуса R_H (рис. 1), коэффициента k_s и наибольшего значения $\max r$ радиуса кровеносной трубки необходимо решить трансцендентное уравнение

$$Q_m^0(R_H, r, \min k_1^0, k_2(r), k_s, \max n_1^0) = \max Q_m^0 = 6,5 \text{ л}, \quad (10)$$

в котором $\min k_1^0 = 0,02$, $\max n_1^0 = 90 \text{ об/мин}$.

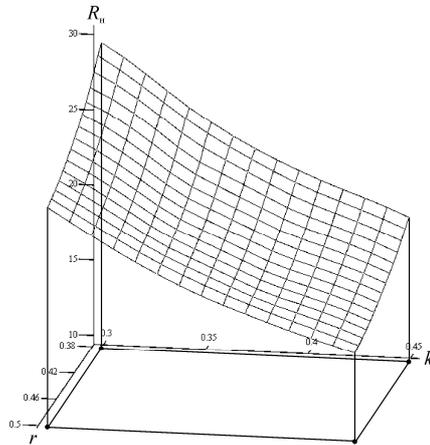
В табл. 1 для различных сочетаний значений k_s и $\max r$ приведены расчетные значения R_H (рис. 2), полученные решением (10).

С учетом конструктивных и габаритных ограничений из табл. 1 окончательно выбираем следующие значения параметров:

$$\max r = 0,5 \text{ дюйм}, \quad R_H = 140 \text{ мм} \quad \text{и} \quad k_s = 0,5. \quad (11)$$

Таблица 1

$\max r$, дюйм k_s	0,500	0,450	0,400	0,350	0,300	0,250
0,30	239,7	254,3	278,7	317,9	380,8	485,6
0,35	200,9	213,6	235,0	268,2	321,4	411,2
0,40	173,2	184,0	202,7	232,0	279,2	356,3
0,45	152,0	162,0	178,0	204,2	245,7	314,9
0,50	135,4	144,6	158,9	182,2	219,6	282,0
0,55	122,5	130,8	143,6	164,3	198,4	255,1
0,60	111,9	118,8	131,0	149,9	180,8	232,9
0,65	103,0	109,0	120,4	138,2	166,1	214,5
0,70	95,4	101,1	111,3	127,7	153,6	198,1



$$R_H = R_H(r, k_s)$$

Рис. 2

Для принятых значений параметров (11), с целью обеспечения требуемого значения МОК Q_m в диапазоне (1), с учетом n_1^0 и k_1^0 , регулируемых в диапазонах (8) и (9), установлены восемь значений радиусов сменных кровеносных трубок (табл. 2) в диапазоне $r = 1/9 \dots 1/2$ дюйм. Для граничных значений n_1^0 и k_1^0 интервалов (8) и (9) в табл. 2 приведены также соответствующие им граничные значения МОК Q_m , обеспечиваемые этими трубками.

Диаграммы зависимостей

$$r = r(Q_m), \quad n_1^0 = n_1^0(Q_m), \quad k_1^0 = k_1^0(Q_m)$$

представлены на рис. За и б.

В средней части табл. 2 приведены также рекомендуемые диапазоны изменения Q_m^0 , установленные для каждой сменной трубки из условий непрерывности МОК и минимальности значения коэффициента k_1^0 .

Для реализации требуемого МОК (Q_m) во время операции на сердце установлена линейная корреляционная зависимость

$$Q_m = Q_m(n_1, k_1) = a_0 + a_1 n_1 + a_2 k_1 \quad (12)$$

между требуемым значением Q_m и регулируемыми параметрами n_1 и k_1 насоса. Значения постоянных коэффициентов a_0, a_1, a_2 и коэффициентов корреляции выражения (12), полученные для всех типоразмеров сменных кровеносных трубок, приведены в правой части табл. 2.

Таблица 2

r , дюйм	n_1 , об/мин	min Q_m ($k_1 = 0,1$), л	max Q_m ($k_1 = 0,02$), л	Q_m^0 , л	a_0	a_1	a_2	R
1/2	70	4,49	5,28	5 ... 6,7	0,070	11,27	0,68	0,999
	90	5,77	6,78					
3/8	70	3,42	4,03	4 ... 5	0,053	8,68	0,52	0,999
	90	4,40	5,18					
5/16	70	2,71	3,19	2,9 ... 4	0,042	6,87	0,41	0,999
	90	3,48	4,10					
1/4	70	1,96	2,31	2 ... 2,9	0,031	4,99	0,30	0,999
	90	2,52	2,97					
5/24	70	1,47	1,86	1,5 ... 2	0,023	3,78	0,23	0,999
	90	1,89	2,23					
1/6	70	1,02	1,20	1 ... 1,5	0,016	2,60	0,16	0,999
	90	1,31	1,54					
2/15	70	0,69	0,82	0,75 ... 1	0,011	1,80	0,11	0,999
	90	0,89	1,05					
1/9	70	0,50	0,59	0,5 ... 0,75	0,078	1,30	0,08	0,999
	90	0,64	0,76					

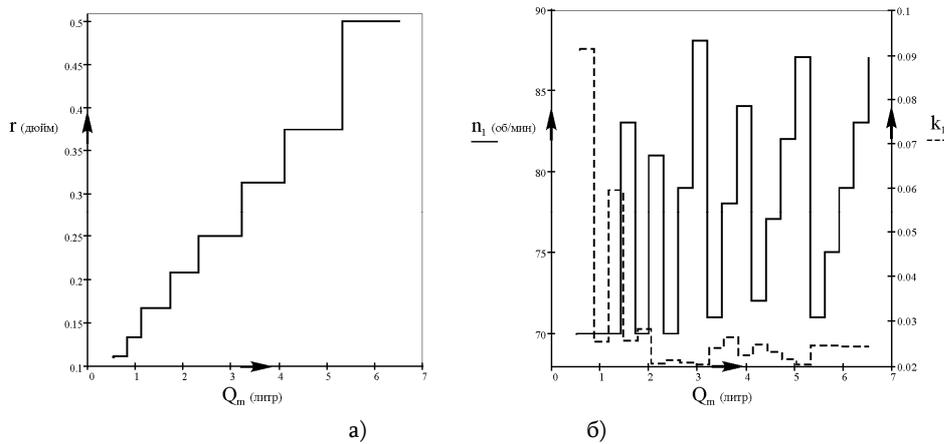


Рис. 3

С целью обеспечения во время операции на сердце адекватности искусственного кровообращения по P_{cp} путем регулирования значений n_1 и k_1 в интервалах (3) и (5), в табл. 3 приведены границы изменения стартовых значений Q_m^0 . Исходя из установленных при операциях на сердце данных, зависимость между МОК и средним давлением крови можно принять близкой к линейной и представить формулой

$$Q_m(P_{cp}) = \frac{Q_m}{100} [110 - 0,8(P_{cp} - 50)]. \quad (13)$$

Таблица 3

г , дюйм	$\min Q_m^0$, л	$\min Q_m$, л	$\frac{\min Q_m^0 - \min Q_m}{\min Q_m}$, %	$\max Q_m^0$, л	$\max Q_m$, л	$\frac{\max Q_m^0 - \max Q_m}{\max Q_m}$, %
1/2	4,49	3,45	-30,0	6,78	7,68	11,7
3/8	3,42	2,63	-30,3	5,18	5,86	11,7
5/16	2,71	2,08	-30,2	4,10	4,64	11,7
1/4	1,96	1,50	-30,8	2,97	3,37	11,7
5/24	1,47	1,13	-30,3	2,23	2,53	11,8
1/6	1,02	0,78	-30,3	1,54	1,75	11,7
2/15	0,69	0,53	-30,5	1,05	1,19	11,8
1/9	0,50	0,38	-30,4	0,76	0,86	11,8

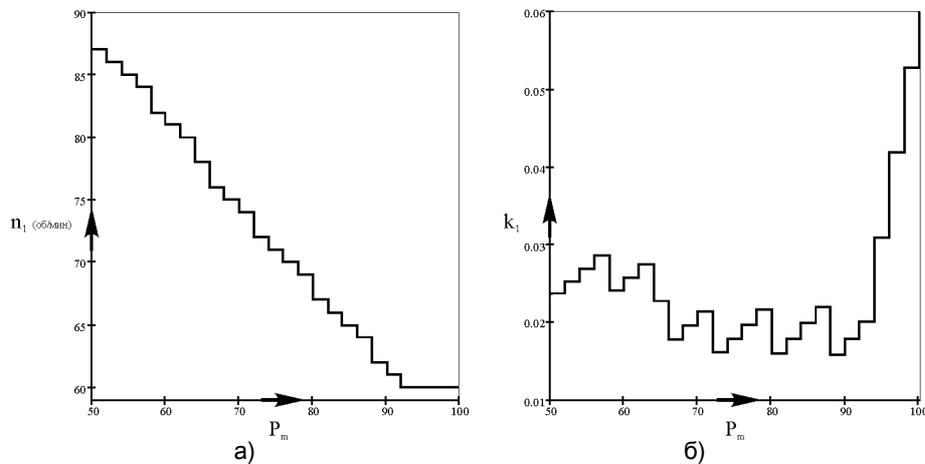


Рис. 4

На рис. 4 а и б представлены диаграммы $p_1(P_{cp})$ и $k_1(P_{cp})$, установленные при стартовом значении МОК $Q_m^0 = 4,52 \text{ л}$ (найденном по формуле (7) для больного весом $m = 75 \text{ кг}$ и ростом $H = 170 \text{ см}$) и минимальном значении коэффициента k_1 по формуле (13), обеспечивающие адекватность искусственного кровообращения при изменениях параметров Q_m , p_1 , P_{cp} и k_1 в интервалах (2)-(5).

Выводы

- Предложенные изменения структуры и основных размеров применяемого в АИК [1] роликового насоса позволяют реализовать близкий к физиологическому прерывистый поток крови.
- Предлагаемые значения основных параметров роликового насоса ($R_n = 140 \text{ мм}$, $\Phi = \pi$) и радиусы сменных кровеносных трубок (табл. 2) позволяют удовлетворить требованиям (1)-(5), предъявляемым к насосу АИК, а также осуществить регулирование МОК путем изменения параметров (p_1, k_1) с целью поддержания нужного среднего давления P_{cp} крови в диапазоне (4).
- Для упрощения процесса регулирования Q_m установлена корреляционная зависимость $Q_m = Q_m(p_1, k_1)$, позволяющая с большой точностью определить и установить нужное значение $P_{cp} = P_{cp}(Q_m)$ среднего давления крови.
- Для обеспечения стартового значения Q_m^0 МОК, определяемого до операции на сердце для больного весом m и ростом H , из табл. 2 выбирается значение соответствующего радиуса кровеносной трубки, а стартовые значения p_1^0 и k_1^0 регулируемых параметров определяются из рис. 3б.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Джавахан Р. П., Арзуманян О. С.** Методика расчета роликового насоса, обеспечивающего близкий к физиологическому прерывистый поток крови. // Информационные технологии и управление: Науч.-техн. сборник.-2003.- № 2-1.- С 8-16.
2. **Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У.** Механика кровообращения.- М.: Мир, 1981.- 624 с.
3. **Արզումանյան Հ. Ս.** Արյան բնական հոսքի ծավալային արագության տիպային կախվածության մաթեմատիկական ներկայացումը // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողով, Նյութերի ժողովածու.-2002.-Հ. I.(Էջ 221-222:

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.11.2003.

Ռ.Պ. ՋԱՎԱԽՅԱՆ, Հ.Ս. ԱՐԶՈՒՄԱՆՅԱՆ ԱՐՅԱՆ ԸՆԴՀԱՏՈՒՆ ՀՈՍՔ ԱՊԱՀՈՎՈՂ ՀՈԼՈՎԱԿԱՎՈՐ ՊՈՄՊԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ

Առաջարկվում են ներկայումս կիրառվող արյան արհեստական շրջանառության հոլովակավոր պոմպի կառուցվածքի և հիմնաչափերի անհրաժեշտ փոփոխությունները և փոխովի արյունատար խողովակների անհրաժեշտ տրամաչափերի անվանացանկը, որոնք թույլ կտան ապահովել արյան ընդհատուն հոսք, ինչպես նաև արյան միջին ճնշման անընդհատ կարգավորում՝ պահանջվող սահմաններում: Մտացվել են կոռեկցիոն բանաձևեր, որոնց միջոցով որոշվում են պոմպի՝ արյան պահանջվող հոսք ապահովող փոփոխական պարամետրերի մեծությունները, և սրտի վիրահատության ժամանակ իրականացվում է կարգավորումը:

R.P. JAVAKHYAN, H.C. ARZUMANYAN

DESIGNING OF THE ROLLER PUMP PROVIDING PULSATILE BLOOD FLOW

Necessary changes of structure and key parameters of the roller pump of the artificial blood circulation device, and also the nomenclature and the sizes of replaceable blood pipes which will allow to provide a pulsatile blood flow and continuous regulation of blood flow are proposed. The correlation dependences allowing to establish values of pump adjustable parameters with the aim of maintaining the required blood flow are obtained.

Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Կ.Ց. ԻՍԱԽԱՆՅԱՆ

ՀԱՐԹ ԵՎ ԱՍՏԻՃԱՆԱՎՈՐ ԼԻՍԵՌՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

**Հաղորդում 1. Հարթ, տեխնոլոգիական և կառուցվածքային նշանակության
լարումների կուտակիչներ ունեցող լիսեռների սահմանային
լարումների մակերևույթները**

Փոփոխական բարդ բեռնվածության դեպքում $(T, \pm M)$ դիտարկված են հարթ և լարումների կուտակիչներով, պողպատ 45 մակնիշից պատրաստված փորձանմուշների հոգնածային փորձարկումների արդյունքները: Շոշափող և նորմալ լարումների հարաբերությունները յուրաքանչյուր խմբաքանակում հաստատուն են պահվել: Ցուրաքանչյուր դեպքի համար ստացվել են սահմանային լարումների մակերևույթները: Ցույց է տրված, որ դիմացկունության սահմանների փոփոխությունը վերադրված ստատիկ շոշափող լարումներից առաջացած երկու գործընթացների միաժամանակյա ազդեցության հետևանք է: Առաջարկվում է նոր հաշվարկային մեթոդ՝ դիտարկված բարդ բեռնվածության դեպքում հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների հավանական գնահատման համար:

Առանցքային բառեր. հոգնածային դիմադրություն, լարումների կուտակիչներ, սահմանային լարումներ:

Փոխանցիչ մեխանիզմներում օգտագործվող և փոփոխական բարդ բեռնվածքով $(\pm M, T)$ աշխատող լիսեռներին և 'լիսեռ-կունդ' միացություններին բնորոշ է վտանգավոր հատվածքում առաջացող բարդ և անհամասեռ լարվածային վիճակը, որը կառուցվածքային կամ տեխնոլոգիական լարումների կուտակիչների ազդեցության հետևանքն է: Այդ պատճառով էլ լիսեռների աշխատունակության հիմնական չափանիշը հոգնածային դիմադրությունն է, որը պահանջում է բարդ բեռնավորմամբ փորձանմուշային հոգնածային փորձարկումների իրականացում:

Կատարված են գլանական փորձանմուշների (հարթ, կլորացումով, տեղակայիչ պտուտակի փոսիկով, խուլ և միջանցիկ շառավղային անցքով) 5 շարք փորձարկումներ՝ 25 խմբաքանակներով, որոնցում պահպանվել է բեռնվածության ռեժիմային պարամետրի՝ $\tau/\sigma = \text{const}$ պայմանը, իսկ յուրաքանչյուր խմբաքանակում փորձարկումների թիվը տատանվել է $n = 17 \dots 22$ սահմաններում [1]: Ցուրաքանչյուր շարքի համար $\tau/\sigma = 1 \dots 1,65$ միջակայքից ընտրված τ/σ -ի արժեքները համապատասխանում են ստանդարտ ռեդուկտորների արագընթաց, միջանկյալ և դանդաղընթաց լիսեռների բեռնավորման ռեժիմներին: Փորձարկումների արդյունքները վիճակագրական մշակման են ենթարկվել համաձայն [2]-ի, և ստացվել են քվանտիլային հոգնածային կորերի ընտանիքների հավասարումները՝

$$x_i = -(\bar{b}_{x/y} + z_p s_{b/x})(y_i - \bar{y}) + (\bar{x} + z_p s_{x_r}) \quad (1)$$

կամ

$$x_i = a + b_{x/y} y_i, \quad (2)$$

որտեղ $x_i = \lg N_i$, $y_i = \lg \sigma_i$, իսկ z_p -ն Լապլասի նորմավորված ֆունկցիայի քվանտիլն է՝ ըստ $P(N)$ չքայքայման հավանականության տրված մակարդակի:

Քվանտիլային հոգնածային կորերի ընտանիքի հավասարման վերջնական տեսքն է՝

$$\lg N = C - m \lg \sigma, \quad (3)$$

$$\text{որտեղ } a = C = \overline{b_{x/y} \bar{y}} + (\bar{x} + z_p s_{x_r}), \quad b_{x/y} = m = \overline{b_{x/y}} + z_p s_{b/x},$$

$$\bar{x} = \overline{\lg N}, \quad \bar{y} = \overline{\lg \sigma}, \quad s_x = s_{\lg N}, \quad s_y = s_{\lg \sigma}, \quad \overline{b_{x/y}} = \overline{m} = r s_{\lg N} / s_{\lg \sigma},$$

$$r = m_{1/1} / s_{\lg N} s_{\lg \sigma}, \quad s_{b/x} = s_m = s_{\lg N} \sqrt{(n-2)(n-1)} / s_{\lg \sigma},$$

$$s_{x_r} = s_{\lg N_r} = s_{\lg N} \sqrt{(n-2)(1-r^2)} / (n-1),$$

$$\text{հետևաբար՝ } C = (\overline{\lg N} + \overline{m} \overline{\lg \sigma}) + z_p (s_{\lg N_r} + s_m \overline{\lg \sigma}) = \overline{C} + z_p s_C :$$

Դիտարկենք հոգնածային քայքայման գործընթացի ինտեգրալային բնութագրեր համարվող \overline{C} և \overline{m} պարամետրերի փոփոխությունը, որոնք համալիր կարգով հաշվի են առնում (1)-(3)-ի բոլոր պարամետրերի փոփոխությունները τ -ի ազդեցությունից, և, ի վերջո, բազմացիկլային հոգնածության տիրույթում ձևավորում են σ_{RN} դիմացկունության սահմանների և N ցիկլային երկարակեցությունների արժեքները:

Հարթ փորձանմուշների համար $\tau/\sigma = 0 \dots 1$ -ում \overline{m} -ի և \overline{C} -ի նվազմանը զուգահեռ նրանց հավանական արժեքները, որոնք բնութագրվում են հոգնածային կորի m թեքության ցուցչի s_m միջին քառակուսային շեղումով և միջնարժեքային հոգնածային կորի շուրջ ցիկլային երկարակեցությունների՝ $s_{\lg N_r}$ անհատական ցրման չափով, նույնպես նվազում են: Համեմատական փորձարկումների ժամանակ դա հանգեցնում է $\lg N$ -ի ցրման դաշտերի նեղացման: $\tau/\sigma = 1 \dots 1,65$ -ի դեպքում s_m -ը և $s_{\lg N_r}$ -ն աճում են, իսկ $\lg N$ -ի ցրման դաշտը կրկին լայնանում է, ինչը բացատրվում է τ -ի ազդեցությունից առաջացած լարվածային վիճակի անհամասեռությամբ:

Կլորացումներով փորձանմուշների համար τ/σ -ի աճին զուգընթաց \overline{m} -ը և s_m -ը նվազում են, իսկ $s_{\lg N_r}$ -ը համարյա անփոփոխ է մնում, որի պատճառով էլ $\lg N$ -ի ցրման դաշտի թեքությունն աճում է (հաստատուն ցրման դեպքում):

Տեղակայիչ պտուտակի փոսիկով փորձանմուշների τ/σ -ի աճին զուգընթաց մեծանում է \overline{m} -ը, իսկ նրա ցրումը համարյա անփոփոխ է մնում, քանի որ s_m -ը աննշան է փոփոխվում: $\tau/\sigma = 0 \dots 0,6$ -ում $\lg N$ -ի արժեքները փոքրանում են, նրանց ցրման դաշտը նեղանում է, իսկ $\tau/\sigma = 0,6 \dots 1,2$ -ի դեպքում $s_{\lg N_r}$ -ը

մեծանում է: Դա հետևանք է անհամասեռ լարվածային վիճակ ստեղծող լարումների կուտակիչի առկայության:

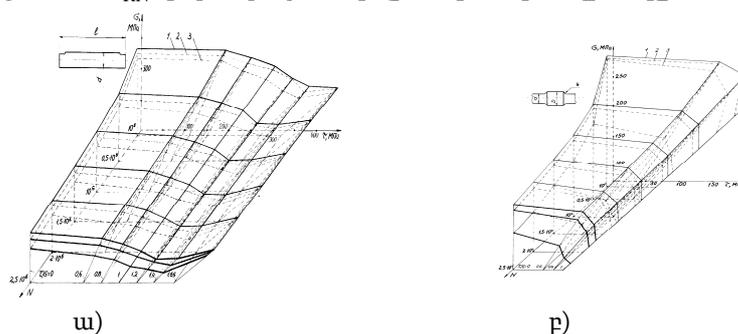
Խուլ անցքով փորձանմուշներում $\tau/\sigma = 0...0,6$ -ում \bar{m} -ը և $\lg N$ -ի ցրման դաշտերն աճում են: $\tau/\sigma > 0,6$ դեպքում τ -ի աճին զուգընթաց s_m -ը, $s_{\lg N_r}$ -ը, \bar{m} -ը և $\lg N$ -ը փոքրանում են, այսինքն՝ ցրման դաշտերը նեղանում են և աճում է լարումների կուտակիչի ազդեցության աստիճանը:

Միջանցիկ անցքով փորձանմուշներում $\tau/\sigma = 0...1$ -ի աճին զուգընթաց \bar{m} -ը և s_m -ը փոքրանում են, ինչը հանգեցնում է m -ի հավանական արժեքների տիրույթների նեղացմանը: $\tau/\sigma = 0...0,8$ -ի համար $s_{\lg N_r}$ -ն անփոփոխ է մնում և $\lg N$ -ի ցրում չի նկատվում: $\tau/\sigma = 1$ դեպքում $s_{\lg N_r}$ -ը զգալիորեն փոքր է, և դա լարվածային վիճակի ուժեղացման հետ կապված է τ -ի աճով:

Դիտարկված վիճակագրական ցուցանիշների փոփոխությամբ էլ բնորոշվում է (3)- ով հաշվարկված σ_{RN} -ի արժեքների և դրանցով կառուցված սահմանային լարումների մակերևույթների փոփոխականությունը բազմացիկլային հոգնածության տիրույթում:

Հարթ փորձանմուշներ: Սահմանային լարումների մակերևույթների ընտանիքը (նկ.1ա) ցուցադրում է τ -ի ազդեցության որակական կողմը, որը միաժամանակ ազդող հետևյալ երկու գործընթացների՝ τ -ից մակերևութային շերտերի լարվածության ընդհանուր ուժգնացման (I) և առաձգական պլաստիկ ոլորումից առաջացած ամրացման (II) գումարային արդյունքն է [3,4]:

Բազմացիկլային հոգնածության տիրույթում դիտվում են σ_{RN} -ի փոփոխման ընդհանուր միտումներ՝ $\tau/\sigma = 0...0,6$ -ի դեպքում I և II գործընթացները միմյանց չեզոքացնում են, որի շնորհիվ σ_{RN} -ը աննշան է փոխվում ((5%): $\tau/\sigma = 0,6...1,2$ -ում I գործընթացի ազդեցությունը գերազանցում է II-ին, որի հետևանքով σ_{RN} -ը նվազում է 20...25% -ով: $\tau/\sigma = 1,2...1,65$ -ի դեպքում առաձգապլաստիկ ոլորումն առաջացնում է σ_{RN} -ի դանդաղ աճ մինչև նախնական վիճակը՝ 90...93%-ով:



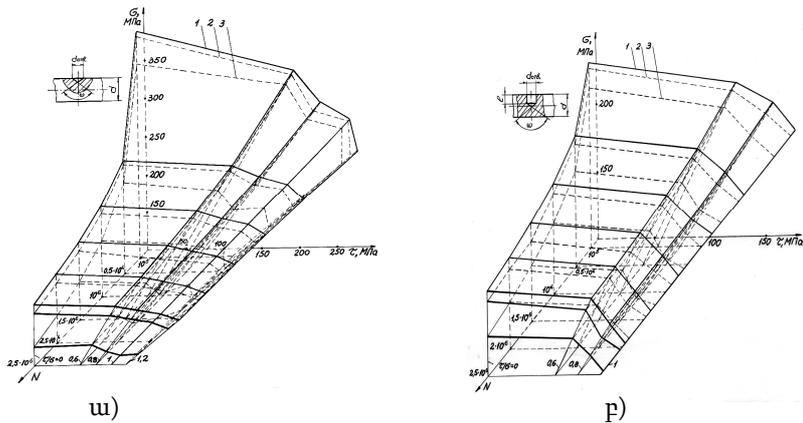
Նկ.1. Հարթ (ա) և կլորացումով (բ) փորձանմուշների սահմանային լարումների մակերևույթները. 1,2 և 3 մակերևույթները համապատասխանում են $P(N) = 0,1, 0,5$ և $0,999$ հավանականության մակարդակներին

Բարձր գերլարումների տիրույթում ($N \approx 10^5$) σ_{RN} -ի նման փոփոխումն արտահայտվում է առավել չափով, քան $N = 2,5 \cdot 10^6$ -ում: σ_{RN} -ի արժեքների վերականգնումը, որը հետևանք է փորձանմուշի ողջ երկարությամբ նրա մակերևութային շերտերում առաձգապլաստիկ ոլորումից ընթացող ամրացմանը, միջին ածխածնային պողպատներից պատրաստված լիսեռների համար $\tau_{\text{լի}} \approx \tau_{\text{B}} = 400 \dots 420$ ՄՊա լարումների դեպքում հասնում է իր առավելագույն աստիճանին, որից հետո տեղի է ունենում լիսեռի կրողանակության լրիվ կորուստ և հոգնածային քայքայում: Ցիկլային երկարակեցությունների դիտարկված միջակայքերում σ_{RN} -ի էական ցրում չի դիտվում:

Կլորացումներով փորձանմուշներ: $\tau/\sigma = 0 \dots 0,6$ միջակայքում շոշափող լարումների ազդեցությունն աննշան է (նկ.1բ) [1]: Ընդհանուր լարվածության ուժեղացման և մակերևութային շերտերի առաձգապլաստիկ ոլորման գործընթացները փոխադարձ հավասարակշռվում են, և լարումների կուտակման առկայությունից σ_{RN} -ը մոտ 10 %-ով նվազում է, ինչը թույլ արտահայտված գծային բնույթ է կրում:

Սահմանային լարումների մակերևութային փոփոխման բնույթի հիմնական տարբերությունը (նկ.1 ա և բ) դիտվում է $\tau/\sigma > 0,6$ դեպքում. այստեղ գերակշռում է I գործընթացը, ինչը հանգեցնում է դիմացկունության սահմանների նվազմանը: Զգալի τ -երը սկսում են գործել միայն լարումների կուտակիչների տեղադրման նեղ տեղամասում և փորձանմուշի հիմնական ծավալներն ընդգրկված չեն մակերևութային շերտերի ամրացման գործընթացում: II գործընթացը խիստ տեղայնացված է, ինչի պատճառով որոշիչ է դառնում մակերևութային շերտերի լարվածային աճի գործոնը: $\tau/\sigma > 0,8$ -ից հետո տեղի ունի σ_{RN} -ի կտրուկ անկում, և սահմանային լարումների մակերևութային փոփոխման բնույթը միօրինակ է դառնում: ($N \approx 10^5$) -ի դեպքում τ -ի անգամ աննշան աճն առաջացնում է ամրության զգալի կորուստ, և մակերևութային թեքությունը կտրուկ աճում է: Մակերևութային փոփոխման հիմնական առանձնահատկությունը ցածր գերլարումների դեպքում σ_{RN} -ի ցրման չափի աճն է:

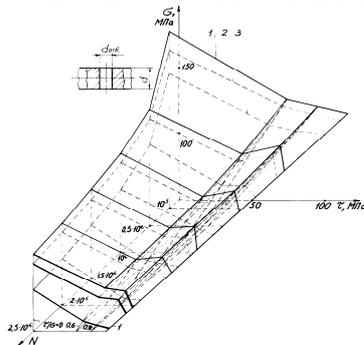
Տեղակայիչ պտուտակի փոսիկով փորձանմուշներ: Սահմանային լարումների մակերևութային (նկ.2ա) փոփոխվում են նույն օրինաչափություններով, որոնք բնորոշ են նախորդ դեպքին: $\tau/\sigma = 0 \dots 0,6$ միջակայքում σ_{RN} -ը միալար և թույլ արտահայտված գրադիենտով նվազում է: Էական փոփոխությունն նկատվում է $N = 2,5 \cdot 10^5$ -ում, երբ σ_{RN} -ի փոփոխման օրենքը բավականին մոտ է էլիպսականին: $\tau/\sigma = 0,8 \dots 1,2$ -ում σ_{RN} -ի գրադիենտն աճում է նույնիսկ ցածր գերլարումների դեպքում: Նրանց ցրվածքը մեծանում է $N = 1 \dots 2,5 \cdot 10^6$ -ում՝ արժեքների հետագա կտրուկ նվազմամբ: $\tau/\sigma = 0,6 \dots 1$ -ում նկատվում է նաև մակերևութային սապատանման փոփոխություն:



Նկ.2. Նույնը՝ տեղակայիչ պտուտակի փոսիկով (ա) և խուլ անցքով (բ) փորձանմուշների համար

Խուլ անցքով փորձանմուշներ: Լարումների կուտակման աստիճանի ուժեղացմանը զուգընթաց ($\alpha_\sigma = 3,18$) սահմանային լարումների մակերևույթի ձևը փոփոխվում է (նկ.2բ): Եթե $\tau/\sigma = 0 \dots 0,6$ միջակայքում σ_{RN} -ի փոփոխությունն աննշան է, ապա բարձր τ -ի գոտում ($\tau/\sigma > 0,6$) դիտվում է σ_{RN} -ի կտրուկ նվազում և այն մոտենում է էլիպսական օրենքին: Զգալի է նաև σ_{RN} -ի ցրվածքը:

Միջանցիկ անցքով փորձանմուշներ: Դիտարկված լարումների կուտակիչներից սա առավել սուրն է ($\alpha_\sigma = 3,55$), ինչն էլ էական ազդեցություն է թողնում դիմացկունության սահմանների արժեքների, ինչպես նաև սահմանային լարումների մակերևույթների ձևի և փոփոխման բնույթի վրա (նկ.3), այդ պատճառով էլ հոգնածային դիմադրության բոլոր ցուցանիշները նվազագույնն են:



Նկ. 3. Նույնը՝ միջանցիկ անցքով փորձանմուշների համար

$\tau/\sigma = 0 \dots 0,6$ միջակայքում և N -ի բոլոր արժեքների դեպքում σ_{RN} -ը կտրուկ նվազում է: $\tau/\sigma = 0,6 \dots 1$ -ում ամրության աննշան վերականգնումից հետո σ_{RN} -ը միանգամից նվազում են: $N = 2,5 \cdot 10^6$ - ի դեպքում այդ նվազումն առկա է նույնիսկ աննշան շոշափող լարումների վերադրման ժամանակ, այսինքն՝ գերլարումների ողջ տիրույթում σ_{RN} -ի փոփոխումը զգալի է և գծային: Նույն ձևով էլ փոխվում են σ_{RN} -ի ցրման չափերը: τ -ի ազդեցությունից գերակայում է միայն

փորձանմուշների մակերևութային շերտերի լարվածության աճի գործոնը, իսկ ամրության գործընթացները գրեթե բացակայում են:

Շնչահանուր դրույթներ: Տարբեր կառուցվածքների փորձանմուշների հոգնածային փորձարկումների արդյունքները բացահայտում են փոփոխական բարդ լարվածային վիճակում ($\pm\sigma, \tau$) ամրության և երկարակեցության ձևավորման ներքին մեխանիզմը և վկայում են լիսեռների հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների վրա τ -ի և լարումների կուտակման երևույթի ազդեցության երկակի բնույթի մասին:

Առաջին դեպքում շոշափող լարումների աճը σ_{RN} -ի ոչ միալար փոփոխություն է առաջացնում և I գործընթացի ազդեցությունը գերակշռում է II -ին: Վերջինիս ամրացնող գործոնը ցածր է հայտնի ամրացնող տեխնոլոգիաների կիրառման արդյունքից և այն զգալի է դառնում միայն բարձր գերլարումների (երբ $\tau/\sigma = \text{const}$ ռեժիմով գերլարումների տիրույթում ազդում են զգալի շոշափող լարումներ) կամ $\tau/\sigma = 1,40...1,65$ -ի դեպքերում: Հարթ փորձանմուշների համար I և II գործընթացների համատեղ ազդեցությունը $\tau/\sigma = 0...1,65$ միջակայքում հանգեցնում է դիմացկունության սահմանների նախնական միալար նվազման և հետագա կտրուկ աճի՝ $\tau/\sigma = 1,65$ -ի դեպքում հասնելով համարյա մինչև ելակետային արժեքներ:

Երկրորդ դեպքում լարումների կուտակման առկայությունը հանգեցնում է գործող կուտակիչի սահմաններում լարվածության աճի գործընթացի տեղայնացմանը և հոգնածային քայքայման օջախի կենտրոնացմանը: Այս պայմաններում լիսեռի երկարությամբ լարվածային վիճակի անհամաչափությունն ի չիք է դարձնում II գործընթացի ամրացնող ազդեցությունը, այդ պատճառով էլ դիտարկված լարումների կուտակիչների բոլոր տեսակների դեպքում σ_{RN} -ի վերականգնում չի դիտվում, իսկ նվազումն էական է: Այս գործընթացն ուժգնանում է առավել սուր լարումների կուտակիչների դեպքում: Դիտվում են նաև որակական փոփոխություններ. լարումների մակարդակից և ցիկլային երկարակեցությունից կախված՝ որոշ $\tau_{\text{կրիտիկ}}$ կրիտիկական արժեքին հասնելուն պես տեղի է ունենում դիմացկունության սահմանի կտրուկ նվազում, և լիսեռի կրողունակությունն ամբողջությամբ սպառվում է:

Լիսեռների կառուցվածքային ձևերից և τ -ից կախված՝ $N = 10^5...10^7$ տիրույթում դիմացկունության սահմանների փոփոխման ոչ նույնական բնույթը, ինչպես նաև տվյալների բնական ցրումից σ_{RN} -ի փոփոխակումը ամրության հայտնի տեսություններում նկարագրված չեն, և այդ տեսությունների կիրառումը ամրության ճարտարագիտական հաշվարկներում սխալանքների է հանգեցնում:

Եթե ամրության հաշվարկների համար գոյություն ունեն մոտավոր մեթոդներ [1], ապա ցիկլային երկարակեցության ճշգրտված հաշվարկների համար այդպիսիք ընդհանրապես չկան, քանի որ որոշված չէ ցիկլային երկարակեցությունների և կառուցվածքային, տեխնոլոգիական ու շահագործական գործոններից կապի բնույթը: Բացակայում է նաև երկարակեցությունների հավանական գնահատումը, ինչը դժվարացնում է վնասված մեքենամասերի երաշխիքային, վերանորոգման և փոխարինման հիմնավորված ժամկետների նշանակումը կամ ծառայության

տրված ժամկետներում կառուցվածքի նվազագույն զանգվածի ապահովումը: Նշված միջոցառումները կարևոր նշանակություն ունեն մեքենայի կառուցվածքի լավարկման համար, որոնք էլ ենթադրում են դիտարկվող փոփոխական բարդ բեռնվածության դեպքում հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների հանգամանալից հետազոտություն և նոր հաշվարկային մեթոդի առաջացում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Исаханян К.Ц.** Вероятностная оценка сопротивления усталости гладких и ступенчатых валов: Дис. ... канд. техн. наук. - Ереван, 2003. - 146 с.
2. **Стакян М.Г.** Программное обеспечение расчетов сопротивления усталости деталей, работающих на воздухе и в коррозионных средах //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1997.- Т.50, № 1. - С. 3-10.
3. **Олейник Н.В., Стакян М.Г., Оганисян Л.Г.** Вероятностная оценка параметров режима нагружения валов //Надежность и долговечность машин и сооружений: Межвед. сб. науч. тр. - Киев: Наук. думка, 1989.- Вып.16.- С. 46-55.
4. **Իսախանյան Կ., Մանուկյան Մ.** Լիսեռների սահմանային դիագրամները փոփոխական բարդ բեռնվածության դեպքում // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2002. - Հ.1. - Էջ 216-218:

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 02.09.2003:

Մ.Գ. ՏԱԿՅԱՆ, Կ.Շ. ԻՍԱԽԱՆՅԱՆ ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ГЛАДКИХ И СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Сообщение 1. Поверхности предельных напряжений гладких валов и с концентраторами напряжений конструктивного и технологического назначения

Рассмотрены результаты испытаний на усталость гладких и надрезанных образцов из стали 45 при переменном сложном нагружении $(T, \pm M)$. Отношение касательных и нормальных напряжений внутри каждой группы испытаний оставалось постоянным. Для каждого случая получены поверхности предельных напряжений. Показано, что изменение пределов выносливости является следствием одновременного протекания двух процессов, вызванных действием наложенных статических касательных напряжений. Предлагается новый расчетный метод для вероятностной оценки показателей сопротивления усталости валов при данном сложном нагружении.

M.G.STAKYAN, K.TS. ISSAKHANYAN PROBABILITY ASSESSMENT OF SMOOTH AND STEPPED SHAFT FATIGUE RESISTANCE

Message 1. Limited stress surfaces of smooth shafts and with constructive and technological purpose stress concentrators

Fatigue test results of smooth and cut steel 45 patterns with variable complex loading $(T, \pm M)$ are considered. The tangent and normal stress relationship inside every group of tests is constant. For each case the limited stress surfaces are obtained. It is shown that tolerance limit change is a consequence of simultaneous flow of two processes caused by superimposed static tangents effects. A new design method for probability assessment of shaft fatigue resistance factors in the complex loading is proposed.

В. А. АВАКЯН, К. С. БАБАЯН, В. С. МКРТЧЯН

СПЕКТРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Разработана модель формообразования поверхности при торцевом фрезеровании, связывающая, с одной стороны, спектральные характеристики относительных колебаний шпиндельной головки и стола фрезерного станка, а также геометрии инструмента, с другой – спектры профилограмм обработанной детали. Предлагается способ диагностирования дефектов станка и инструмента.

Ключевые слова: диагностика станков, спектр колебаний, функция профилограммы, преобразование Фурье.

В процессе обработки резанием на детали формируются микро- и макрогеометрические отклонения профиля, трансформирующие динамику станка, процесса резания и особенности геометрии инструмента. Традиционно эти отклонения в станкостроении измеряют профилометрами, их графические изображения (профилограммы) представляют одномерные функции отклонения реальных поверхностей от базовых в плоскости измерения. Круглограмма является разновидностью профилограммы, когда базовой поверхностью является цилиндр, а плоскость измерения перпендикулярна оси вращения детали.

Первые исследования, заложившие основы диагностики станков по параметрам неровностей обработанных деталей, показали, что профилограммы и круглограммы по своему информационному содержанию, вероятно, уступают лишь колебаниям, фактически в них закодированным. Однако уже при попытке аппроксимации профилограмм и круглограмм корреляционными функциями (1,2) стало ясно, что на основе чисто статистических подходов задачу диагностики не решить. Очевидна необходимость исследования процесса формообразования с учетом стохастической природы явления.

При обработке точением микрогеометрические отклонения детали от идеальной формы отражают специфические процессы данного способа обработки и зависят от колебаний, сопровождающих резание. Для случая моногармонических колебаний между деталью и инструментом в работах (3,4) на основе тригонометрических выкладок были получены зависимости частоты колебаний при обработке, длины волны на профилограмме и числа гранности круглограммы. Однако реальный процесс резания далеко не чисто моногармонический, и, как показывают корреляционные функции профилограмм и круглограмм (1,2), в них содержатся как периодические, так и случайные составляющие.

Наиболее детально, с точки зрения требований диагностики, процесс формообразования при точении раскрыт в (5,6), где на статистические характеристики колебаний при резании не накладываются ограничения. В результате получены зависимости спектров колебаний, профилограмм и круглограмм, позволяющие

проводить диагностические процедуры с максимально полной расшифровкой информации, закодированной в профилограммах и круглограммах.

В настоящей работе рассмотрены особенности формообразования поверхности при торцевом фрезеровании. Вместе с тем сохранена преемственность в подходах с работой (5), что позволяет сделать еще один шаг на пути создания методологии диагностирования металлорежущих станков и инструментов по характеристикам обработанных поверхностей.

Рассмотрим процесс формообразования поверхности детали при фрезеровании торцевой фрезой с N резцами одностипного профиля, вращающейся с периодом T_0 (рис.1).

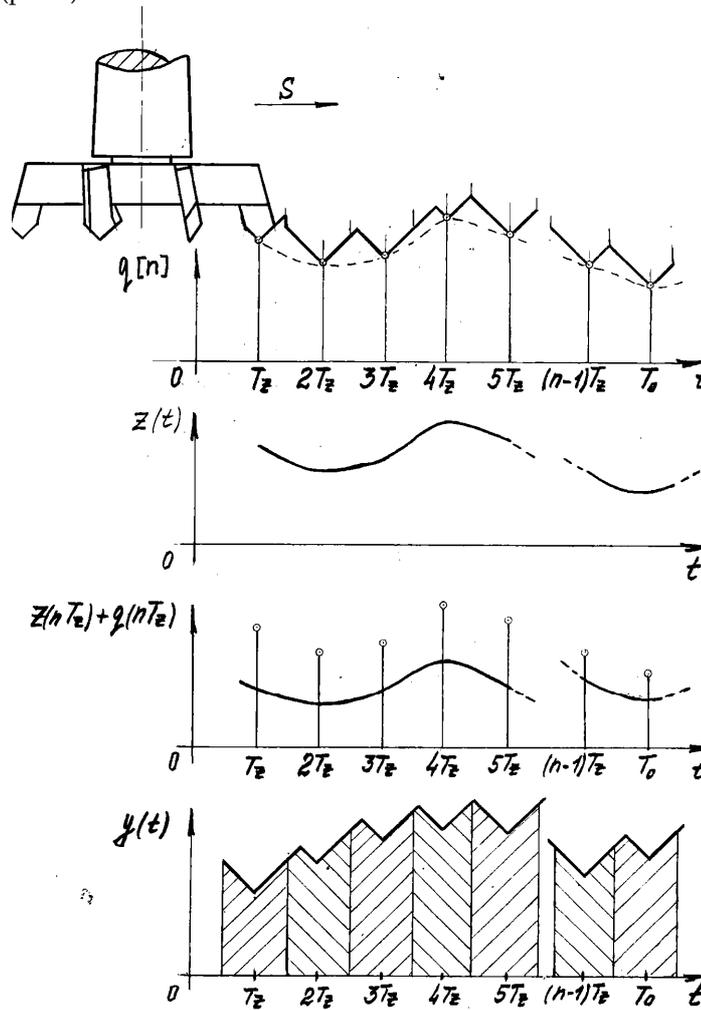


Рис.1

При этом резцы фрезы пересекают плоскость, образованную осью вращения фрезы и вектором скорости подачи S с периодом $T_z = T_0 / N$. В процессе резания погрешности (дефекты) инструмента, которые представлены решетчатой функцией

$q[n]$, суммируясь с относительными колебаниями $Z(t)$ фрезы и детали (шпиндельной головки и стола), формируют гребенчатую поверхность детали $y(t)=y(x/S)$, где x – координата перемещения оси фрезы на базовой плоскости детали.

Решетчатая функция $q[n]$ описывает дефекты резцов фрезы или погрешности их установки относительно плоскости, перпендикулярной оси вращения при резании. В частности, торцевое биение фрезы выражается функцией $q[n]=q_0\sin[2\pi n/N]$, повреждение (например, износ) i -го резца- $q [n] =q_0\delta [n-i]$ и т.п., где q_0 – величина погрешности (дефекта), а $\delta [n-i]$ – смещенная на i дискрет единичная решетка.

Для определенности будем считать, что при профилометрировании ось чувствительности измерительной головки профилометра повторяет траекторию оси шпиндельной головки, а радиус закругления самой измерительной головки достаточно мал, чтобы не исказить (сглаживать) реальный профиль поверхности детали $y(x)$.

Основываясь на описанном механизме формообразования поверхности, выразим функцию $y(t)$ в форме свертки двух функций: дискретной, представляющей сумму $Z(nT_z) + q(nT_z)$ в точках nT_z , и непрерывной $\varphi(t)$, выражающей процесс взаимодействия (резания) резца и поверхности детали, которую условно назовем функцией формирователя поверхности. Эту свертку представим в виде амплитудно-импульсной модуляции [7] :

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \varphi(t) \otimes \{ [z(nT_z) + q(nT_z)] \delta(t - nT_z) \}, \quad (1)$$

где $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака; \otimes - символ операции свертки.

Применив преобразование Фурье к обеим частям уравнения (1) в форме

оператора $Y(f) = \mathfrak{F}\{y(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \exp(-j2\pi ft) dt$, получим

$$Y(f) = \Phi(f) \mathfrak{F}\{ [z(t) + q(t)] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_0) \}, \quad (2)$$

где $\Phi(f) = \mathfrak{F}\{\varphi(t) / T_z\}$ - фильтр формирователя поверхности; $q(t)$ – непрерывный аналог решетчатой функции $q[n]$.

Введем в рассмотрение спектр колебаний $z(f) = \mathfrak{F}\{z(t)\}$ и спектр погрешности инструмента $Q(f) = \mathfrak{F}\{q(t)\}$.

Используя введенные характеристики и опуская промежуточные выкладки, получим выражение (2) в окончательном виде:

$$Y(f) = \Phi(f) \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} (f - kf_z) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q(f - kf_z) \right], \quad (3)$$

где $f_z = 1/T_z$ – частота мелькания резцов.

Рассмотрим подробно формулу (3) спектра профилограммы. Она состоит из двух компонент: первая отражает аномалии станка, вторая – дефекты инструмента.

Проанализируем их в отдельности. Спектр погрешностей станка в профилограмме неровностей при торцевом фрезеровании образуется циклическим наложением спектра относительных колебаний $z(f)$ с шагом по частоте, равным частоте мелькания резцов фрезы при обработке (эффект стробоскопа). При этом спектр профилограммы ограничен полосой пропускания f_{Δ} фильтра $\Phi(f)$.

Очевидно, что наличие в спектрах колебаний $z(f)$ составляющей (дефекта) на частоте f_i приводит к появлению в спектре профилограммы простых или маскированных составляющих на частотах $|f_i - kf_z|$, не превышающих f_{Δ} .

В отличие от этой компоненты спектр погрешности инструмента может проявляться в спектре профилограммы лишь на частотах, кратных частоте вращения фрезы при обработке $f_0 = f_z/N$. Причиной этому является периодичность функции $q(t)$. В простейшем случае при наличии биения фрезы в спектре профилограммы присутствует лишь составляющая на частоте f_0 , т.к. всегда можно подобрать такую скорость подачи, чтобы f_{Δ} не превышала половины f_z .

В общем случае для разделения диагностических признаков дефектов станка и инструмента (фрезы) можно предложить способ оптимальной гребенчатой фильтрации (рис.2).

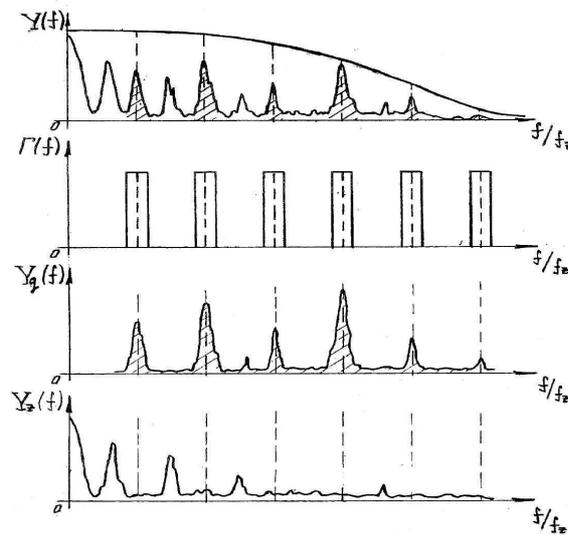


Рис.2

Полученную при измерении функцию профилограммы подвергают спектральному анализу. Затем с помощью гребенчатого фильтра $G(f)$ выделяют составляющую спектра $Y_q(f)$, содержащую спектральные признаки дефектов инструмента. После этого из полного спектра профилограммы $Y(f)$ вычитывают спектр $Y_q(f)$ и получают составляющую спектра $Y_z(f)$, содержащую спектральные признаки дефектов станка.

Предложенный способ разделения признаков является оптимальным, но не абсолютным, т.к. он не дифференцирует дефекты станка, проявляемые на частоте вращения шпинделя и ее гармониках. Тем не менее, используя предложенную

методику разделения, можно, в частности, обратным преобразованием Фурье по спектру $Y_q(f)$ воссоздать функцию погрешности фрезы $q[n]$.

Таким образом, предложенная модель формообразования при торцевом фрезеровании позволяет разделить диагностические признаки дефектов станка и инструмента и расширить методологические возможности диагностирования станков по параметрам неровностей обработанных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Витенберг Ю. Р.** Оценка шероховатости поверхности с помощью корреляционных функций // Вестник машиностроения. –1969.-№1.-С.55-57.
2. **Витенберг Ю. Р.** Оценка волнистости поверхности с помощью корреляционных функций // Вестник машиностроения.-1971.-№8.-С.58-60.
3. **Bahman W.** Der Einflub einer harmonischen Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug auf die Oberflächengestalt des Werkstückes beim Langsdrehen // Maschinenbautechnik.-1961.- BL.10,5.- S.183-190.
4. **Bertold H.** Dinamische Abnahmebedingungen bei Drehmaschinen // Maschinenbautechnik.-1962.- BL.11, №4.- S.176-181.
5. **Авакян В.А., Бабаян К.С., Мкртчян В.С.** Стохастическая модель формообразования микрогеометрии обработанных поверхностей при точении // Изв.НАН РА.Сер.ТН.-Ереван, 1995. – Т. 48, №1.
6. **Мкртчян В.С.** Разработка метода диагностирования токарных станков по информационным признакам неровностей обработанной поверхности: Автореферат дис.... канд. техн.наук.- Ереван,1996.- 16 с.
7. **Стейн С., Джонс Дж.** Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений.-М.: Связь, 1971. – 376 с.

АОЗТ «Интерстанок» РА. Материал поступил в редакцию 25.02.2002.

Վ.Ա. ԱՎԱԳՅԱՆ, Կ.Ս.ԲԱԲԱՅԱՆ, Վ.Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ ՁԵՎԱՎՈՐՎՈՂ ՄԱԿԵՐԵՍԻ ՍՊԵԿՏՐԱԼ ՄՈՂԵԼԸ ՃԱԿԱՏԱՅԻՆ ՖՐԵԶԵՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՈՒՄ

Մշակվել է մաթեմատիկական մոդել, որը նկարագրում է ճակատային ֆրեզերման գործընթացում ձևավորվող դետալի մակերեսը: Մոդելը միմյանց կապում է, մի կողմից՝ սեղանի նկատմամբ ֆրեզող հաստոցի իլի հարաբերական տատանումների և գործիքի երկրաչափական անճշտությունների, իսկ մյուս կողմից՝ մշակված դետալի խորդուրորդությունների պրոֆիլի սպեկտրային բնութագրերը: Մոդելավորման ընթացքում ստացված ֆունկցիոնալ կապերը հնարավոր դարձրին առաջարկելու հաստոցի և գործիքի արատորոշման եղանակ:

V. A. AVAGYAN, K. S. BABAYAN, V. S. MKRTCHYAN SPECTRAL MODEL OF SURFACE FORMING IN FACE MILLING

A model face milling surface shaping which connects spectral characteristics of spindle head's relative swings and milling machine bench, as well as the geometry of the tool, on the one side, and the spectra of Talyrond trace of the machined detail, on the other side, is developed. The method of diagnosing the defects of the machine and tools is proposed.

Ս.Գ. ՄԱՍՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ

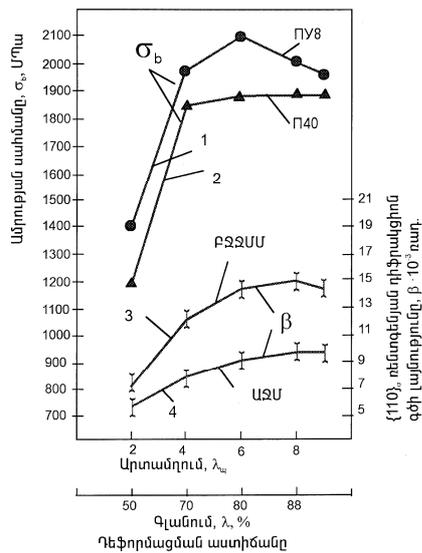
ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ԵՎ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ Ու ԱԾԽԱԾՆԻ ՊԱՐՈՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՌԱԿԱԼՎԱԾ ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾՔՆԵՐԻ ԲԶՄՄ ԱՐԴՅՈՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Հետազոտվել է պողպատե եռակալված նախապատրաստվածքների ԲԶՄՄ ժամանակ ամրացման էֆեկտի կախվածությունը ածխածնի պարունակությունից, դեֆորմացման աստիճանից և ջերմաստիճանից: Սահմանված է, որ փոշեպողպատների ԲԶՄՄ ժամանակ ածխածնի լավարկված պարունակությունը կազմում է 0,6%, մեծանում են դեֆորմացման լավարկված աստիճանի ու ջերմաստիճանի տիրույթները:

Առանցքային բառեր. ջերմամեխանիկական մշակում, դինամիկ պոլիգոնացում, վերաբյուրեղացում, ամրացման էֆեկտ:

Փոշեմետալուրգիայի եղանակով ստացված նախապատրաստվածքների ԲԶՄՄ ժամանակ առանձնապես կարևոր է դեֆորմացման լավարկված աստիճանի որոշումը [1, 2]: Ծակոտկենության առկայությամբ ոչ միայն մեծանում է լավարկված դեֆորմացման աստիճանի տիրույթը, այլև, կախված ծակոտկենության աստիճանից և սկզբնականության մաքրությունից, զգալիորեն փոփոխվում են կոփման և դինամիկ վերաբյուրեղացման փուլերի կինետիկան, ինչպես նաև առաջացած կառուցվածքների ձևաբանությունը:

ԲԶՄՄ ժամանակ աուստենիտի դեֆորմացման աստիճանի ազդեցությունը խտության, մեխանիկական հատկությունների և {110}α ռենտգենյան դիֆրակցիոն գծի լայնության վրա ցույց է տրված նկ. 1-ում:



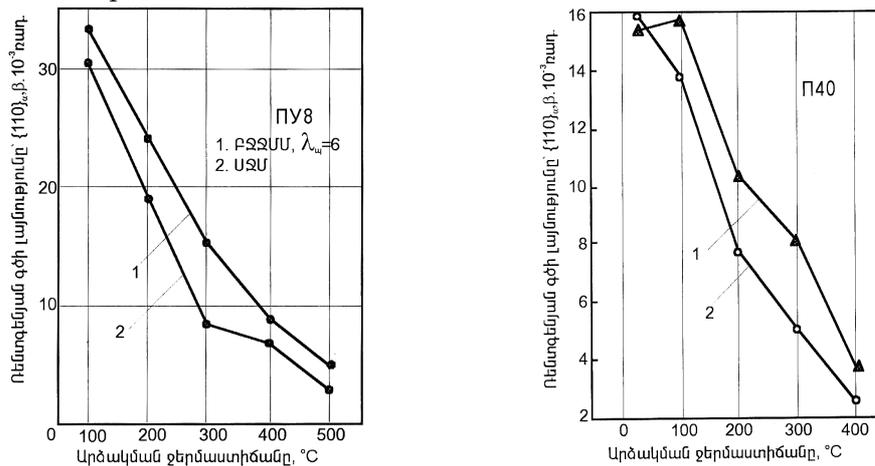
Նկ. 1. ԲԶՄՄ ժամանակ կձ8 և կ40 պողպատների ամրության և {110}α ռենտգենյան դիֆրակցիոն գծի լայնության (β) կախվածությունը աուստենիտի դեֆորմացման աստիճանից: 1- կձ8 ԲԶՄՄ, t_{արձ} = 200°C, 2 - կ40 ԲԶՄՄ, t_{արձ} = 250°C, 3 - կ8 ԲԶՄՄ, t_{արձ} = 300°C, 4 - կ8 ԲԶՄՄ, t_{արձ} = 300°C

Դեֆորմացման աստիճանի ազդեցությունը ԲՋՄՄ եղանակով ամրության բարձրացման արդյունավետության վրա ուսումնասիրվել է դեֆորմացման երկու սխեմաների պայմաններում՝ արտամղման և զլանման: Գլանումն իրագործվել է երկզլոց “ДУО- 210” հաստոնի վրա, 0,23 *ս/վ* արագությամբ: Դեֆորմացման բարձր աստիճանների դեպքում կիրառվել է բազմաստիճանային զլանում: Արտամղումն իրագործվել է 400 *ս* հզորությամբ հիդրավլիկ մամլիչի վրա, մամլման արագությունը՝ 10 *ս/վ*, *h* = 30 *սմ*, նմուշի արտամղման տևողությունը 3 *վ* է:

Ծակոտկեն նախապատրաստվածքների ԲՋՄՄ ժամանակ Ա-ի դեֆորմացման լավարկված պարամետրերի ընտրությունն ապահովում է զարգացած դիսլոկացիոն ենթակառուցվածք, որով և պայմանավորված է բարձր ամրության, բավարար պլաստիկության, մածուցիկության, դիմացկունության սահմանի և հուսալիության համատեղումը: Դեֆորմացման աստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց մեծանում է կոփման աստիճանը (դիսլոկացիաների խտությունը), միաժամանակ ակտիվանում են դինամիկ պոլիգոնացման և վերաբյուրեղացման գործընթացները: Նուրբ դիսլոկացիոն կառուցվածքում տեղի ունեցող փոփոխությունները կարելի է հսկել ռենտգենաստրուկտուր հետազոտությունների օգնությամբ: Տաքացումը զլանման ժամանակ իրագործվել է աղային վաննայում (78%BaCl+22%NaCl), իսկ արտամղման ժամանակ՝ հալված ապակե վաննայում: Լաբորատոր պայմաններում աուստենիտի զլանման և արտամղման եղանակով դեֆորմացմամբ ԲՋՄՄ ժամանակ նմուշների չափերի և ծակոտկենության փոփոխությունները բերված են 1 և 2 աղյուսակներում:

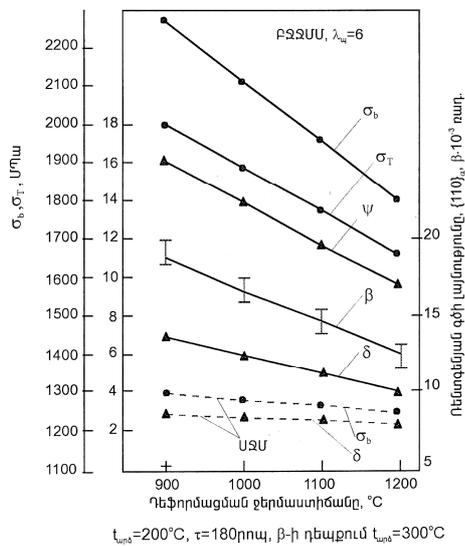
Դեֆորմացված աուստենիտից առաջացած մարտենսիտում դիսլոկացիոն կառուցվածքային արատների բարձր խտությունը (համեմատած սովորական միման դեպքում ստացված մարտենսիտի հետ) պետք է հանգեցնի ռենտգենյան ինտերֆերենցիոն զծերի ճապաղվածության:

Ռենտգենյան {110} α դիֆրակցիոն զծի չափումները, որոնք իրականացվել են ԲՋՄՄ-ից հետո՝ պողպատի կառուցվածքային արատների որակական բնութագրերի ստացման նպատակով, ցույց են տալիս, որ ԲՋՄՄ-ը հանգեցնում է զծի զգալի լայնացման արձակման ջերմաստիճանի հետազոտվող ամբողջ տիրույթում, ընդհուպ մինչև 500 °C (նկ. 2):



Նկ. 2. ԲՋՄՄ-ից հետո կձ8 և կձ40 պողպատների {110} α դեֆրակցիոն զծի լայնության կախվածությունը ածխածնի պարունակությունից և արձակման ջերմաստիճանից

Բարձրջերմաստիճանային ջերմամեխանիկական մշակման ժամանակ ուսումնասիրվել է դեֆորմացման ջերմաստիճանի ազդեցությունը կ60 պողպատի հատկությունների վրա: Դեֆորմացումն իրականացվել է 900, 1000, 1100 և 1200 °C ջերմաստիճաններում, ստացված արդյունքները բերված են նկ. 3-ում: Ինչպես երևում է, արտամղման և զլանման ժամանակ դեֆորմացման ջերմաստիճանի իջեցումը (և մոտեցումը A3-ին) միշտ հանգեցնում է ԲՋՄՄ ժամանակ ամրության և պլաստիկության մեծացման: Անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև այն հանգամանքը, որ առուստենացման ջերմաստիճանի բարձրացումը հանգեցնում է վերաբյուրեղացման գործընթացների ինտենսիվության նվազեցմանը:



Նկ. 3. կ60 պողպատի մեխանիկական հատկությունների և ռենտգենյան {110} α դիֆրակցիոն գծի լայնության կախվածությունը ԲՋՄՄ ժամանակ դեֆորմացման ջերմաստիճանից

Աղյուսակ 1

Չափերի և ծակոտկենության փոփոխությունները գլանման եղանակով ԲՋՄՄ ժամանակ

Եռակլաված նախապատրաստվածքի չափերը, մմ			Սկզբնական ծակոտկենությունը, կօ, %	Դեֆորմացման աստիճ., λ , %	Դեֆորմացման ջերմաստիճանը, t, °C	Ծակոտկենությունը ԲՋՄՄ-ից հետո, Π_1 , %	Գլանվածքի հաստությունը ԲՋՄՄ-ից հետո, hz, %
h_1	b	l					
8	30	70	10	50	820/870*	1...2	4,0
13	30	70	10	70	820/870	0...0,5	4,0
20	30	70	10	80	820/870	0...0,02	4,0
33	30	70	10	88	820/870	0...0,01	4,0

Չափերի և ծակոտկենության փոփոխությունները արտամղման եղանակով ԲՋՄՄ ժամանակ

Եռակլաված եռաշերտ նախապատրաստվածքի չափերը, մմ				Սկզբնական ծակոտկենություն, %	Դեֆորմացման աստիճ., λ%	Արտամղման ջերմաստիճանը, t, °C	Ծակոտկենությունը ԲՋՄՄ-ից հետո, Π ₁ %	Արտամղված եռաշերտ ձողի չափերը, մմ			
D ₁ =D ₄ /λ	D ₂ =D ₅ /λ	D ₃ =D ₆ /λ	l ₀					D ₄	D ₅	D ₆	l=λ l ₀
17	14,5	11,5	30	10	2	820/870	2	12	10	8	60
24	20	16	30	10	4	820/870	0,5...1	12	10	8	120
30,0	25,0	20,0	30	10	6,25	820/870	0...0,2	12	10	8	180
34,0	28,2	22,6	30	10	8	820/870	0	12	10	8	240

Համարիչում կձձ-ի դեֆորմացման ջերմաստիճանն է, հայտարարում՝ Π40-ի:

Ուստի ավելի նպաստակահարմար է աուստենացումն իրականացնել բարձր, իսկ դեֆորմացումը՝ ավելի ցածր ջերմաստիճաններում: Կարբոնիլային կամ ԱՄԻԿՄ մակնիշի մաքուր երկաթից ստացված պողպատների դեպքում ջերմաստիճանի ոչ մեծ չափով (30...50 °C) բարձրացումը A₃-ի նկատմամբ հանգեցնում է աուստենիտի լրիվ հոմոգենացմանը և վերաբյուրեղացման նկատմամբ դեֆորմացման ստրուկտուրայի կայունացմանը:

Բնորոշ է, որ չնայած դեֆորմացման ջերմաստիճանի բարձրացումը ԲՋՄՄ ժամանակ զգալիորեն վատացնում է բոլոր մեխանիկական հատկությունները, սակայն բացարձակ արժեքներով դրանք միշտ մնում են ավելի բարձր, քան սովորական ջերմային մշակման դեպքում, ինչը բացատրվում է ԲՋՄՄ-ից հետո քայքայման ներբյուրեղային բնույթի պահպանումով: Նախապատրաստվածքների ծակոտկենության ոչ մեծ արժեքների դեպքում (10...15%) մեխանիկական հատկությունների զգալի բարձրացում է ապահովվում ԲՋՄՄ ժամանակ λ_պ=4...8 (λ=70...88%) սահմաններում դեֆորմացման աստիճանների կիառման ժամանակ: Դեֆորմացիայի աստիճանի հետագա աճի ժամանակ (հատկապես բարձր ածխածնային պողպատների դեպքում) նկատվում է միկրոճաքերի և մակրոճաքերի (ճեղքերի) առաջացում, ինչի ԲՋՄՄ-ից հետո ինտենսիվությունն աճում է դեֆորմացման արագության մեծացմանը զուգընթաց:

Դեֆորմացման մանրատվածությունը (կոտորակային դեֆորմացիա) ԲՋՄՄ ժամանակ հաճախ կարող է ձևավորել լավարկված ստրուկտուրա, բարձր և, որ շատ կարևոր է, կայուն մեխանիկական հատկություններ: Սակայն կոտորակային դեֆորմացիան արդյունաբերության մեջ հիմնականում կիրառելի է միջին և բարձր լեգիրված պողպատների դեպքում [3]:

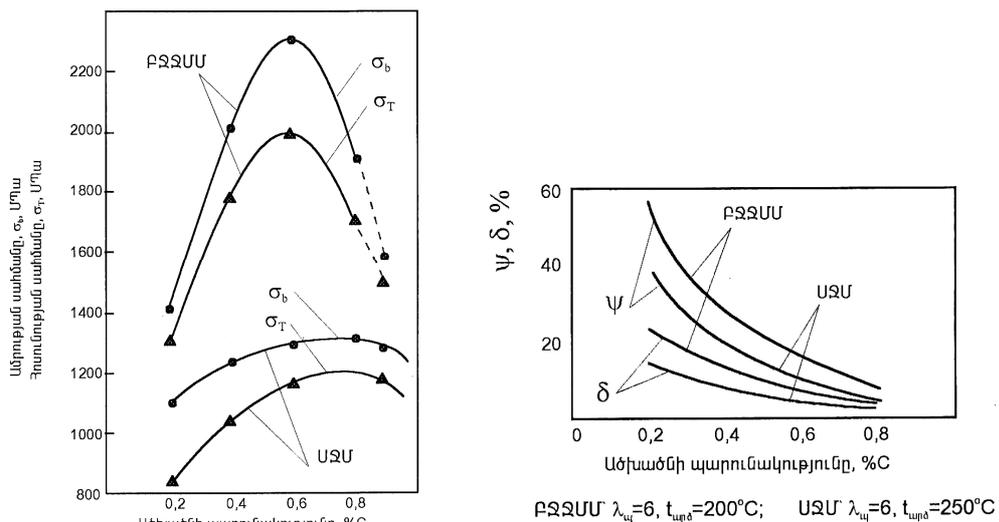
Բարձրջերմաստիճանային դեֆորմացման գործընթացի դանդաղեցումը (կամ մանրատումը) լավագույն պայմաններ է ստեղծում դիսլոկացիաների վերասողքի (դեռևս դեֆորմացման ընթացքում) և բարենպաստ ենթակառուցվածքի ձևավորման համար: Բայց այս դատողությունները հանգեցնում են որոշակի եզրակացության, որ յուրաքանչյուր դեֆորմացման սխեմայի և արագության դեպքում պետք է ճշգրիտ սահմանել դեֆորմացման լավարկված աստիճանը և ջերմաստիճանը, որը կապահովի առավել զարգացած ենթաստրուկտուրա և հատկությունների լավագույն համալիր:

Ինչպես ցույց տվեցին կ60 պողպատի ԲՋՄՄ ռեժիմների ուսումնասիրությունները լավարկված դեֆորմացման աստիճանի, ջերմաստիճանի և արագության

պայմաններում, արդեն 200°C արձակման ջերմաստիճանի դեպքում կարելի է ապահովել մեխանիկական հատկությունների բարձր համալիր՝ $\sigma_b=2250...2300$ ՄՊա, $\sigma_{-1}=1900...2100$ ՄՊա, $\delta = 7...8$ %, $\varphi = 16...20$ %: Ընդհանուր դեպքում ԲՋՄՄ-ից հետո ամրության ավելի բարձր կայունություն ապահովվում է արձակման ժամանակ, քան սովորական միումից հետո (ընդհուպ մինչև 500...600°C):

Այս կայունությունը բացատրվում է դիսլոկացիոն զարգացած ենթակառուցվածքի կայունությամբ, դրանք պատնեշող կարբիդների բարձր դիսպերսությամբ և դիսլոկացիոն սահմաններում ածխածնի կոնդենսացման հետևանքով մարտենսիտի տետրագոնայության նվազեցմամբ:

ԲՋՄՄ-ից հետո ածխածնի ազդեցությունը պողպատի ամրության և պլաստիկության ցուցանիշների վրա (նկ. 4) ցույց տվեց, որ ջերմամեխանիկական մշակումը միշտ ապահովում է ավելի բարձր մեխանիկական հատկություններ, քան սովորական մշակումը, ամրության բարձրացման արդյունավետությունը կախված է ածխածնի պարունակությունից: Լավագույն մեխանիկական հատկությունների համալիր ստացվում է (նկ.4) պողպատ կ60-ի համար 200°C արձակման ջերմաստիճանի դեպքում՝ $\sigma_b=2300$ ՄՊա, $\sigma_T=2000$ ՄՊա, միաժամանակ ապահովվում են բարձր պլաստիկության ցուցանիշներ՝ $\delta=8\%$ և $\varphi=16\%$:



Նկ. 4. ԲՋՄՄ-ից և ՍՋՄ-ից հետո փոշեպողպատների մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը ածխածնի պարունակությունից

Այսպիսով, ծակոտկենության առկայությունն արգելակում է դինամիկ և ստատիկ պոլիզոնացման և վերաբյուրեղացման գործընթացները՝ դրանով լայնացնելով լավարկված դեֆորմացման աստիճանի ($\lambda=30...80\%$ կամ $\lambda_{պ}=4...8$) և ջերմաստիճանի (850...950°C) տիրույթները՝ համեմատած կոմպակտ պողպատների հետ ($\lambda=25...30\%$ և $t=A_3+30...50$): Վերջինս կարևոր գործնական նշանակություն ունի տարբեր դետալների ստացման ժամանակ, ԲՋՄՄ-ից հետո ըստ ծավալի համասեռ հատկություններ ստանալու տեսանկյունից: Դիսլոկացիոն սուբստրուկտուրայի առկայության հետևանքով մարտենսիտի երկֆազ տրոհումն ակտիվանում է և օպտիմալ ածխածնի

սարունակությունը 0,4%-ից (սովորական ջերմային մշակման դեպքում) աճում է մինչև 0,6% (ԲՁՄՄ ժամանակ):

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Бернштейн М.Л.** Термомеханическая обработка металлов и сплавов: В двух томах.-М.: Металлургия, 1968.-1172 с.
2. **Ковальченко М.С.** Технологические основы горячей обработки пористых материалов давлением.-Киев: Наукова думка, 1980.-240 с.
3. **Гольдштейн М.И.** и др. Металлофизика высокопрочных сплавов.-М.: Металлургия, 1986.-310 с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 04.11.2003:

С.Г. МАМЯН, А.В. АНДРИАСЯН

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВТМО СПЕЧЕННЫХ ЗАГОТОВОК

Исследована зависимость эффекта ВТМО стальных спеченных заготовок от содержания углерода, степени и температуры деформации. Установлено, что оптимальное содержание углерода при ВТМО порошковых сталей составляет 0,6%. При этом расширяется область оптимальных степеней и температур деформации.

S.G. MAMYAN, A.V. ANDRIASSYAN

THE INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF HTTMT DEPENDING ON THE DEGREE AND TEMPERATURE OF THE DEFORMATION AND CONTENTS OF CARBON IN THE SINTERED BARS

Efficiency dependence of steel sintered bars HTTMT on carbon contents, deformation degree and temperature is studied. It has been established that during HTTMT of powder steels the optimal contents of carbon is 0,6% and the space of optimal deformation degree and temperature is expanded.

А.Н. КАРАПЕТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛЕНОК ПРИ ТРЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЦЕПНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Исследованы поверхностные пленки, образующиеся на сопрягаемом контртеле при трении композиционных самосмазывающихся материалов на основе гетероцепных полимеров, наполненных обычными и модифицированными армянскими минеральными наполнителями, такими как травертин, мрамор, бентонит и туф. Показано, что адгезионная прочность пленок, образованных при установившемся режиме трения модифицированных фторалканом композиций, в 1,2...1,5 раза больше, чем у исходных материалов.

Ключевые слова: полимер, минеральный наполнитель, фрикционный перенос, толщина пленки, адгезионная прочность.

Известно, что при трении антифрикционных самосмазывающихся полимерных материалов процессы трения и изнашивания определяются преимущественно явлением фрикционного переноса (ФП), что является важным аспектом адгезионного механизма изнашивания полимеров и играет существенную роль в механизме самосмазывания при их трении. В процессе формирования пленки ФП на контактирующих поверхностях происходят различные физико-химические превращения как полимерного связующего, так и наполнителей, приводящие к изменениям их структуры и свойств, что оказывает значительное влияние на триботехнические и эксплуатационные свойства материалов [1-5].

В настоящее время целевым направлением развития трибоматериаловедения [6] является создание на поверхности металлического контртела прочных и монотонных пленок ФП с заданными свойствами при соответствующих эксплуатационных режимах и условиях с целью обеспечения процесса самосмазывания, поскольку работоспособность и долговечность узла трения машин и механизмов в целом определяются долговечностью самих пленок переноса. С точки зрения повышения работоспособности пленок ФП, весьма перспективным является метод применения наполнителей для увеличения адгезии между полимерной пленкой переноса и поверхностью контртела. Установление закономерностей механизма образования слоев ФП и разработка на этой основе методов управления структурой и свойствами ФП является эффективным направлением повышения эксплуатационных параметров в современной триботехнике.

Целью данной работы является исследование влияния природы и количества армянских минеральных наполнителей на процесс формирования пленок ФП (ее структуру, состав, толщину и адгезионную способность к металлам) в условиях трения без смазки с учетом эффективности химической модификации минеральных наполнителей с органическими смазочными материалами.

Для исследования в качестве связующих использовались гетероцепные полимерные материалы различного химического строения, широко применяемые в машиностроении и приборостроении: сополимер формальдегида с диоксоланом (СФД), полиамиды 6 и 66 (ПА6, ПА66) и полифениленоксид (ПФО), а в качестве наполнителей - армянские минералы, такие как травертин, мрамор, бентонит и туф, а также эти же наполнители, предварительно термообработанные и модифицированные фторсодержащими олигомерами – фторалканами (ФА). Термообработка проводилась при температуре 450...500°C от 8 до 10 ч. Используемые фторалканы являются отходами при синтезе политетрафторэтилена общей формулы $H(CF_2)_nCl$, где $n=7...14$, обладающими низкими антифрикционными свойствами, низким показателем вязкости расплава в сочетании с высокой термостабильностью и технологичностью.

Трибологические испытания проводились на машине торцевого трения И-47 при скорости скольжения 1,5 м/с, нагрузке 0,1 МПа, коэффициенте взаимного перекрытия, равном 1. Полимерными образцами служила втулка $\varnothing 22 \times 8$ мм, а контртелами - втулка $\varnothing 22 \times 4$ мм, изготовленная из стали 1Х13 с твердостью НВ=150...170 и шероховатостью $Ra=1,25$ мкм.

Процесс формирования и анализ пленок ФП, образующихся на стальном контртеле, а также его структура и фазовый состав изучались методами электронной микроскопии (микроскоп Тесла-513), рентгеноспектрального флюоресцентного анализа (РСФА, VRA-2), позволяющего оценить перенос отдельных компонентов с антифрикционного материала на контртело не только качественно, но и количественно, без разрушения образца.

Были исследованы исходное контртело, не участвующее в трении, и контртела с образовавшимися на них поверхностными пленками. В процессе трения были рассмотрены два этапа формирования пленки: начальный период трения (10 мин) и период установившегося трения (6 ч).

Анализ результатов РСФА показал (см. табл.), что в процессе трения уже в течение первых 10 мин при различных температурах осуществляется перенос с композиции на контртело основных элементов минеральных наполнителей: Ca, Si, Fe и Al, интенсивность которых повышается с увеличением количества наполнителя в композиции. Интенсивность перенесенных на контртело элементов после первых 10 мин трения для композиций с обычными минералами в 1,5...2,0 раза больше, чем для композиций, модифицированных ФА, что приводит к образованию сравнительно толстой пленки ФП с большей адгезионной прочностью по сравнению с исходными связующими. После 6 - часового трения пленка в связи с малой адгезионной прочностью теряет несущую способность, разрушается и выносится из зоны трения в виде продуктов износа с поверхности контртела. Введение ФА в состав композиции, как было установлено [7-9], приводит к формированию наполненной системы с частично сшитой структурой исследуемых полимеров и большой прочностью связи полимер-наполнитель.

Таблица

Влияние состава композиции и условий трения на толщину и адгезионную прочность пленок ФП с оптимальным количеством минеральных наполнителей

Состав композиции	Условия трения		Толщина пленки ФП, мкм	Интенсивность концентраций компонента CaK _α , имп/с	Адгезионная прочность пленки ФП 10 ⁻³ , Дж/м ²
	время, мин	температура на фрикционном контакте, °С			
СФД	10	30	0,45	-	21
	360	100	2,8	-	72,4
СФД травертин	10	80	0,94	1,4	30
	360	120	-	0,7	-
СФД травертин ФА	10	35	0,64	0,9	38
	360	55	3,8	7,2	101,3
ПА6	10	40	0,40	-	18
	360	100	2,6	-	62,8
ПА6 травертин	10	90	0,78	1,1	30
	360	130	-	0,6	-
ПА 6 травертин ФА	10	50	0,52	0,58	34,3
	360	70	3,2	5,4	92,4
ПА66	10	50	0,38	-	26
	360	110	2,4	-	69,6
ПА 66 травертин	10	100	0,68	0,85	38
	360	140	-	0,47	-
ПА 66 травертин ФА	10	55	0,45	0,48	40,8
	360	80	3,0	3,79	85,5
ПФО	10	50	0,65	-	15,8
	360	120	3,0	-	57
ПФО травертин	10	90	0,92	1,2	26
	360	130	-	0,65	-
ПФО травертин ФА	10	50	0,55	0,63	35,7
	360	70	3,5	6,5	78,6

Результаты РСФА для установившегося режима трения свидетельствуют о том, что при трении композиций, модифицированных ФА, резко (в 5...20 раз) повышается интенсивность элементов Ca, Si, Fe и Al на стальном контртеле по сравнению с начальным периодом трения, т.е. способствует значительному переносу искомым элементов из модифицированных композиций на поверхность контртела. Обогащение поверхностной пленки Ca, Si, Fe и Al приводит к увеличению поверхностной плотности, следовательно, толщины перенесенного слоя, адгезионная прочность которого после 6-ти часов работы в 1,2...1,5 раза больше, чем у исходных материалов. Обращает на себя внимание то, что перенос основных элементов Ca, Si, Fe и Al с композиций, модифицированных ФА, происходит пропорционально, а с композиций, немодифицированных ФА, непропорционально.

На рис.1 показаны микрофотографии поверхностных пленок наполненного СФД, образованных на контртеле после 10 мин и 6 ч трения. Как видно из рис.1а, после 10 мин трения пленка, образованная композицией обычными минеральными наполнителями, имеет грубую и неравномерную поверхность, а после 6 - часовой

работы пары трения она исчезает с поверхности контртела (рис.1в). Это объясняется повышенной истирающей способностью частиц немодифицированного минерального наполнителя при трении с металлической поверхностью. Пленка ФП, образованная при трении композиций, модифицированных ФА, после 10 *мин* трения имеет сравнительно гладкую поверхность (рис.1б), а после 6 - часовой работы становится более гладкой, монолитной и когерентной (рис.1г). Это говорит о хорошей смазывающей и адгезионной способности ФА, введение которого в композицию активизирует процессы формирования пленок.

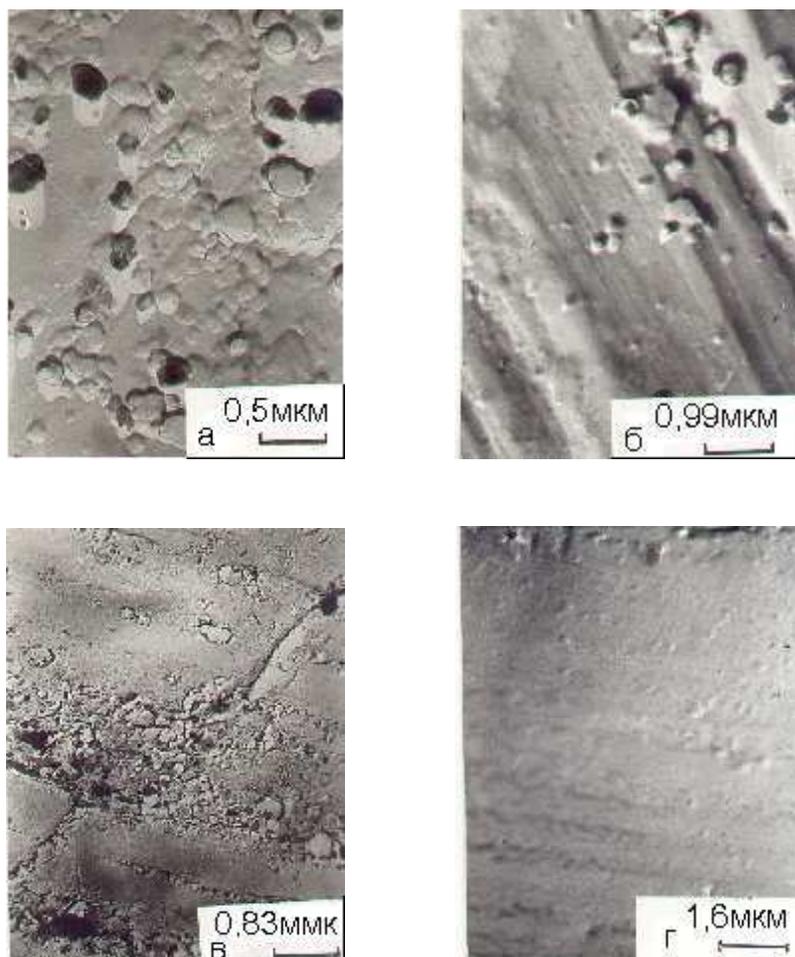


Рис.1. Микрофотографии пленок фрикционного переноса с композиций СФД + 40вес.% травертина (а, в) и СФД + 40вес.% модифицированного травертина (б, г), после 10 *мин* (а, б) и 6 ч трения (в, г)

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что разработанные на основе гетероцепных полимеров композиции, в которых в качестве наполнителей использованы модифицированные ФА минеральные наполнители, обладают повышенными смазывающими и адгезионными свойствами, что главным образом определяет трибологические характеристики материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белый В.А., Свириденко А.И.** и др. Трение и износ материалов на основе полимеров.- Минск: Наука и техника, 1976. – 431 с.
2. **Погосян А.К.** Трение и износ наполненных полимерных материалов.- М.: Наука, 1977.-138 с.
3. **Погосян А.К., Оганесян К.В., Карапетян А.Н.** и др. Антифрикционные композиционные полимерные материалы на основе СФД // Трение и износ.-1998.-Т.5, N 1.- С. 34-45.
4. **Холодилов О.В.** Морфология продуктов фрикционного переноса полимеров // Трение и износ.-1981.-Т.2, N 3.-С. 433-4490.
5. **Karapetyan A., Hovhannisyan K., Gevorgyan G.** Studu of Metal/Polymer Tribococontacts Longevity Based on Frictional Transfer Phenomenon // Proc. of the 47 Inter. Scientific Kolloquium. "Mechanical Engineering and Nanotechnology - The High Technologies of the 21st Century". Ilmenau.- 2002. - P. 67-68.
6. **Погосян А.К., Оганесян К.В.** Явление фрикционного переноса: основные закономерности и методы исследования // Трение и износ.- 1987. – Т.7, N6.- С. 998-1007.
7. **Карапетян А.Н.** Трибохимические процессы и антифрикционные свойства композиционных полимерных материалов: Тематический сб. науч. трудов / ГИУА. - Ереван. 2002. - Т.1. - С.199-200.
8. **Карапетян А.Н.** Трибологические свойства самосмазывающихся композитов на основе гетероцепных полимеров // Изв. НАН РА и ГИУА.- Ереван.- Сер. ТН. - 2003. - Т. 57. N1. - С. 58-62.
9. **Pogosian A.K., Karapetyan A.N., Hovhannisyan K.V.** Study of Physico-Chemical Modification Process of Heterochained Polymers by the Fillers Minerals // Tribologia. -2004. - N1. (193).- P. 63-73.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 30.11.2002.

Ա.Ն. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅԱՅԻՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀԵՏԵՐՈՑԻՎԼԻԿ ՊՈԼԻՄԵՐՆԵՐԻ ՀԻՄՔՈՎ ԿՈՄՊՈԶԻՏՅԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱՅՈՒՂՎՈՂ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՇՓՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Բերված են նախապես ձևափոխված հայկական հանքանյութերով (տրավերտին, մարմար, բենտոնիտ, տուֆ) լցվող ինքն-սառնակ հետադրական հակամարմնի վրա առաջացած մակերևութային թաղանթների հետազոտության արդյունքները: Ցույց է տրված, որ ձևափոխված կոմպոզիտների շփման թաղանթների ադհեզային ամրությունը 1,2...1,5 անգամ գերազանցում է կապակցող նյութերի ամրությանը:

A.N. KARAPETYAN

STUDY OF SURFACE FILMS AT FRICTION OF COMPOSITE SELF- LUBRICATED MATERIALS BASED ON HETEROCHAIN POLYMERS

The surface films formed on ganged counterface at friction of composite self-lubricated materials based on heterochain polymers filled with the ordinary and modified Armenian mineral fillers such as travertine, marble, bentonite, tuff are investigated. It is shown that the adhesion strength of the films formed at the established regime of friction modified with ftoralcan composites is 1,2...1,5 times more than for initial materials.

М.В. МАРТИРОСЯН

ПОВЕДЕНИЕ ЛЕГИРОВАННЫХ СВИНЦОВЫХ АНОДОВ В СЕРНОКИСЛОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Методом потенциометрии исследовано электрохимическое поведение анодов, изготовленных из сплавов свинца с серебром и сурьмой, в сульфатнокислом электролите. Показано, что под действием легирующих добавок на аноде образуются различные поверхностные продукты, которые существенным образом влияют на кинетику и механизм электродных реакций.

Ключевые слова. анодный материал, легирование, поляризация, пассивация, фазовый слой.

Эффективный подбор анодного материала для электроизвлечения цинка, меди и других металлов из сернокислых растворов является важной и первостепенной задачей в гидроэлектрометаллургии. Материал анода оказывает существенное воздействие на характер электродных реакций, что, в свою очередь, определяет технико-экономические показатели процесса. Несмотря на многочисленные научные разработки, проблема повышения стойкости анодов против коррозии и снижения затрат энергии на электродные процессы остается все еще актуальной.

В настоящей работе изучено электрохимическое поведение свинцовых анодов, легированных различными металлами в сернокислом растворе в широком интервале поляризации. Для выявления влияния легирующих добавок на анодные свойства свинца, в частности, на последовательность электродных реакций и механизм образования фазовых слоев при изменении потенциала на электроде, применяли сплавы свинца с содержанием 1 % серебра и 6 % сурьмы. Сплавы изготовлены стандартным методом с использованием чистого свинца марки СО (99,992%), серебра марки Ср 999,9 и сурьмы марки Су 0000 (99,999%). В сравнительных испытаниях использовали также аноды из чистого свинца. Рабочие электроды в качестве анодов для потенциометрических измерений были изготовлены в виде призматических брусков сечением 3,6 x 3,6 мм и длиной 50 мм. Рабочая поверхность электродов составила 0,13 см². Боковые поверхности анодов были изолированы эпоксидной смолой. В качестве базового электролита служил водный раствор серной кислоты концентрации 125 г/л. В электродной ячейке емкостью 100 см³ был помещен катод из чистого алюминия, а в качестве анода выбран один из рабочих электродов. Расстояние между анодом и катодом поддерживалось в пределах 25...30 мм. Для измерения анодного потенциала испытуемых электродов был использован насыщенный Ag/AgCl сравнительный электрод, потенциал которого относительно нормального водородного электрода равен 201 ± 3 мВ.

Потенциокинетические измерения были проведены на потенциостате марки П-5827М, изменяя потенциал измеряемого электрода на 20 мВ через каждые 15 мин и

тем самым стабилизируя ток, что обеспечивает протекание электродных процессов в равновесных условиях. Фазовый анализ оксидных и сульфатных пленок проводился на дифрактометре Дрон - 2.0 с использованием медного ($\text{CuK}\alpha$) излучения.

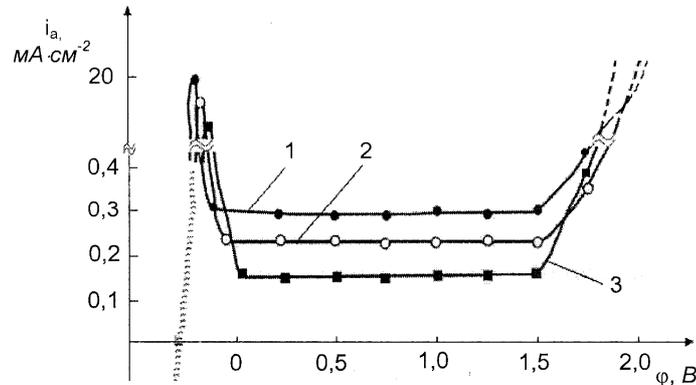


Рис.1. Потенциокинетические характеристики анодов из: 1-свинца, 2-сплава с 6% сурьмы, 3-сплава с 1% серебра в растворе H_2SO_4

На рис.1 приведены потенциокинетические кривые свинца и сплавов свинца с 6% сурьмы и свинца с 1% серебра. Полученные кривые характеризуют различную природу фазовых слоев и условия их образования. При потенциалах левее равновесного происходят восстановительные процессы металлического электрода, дальнейшее снижение потенциала сопровождается интенсивным выделением водорода. При сдвиге потенциала в анодную сторону свинец и сплавы на его основе ионизируются и растворяются (рис.1, кр. 1). В сплавах, легированных сурьмой и особенно серебром, заметно снижается скорость ионизации и растворения свинца, тем самым уменьшается количество поступающих катионов свинца в серноокислый раствор.

В области потенциалов от 0,25 В и выше на поверхности электродов вначале формируется фазовый слой сульфата свинца [1,2]. При дальнейшем смещении потенциала в анодную сторону электроды находятся в пассивном состоянии. Измерения в этой области регистрируют наличие остаточных токов, что свидетельствует о протекании процессов окисления, особенно на свинце и на сплаве с сурьмой. В результате при высокой анодной поляризации в фазовом слое появляется большое количество окисленных продуктов из соединения свинца и легирующего компонента [3]. Выход ионов легирующего компонента из кристаллической решетки сплава приводит к образованию новых пор или к увеличению размеров существующих. В этих условиях толщина фазового слоя растет.

При высоких анодных потенциалах, превышающих 1,65 В, в фазовом слое двухвалентные соединения свинца окисляются, и образуется двуокись свинца, на которой протекает электродный процесс выделения кислорода, в результате чего замедляются процессы ионизации свинца и роста фазового слоя, а также, вероятно, изменяются условия его формирования. Выделение кислорода обнаруживается в

начальный момент образования фазового слоя двуокиси свинца и соответствует потенциалу анода 1,65...1,72 В [4].

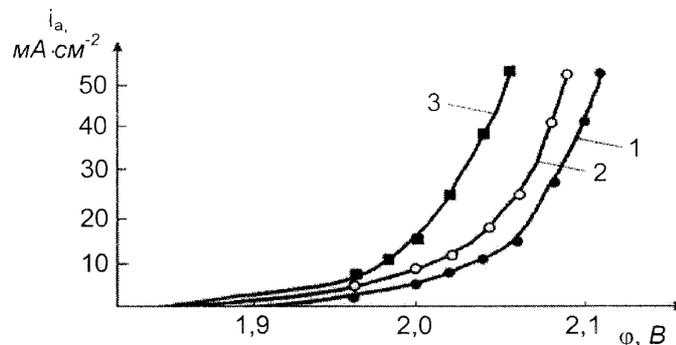


Рис.2. ПотенциокINETИЧЕСКИЕ характеристики анодов из: 1-свинца, 2-сплава с 6% сурьмы, 3-сплава с 1% серебра в растворе H_2SO_4 при высоких поляризациях

На рис.2 приведены потенциокINETИЧЕСКИЕ кривые свинца и сплавов Pb-6% Sb и Pb-1% Ag при повышенной анодной поляризации. Из сравнения этих кривых следует, что легирующие элементы сильно действуют на величину перенапряжения выделения кислорода. Как и следовало ожидать, сурьма и, особенно, серебро сдвигают анодный потенциал в катодную сторону, т.е. в сторону более низких его значений. При плотности тока $50 \text{ мА}\cdot\text{см}^{-2}$ анодный потенциал сплава Pb-1% Ag на 45...50 мВ ниже, чем у анода из чистого свинца. Значительно слабее действует сурьма. Сдвиг потенциала в сторону отрицательных его значений для сплава Pb-6% Sb составляет всего 18...20 мВ.

Сравнение анодного поведения сплавов на основе свинца по кривым потенциал-плотность тока (рис.1 и 2) дает важные данные о процессах в области потенциалов предпассивного состояния и величинах остаточных токов в области пассивного состояния сплавов, а также об интенсивности окислительно-восстановительных процессов вблизи потенциала $Pb^{2+} \leftrightarrow Pb^{4+}$ перехода. Кроме того, идентичность изменения хода потенциокINETИЧЕСКИХ кривых как для анода из чистого свинца, так и для анодов и сплавов Pb-6% Sb и Pb-1% Ag свидетельствует о том, что основа анода не влияет на механизм образования пассивного и проводящего слоев.

Дополнительная информация о природе образования фазового слоя была получена по потенциокINETИЧЕСКИМ кривым для сплава свинца с 1% серебра. Анод из этого сплава поляризовался в течение 24 ч при постоянном потенциале 1,65 В (рис.3). Из приведенного графика видно, что в начальный период поляризации анодный ток резко увеличивается, что, вероятно, связано с образованием проводникового подслоя окиси свинца. Затем ток уменьшается с образованием и ростом слоя сульфата свинца, который постепенно становится более изолирующим.

После поляризации при плотности тока $50 \text{ мА}\cdot\text{см}^{-2}$ результаты фазового рентгеновского анализа показали большое разнообразие фаз на рабочих поверхностях всех исследуемых анодов (табл.). На дифрактограммах выделяются характерные

дифракционные максимумы для фаз PbSO_4 , PbO_2 , $\text{PbO}_{1,15}$ и PbO соответственно. Полученные данные свидетельствуют, что после одного часа поляризации на анодных поверхностях преобладающими фазами являются PbSO_4 и PbO . На поверхности свинца с серебром обнаруживается немного α - модификации двуоксида свинца и $\text{PbO}_{1,15}$. После 6- часовой поляризации на всех трех анодах доминирующей фазой является α - PbO_2 . Наличие в небольшом количестве фаз PbO_2 , $\text{PbO}_{1,15}$, PbO и PbS объясняется частичным превращением PbO_2 при отключении поляризующего тока. Наличие линии чистого свинца на большинстве рентгенограммах, особенно на поверхности анода из свинца с сурьмой, свидетельствует о пористости фазовых слоев, а появление свободного серебра на поверхности анода из свинца с серебром указывает на протекание реакции образования разложения высших оксидов серебра (AgO и др.) [5].

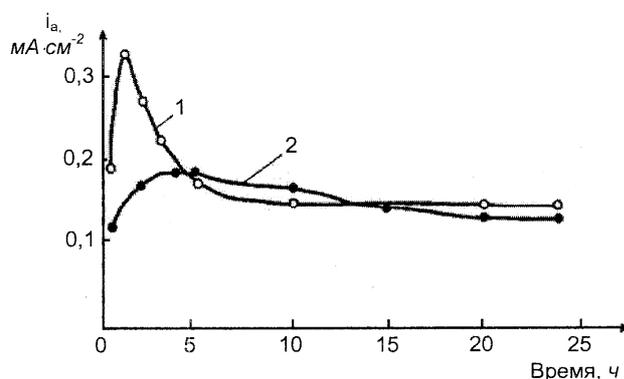


Рис.3. Потенциостатические кривые анода из свинца с 1% серебра, поляризованного при 1,65 В в различных температурах, °С: 1 – 25; 2 – 40

Таблица

Данные рентгенофазового анализа поверхностных слоев анодов, поляризованных при плотности тока 50 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$

Время поляризации	Материал анода	Идентификация фаз
1	Pb - чистый	Pb (много); Pb (мало)
	Pb – 1% Ag	PbSO_4 (много); $\text{PbO}_{1,15}$ Pb (много); α - PbO_2 ; Pb
	Pb – 6% Sb	PbSO_4 (много); PbO (много); PbS; Pb (много)
2	Pb - чистый	PbSO_4 ; PbO; α - PbO_2 (много)
	Pb – 1% Ag	PbSO_4 ; α - PbO_2 (много) $\text{PbO}_{1,15}$; Pb; Ag
	Pb – 6% Sb	PbSO_4 ; PbO; α - PbO_2 (много); PbS

Таким образом, потенциокINETические и потенциостатические исследования поведения анодов из чистого свинца, а также из сплавов на его основе показывают аналогичный ход изменения окислительно-восстановительных процессов на поверхностях электродов, полученных из вышеуказанных материалов. Легирующие элементы заметно изменяют механизм образования и развития фазовых слоев, что, в

свою очередь, сильно влияет на анодное поведение сплавов, в частности, на перенапряжения выделения кислорода. Так, в сплаве Pb-6% Sb сурьма легко окисляется в составе сплава, а продукты окисления оказывают деполяризующее действие на основной электродный процесс. Серебро в составе сплава со свинцом одновременно изменяет ряд свойств анода, что выражается в ослаблении процесса растворения основы электрода (низкий остаточный ток в пассивной области), а также в снижении перенапряжения выделения кислорода.

Образование на анодах различных поверхностных продуктов в самых разных количествах связано с существенным влиянием легирующего элемента на механизм образования фазовых слоев при анодной поляризации. Полученные характерные изменения потенциокINETических кривых изученных анодов на основе свинца могут быть учтены для прогнозирования эффективности многокомпонентного легирования свинца с целью создания анодных материалов с повышенными электрохимическими характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Pavlov D., Iordanov N.** Electrochem. Soc.- 1970.-V.117.- P. 1103.
2. **Pavlov D.** Electrochem.Acta.- 1978.- V.23.- P.845.
3. **Ruetschi. P. J.** Electrochem. Soc.- 1975.- V.120.- P.331.
4. **Добощ Д.** Электрохимические константы: Справочник для электрохимиков /Под ред. **Я.М. Колотыркина.**- М.: Мир, 1980.- 365 с.
5. **Славинский М.П.** Физико-химические свойства элементов.- М.: Metallurgizdat, 1952.- 763 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 08.06.2002.

Մ.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ ԼԵԳԻՐՎԱԾ ԿԱՊԱՐԵ ԱՆՈՂՆԵՐԻ ՎԱՐՔԱԳԻԾԸ ՍՈՒԼՖԱՏ-ԹՅՎԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐՈԼԻՏՈՒՄ

Պոտենցիափական եղանակով ուսումնասիրված է կապար-արծաթ և կապար-անտիմոն համաձուլվածքներից պատրաստված անոդների վարքագիծը սուլֆատ-թթվային էլեկտրոլիտում: Ցույց է տրված, որ լեգիրող տարրերի ազդեցության տակ անոդի վրա առաջանում են տարբեր մակերևութային արգասիքներ, որոնք իրենց հերթին ազդում են էլեկտրոդային ռեակցիաների վրա:

M.V. MARTIROSYAN THE BEHAVIOUR OF ALLOYED LEAD ANODES IN THE SULPHURIC ACID ELECTROLITE

The behaviour of the lead-silver and lead-antimony anodes in sulphuric acid electrolyte has been investigated by potentiometric method. It has been shown that different products appear on the anode surfaces due to the affection of the alloying elements.

Т.Г. АФРИКЯН

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОРИЕНТАЦИИ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН В ОБЪЕМЕ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ КРУГОВ

Исследована степень ориентации алмазных зерен в объеме экструдированного круга. Установлено, что в экструдированных кругах прямого профиля оси абразивных зерен размещаются параллельно диаметральным сечениям шлифовального круга, а функция распределения углов отклонений имеет два максимума, равноудаленные от начала координат.

Ключевые слова: частицы, экструзия, пресс-форма, ориентация, гистограмма, термообработка.

Одним из перспективных направлений совершенствования алмазно-абразивного инструмента является создание кругов с ориентированными зернами относительно рабочей поверхности инструмента [1]. В [2] при исследовании процессов шлифования на основании экспериментальных данных установлено, что в реальном процессе шлифования 85...90% количества зерен, расположенных на единице рабочей поверхности круга, практически не участвует в резании.

Среди известных способов изготовления шлифовальных инструментов формование экструзией обеспечивает максимальную степень ориентации.

Нами разработана и апробирована в производственных условиях принципиально новая технология формования шлифовального круга 1A1, при которой вначале экструдировывают корпус круга, затем наращивают камеру формования пресс-формы в радиальном направлении, после чего экструдировывают абразивоносный слой [3]. Окончательное формование кругов осуществляется в пресс-формах, в которых получают заготовки инструментов, близкие по форме и размерам к готовому изделию.

При традиционной технологии формование пресс-форм, как правило, предусматривает прессование "до упора", что в весовом дозировании обеспечивает точный объем заготовки, заданную пористость, а также определенную твердость.

Недостатком данной схемы является то, что в случае, если масса будет больше расчетного значения, может произойти поломка пресс-формы или ее деформация. Этому недостатка лишена схема прессования "по давлению". В этом случае заранее опытным путем определяют давление, приложенное к формируемой массе, при котором обеспечивается заданная высота, а следовательно, и плотность брикета. По известному давлению определяют силу прессования. При формовании абразивных инструментов на гидравлических прессах, снабженных устройствами для регулирования силы, процесс прессования прекращают по достижении ранее рассчитанной силы [4].

Формование шлифовальных кругов экструзией соответствует схеме прессования “по давлению”.

Входная окружная щель камеры формования пресс-формы должна иметь вход в радиальном направлении для приема шихты. Пресс-форма для формования корпуса круга имеет форму кассеты (рис.1) и состоит из пустотелой оправки 1, на которую насажены и закреплены два диска 2, между которыми вставляется распорная втулка 3. Для наращивания алмазонасного слоя на цилиндрической поверхности дисков 2 насаживаются до упора наращиватели 4, которые удерживаются от распрессовки под воздействием силы давления, возникающей при экструзии держателями 5. Держатели 5 установлены на торцах дисков 2 с возможностью радиального перемещения и фиксации положения болтами 6. После сборки дисков 2 на пустотелую оправку и затяжки специальной гайкой 7 на первой экструдерной установке получают корпус круга диаметром d (рис.1). Затем наращивают абразивоносный слой, для чего на пресс-форму с формовкой корпуса насаживают наращиватели 4, раздвигают держатели 5, которые закрепляют болтами 6. Далее, с целью термообработки круга, на пресс-форму надевают рубашку 8 (рис.1) с внутренним диаметром D . Рубашка имеет форму кольца и Г-образное сечение. Она перекрывает входную окружную щель в камеру формования.

Изготовление круга осуществляют на двух идентичных установках с диаметрами прессформодержателей, равными диаметру корпуса круга d и шлифовального круга $D=d+2a$, где a – толщина абразивоносного слоя. Подготовка установок к запуску идентична операциям формования.

Сначала на первой экструдерной установке формируется корпус круга. Затем пресс-форма с формованным корпусом поступает на вторую экструдерную установку.

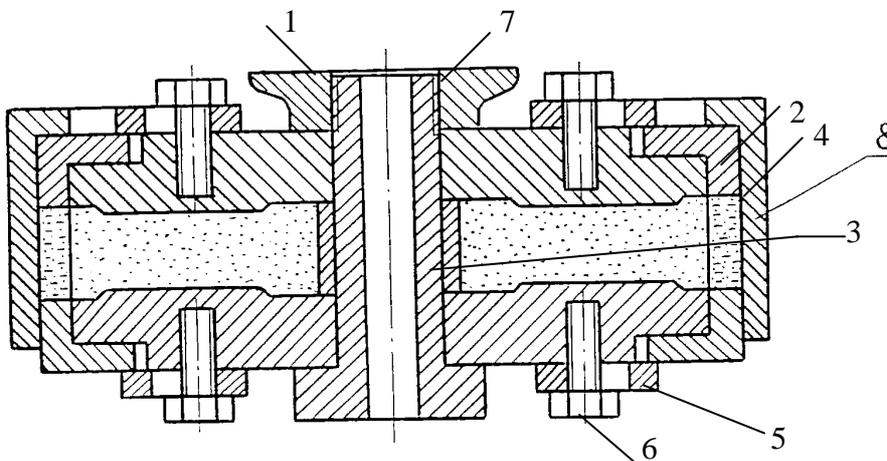


Рис. 1. Пресс-форма для экструдирования шлифовального круга

Термическая обработка круга. Термическая обработка круга производится в две стадии: на первой – нагрев пресс-формы с кругом вне пресса до $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, на второй – нагрев печи до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ без пресс-формы по особому режиму.

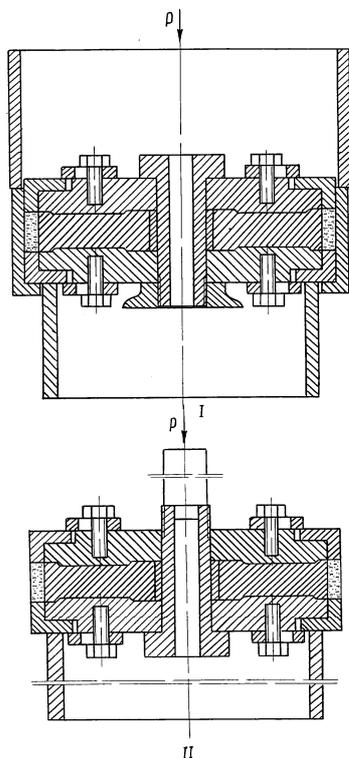


Рис. 2. Схема распрессовки пресс-формы

На первой стадии термообработки происходит частичная бакелизация или поликонденсация связки. Она ведется в электрических печах и заключается в нагреве изделий до 160°C при температуре печи 180°C . При бакелизации происходит сращение отдельных молекул в более крупные – линейные, сетчатые и трехмерные. Одновременно протекают и другие реакции. Вводимый в массу фурфурол при нагревании испаряется не целиком, а частично вступает в реакцию. В процессе бакелизации нагреванием, помимо конденсации, происходит перераспределение бакелита на зернах абразивного материала, крупные зерна покрываются равномерным слоем связки [5].

Температурный режим бакелизации при нормальном давлении определяется по следующим факторам:

- а) количество связок в изделии;
- б) количество летучих продуктов в связке;
- в) пористость изделий;
- г) зернистость абразивного инстру-

мента;

- д) скорость полимеризации бакелита, применяемого для изготовления связки;
- е) размеры и форма изделий.

Обеспечение высокого содержания связки, наличие в ней большого количества летучих, малой скорости отвердевания смолы, низкой пористости изделия требует медленного повышения температуры, обеспечивающей спокойное удаление летучих продуктов [5].

После термообработки на первой стадии пресс-формы снимаются с печи, охлаждаются в воздушном холодильнике, затем на другом прессе производится распрессовка (рис. 2). Сначала распрессовывается рубашка (поз. I), затем пустотелая оправка пресс-формы (поз. II).

С целью полной полимеризации фенолформальдегидной смолы круги поступают на вторую стадию термообработки. Для возможно меньшего времени использования пресс-формы и их оборота в технологическом цикле круги снимаются с пресс-формы, затем загружаются в печь, нагрев которой ведут по специальной программе.

Программу нагрева задает и выдерживает программный регулятор температуры, разработанный и изготовленный во ВНИИАлмазе. Напольная установка смонтирована

на стойке, имеет программный регулятор типа РУ5-01М и автоматический потенциометр типа КСП-3. Элементы управления, световой и звуковой сигнализации вынесены на лицевую панель. Остальные элементы установки размещены в корпусе [5].

Режим нагрева определяет программа, заданная графиком на ленте регулятора. В соответствии с этой программой и электрическими сигналами термопары типа ТХК, установленной в зоне нагрева, потенциометр регулирует и поддерживает необходимую температуру. Установка позволяет управлять температурным режимом печи автоматически и вручную. Охлаждение алмазных кругов производится вместе с термощафом до 35 ± 5 °С.

Таблица

Температурный режим термообработки алмазных кругов на связках В1-01, В2-01, В3-01, В2-02

№	Интервал температуры, °С	Скорость подъема температуры, гр/мин	Время подъема температуры, мин	Выдержка, мин
1	20...120	1,7	60	-
2	120...150	0,5	60	-
3	150...180	0,25	120	-
4	180	-	-	60

После окончательной термической обработки круги выгружают на рабочий стол, с них удаляют наплывы, заусеницы, затем их проверяют на отсутствие трещин, выкрашивание, отслоение алмазоносного слоя, линейные размеры кругов.

Предложенная технология по сравнению с базовой позволяет:

- повысить работоспособность шлифовального круга за счет геометрической ориентации абразивных зерен и равномерности распределения плотности;
- повысить производительность изготовления абразивного инструмента за счет исключения механических операций изготовления корпуса, ручных операций взвешивания, укладки и выравнивания времени формования;
- для кругов на органических связках – заменить металлические корпуса на органические, снизить брак и повысить надежность соединения абразивоносного слоя и корпуса круга.

С целью выяснения распределения углов ориентации было проведено исследование кругов, изготовленных по данной технологии. Из алмазоносного слоя экструдированного круга в радиальном направлении срезана тонкая пластина. Затем с помощью оптического микроскопа "YEOLS" (увеличение $\times 120$) исследована поверхность изготовленного шлифа. Участок исследуемого объема показан на рис. 3, а расположение отдельного зерна в связке - на рис. 4 (увеличение $\times 600$).

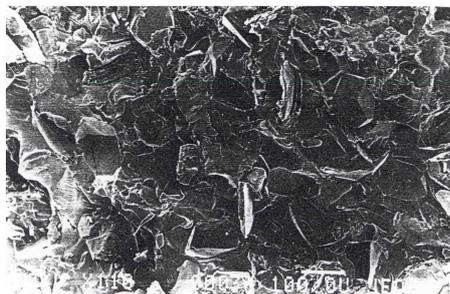


Рис. 3. Участок исследуемого объема алмазонасного слоя (x120)

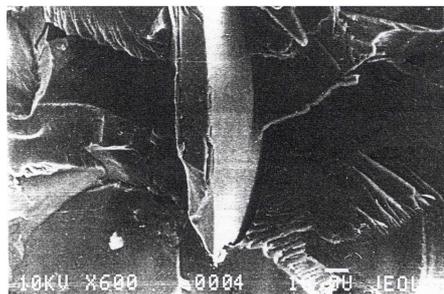


Рис. 4. Расположение отдельного зерна в связке (x600)

Как видно из рис. 3, зерна алмаза имеют разнообразные формы и размеры, поэтому ввиду затруднения проведения осей определение истинного расположения зерна в объеме алмазонасного слоя невозможно.

Исходя из этого, в качестве модели недеформируемых частиц алмаза были использованы цилиндрики, отрезанные от медной проволоки $d=0,2$ мм с соотношением $h/d = 4/1$. В пресс-форме вместо корпуса между щечками на пустотелую оправку надевали распорную втулку. В рабочую камеру экструдера [3] загружалась подготовленная шихта, состоящая из пульвербакелита (СФП-012А) и цилиндров с объемным соотношением 70...30%. Экструзия шихты проводилась при температуре $85^{\circ} \pm 5^{\circ}$ С [6]. Формованные круги далее поступали на окончательную термическую обработку, как описано выше.

На рис.5 показано ориентирование недеформируемых частиц в экструдированном круге.

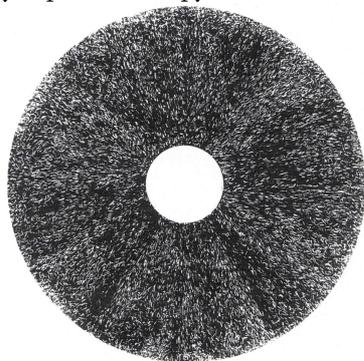


Рис. 5. Ориентирование недеформируемых частиц в экструдированном круге

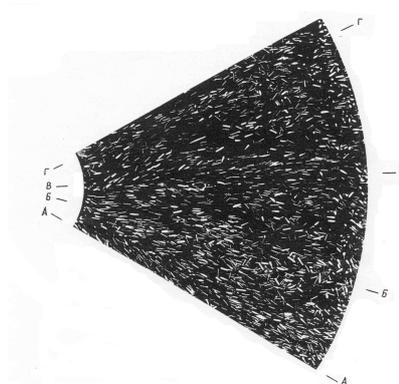


Рис. 6. Сегмент экструдированного круга, увеличенного в 2,5 раза

Для исследования распределения углов отклонения от направления пластического течения участок круга в виде сегмента увеличивался в 2,5 раза (рис.6). Далее на сегмент накладывалась калька и на ней в радиальном направлении проводились секущие (А-А, Б-Б, В-В, Г-Г). Затем проводились оси цилиндров от радиального направления (рис.7). По полученным результатам построена гистограмма распределения углов отклонения от направления пластического течения.

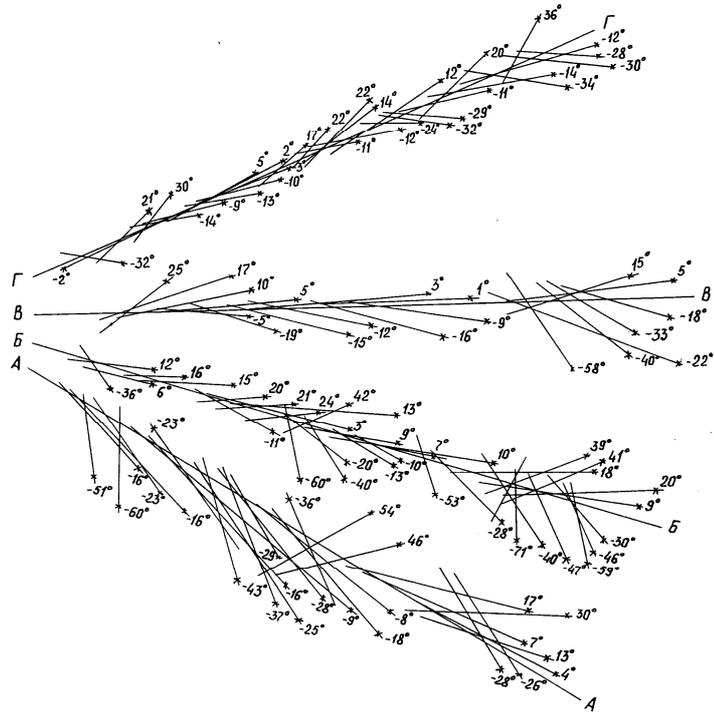


Рис. 7. Схема угла отклонения от направления экструзии

Установлено, что в экструдированных кругах прямого профиля оси абразивных зерен размещаются параллельно диаметральным сечениям шлифовального круга, а функция распределения отклонений имеет два максимума, равноудаленные от начала координат (рис.10).

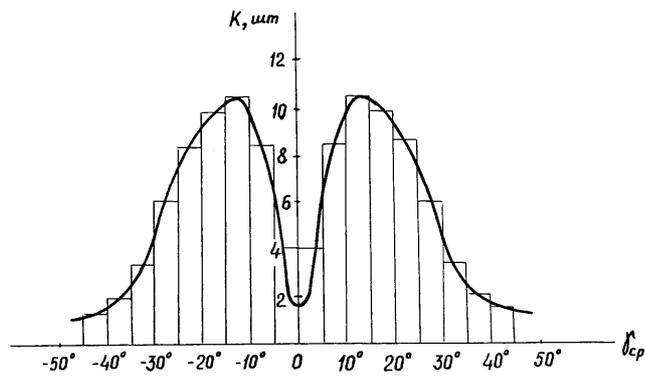


Рис. 8

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Makee R.** Abrasive Engineering. – 1970. - V. 16, № 1. - P. 16-26.
2. **Яцерицын П.И.** Повышение эксплуатационных свойств шлифовальных поверхностей. - Минск: Наука и техника, 1966. – 384 с.
3. Роспатент № 1404315 от 02.07.93 г. Устройство для формования абразивного инструмента / **Р.Б. Мартиросян, Т.Г. Африкян, Р.Р. Мартиросян.** – 1993.
4. **Бакуль В.Н., Никитин Ю.И., Верник Е.Б.** Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. – М.: Машиностроение, 1975. – 292 с.
5. **Любонудров В.Н., Васильев Н.Н.** Абразивные инструменты и их изготовление. – М.: Машгиз, 1953. – 323 с.
6. **Африкян Т.Г.** Технология изготовления алмазных шлифовальных кругов с ориентированными алмазными зёрнами // Изв. НАН РА и ГИУА. - Сер. ТН. – 2002.- Т. 55, № 1. – С. 46-51.

Гаварский гос. университет. Материал поступил в редакцию 20.01.2002.

Տ.Ն. ԱՖՐԻԿՅԱՆ

ԱՐՏԱՄՂՎԱԾ ՀՂԿԱՔԱՐԵՐԻ ԾԱՎԱԼՈՒՄ ԱԼՄԱՍՏԵ ՀԱՏԻԿՆԵՐԻ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԵՎ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ

Հետազոտվել է արմատե հատիկների կողմնորոշման աստիճանը արտամղված հղկաքարերի ծավալում: Պարզվել է, որ ուղիղ պրոֆիլի արտամղված հղկաքարերի տրամագծային հատույթներում հատիկների առանցքները դասավորվում են վերջիններիս զուգահեռ, իսկ շեղման անկյունների բաշխման գործառույթն ունի կոորդինատների սկզբնակետից հավասար հեռացած երկու առավելագույն արժեքներ:

T.G. AFRIKYAN

TECHNOLOGY OF OBTAINING AND THE STUDY OF DIAMOND GRAIN ORIENTATION DEGREE IN EXTRUDED GRAINS

The orientation degree in extruded wheel volume is studied. It is stated that in extruded wheels of direct profile the abrasive grain axes are located in parallel diametric grinding wheel sections, and the distribution function of deviation angles has two maxima equidistant origin of coordinates.

Ս.Գ.ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ֆ.Հ.ԶԱՔԱՐՅԱՆ, Ա.Մ.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԻԿ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՖԵՐՈՍՈԼԻԲԴԵՆԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱՆ ԵՎ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ

Հետազոտվել են այլումինաջերմային եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման կինետիկան և մեխանիզմը, հաշվարկվել են գործընթացի ժամանակ անջատված ջերմության քանակը, ջերմային կորուստները և կատարվել է բովախառնուրդի հաշվարկ: Ցույց է տրվում, որ վերականգնման ռեակցիայի ժամանակ անջատված ջերմության քանակը միանգամայն բավարար է գործընթացի լրիվ կայացման համար:

Առանցքային բառեր. ֆերոմոլիբդեն, օքսիդ, վերականգնում, բովախառնուրդ, այլումինաթերմիա, ֆյուս, խարամ, մետաղ, կորզում:

Վերականգնման գործընթացում միաժամանակ տեղի է ունենում վերականգնիչի օքսիդացում, և գործընթացը համարվում է օքսիդա-վերականգնման ռեակցիայի մասնավոր դեպք:

Այս ռեակցիաները գրվում են հետևյալ ընդհանուր տեսքով.



որտեղ MeO -ն մետաղի օքսիդն է, BO -ն՝ վերականգնիչի:

(1) ռեակցիան կարելի է գրել հետևյալ կերպ.



Այս համակցությունը, սակայն, չի արտացոլում գործընթացի իրական մեխանիզմը. այն հարմար սխեմա է թերմոդինամիկական անալիզի համար:

Ըստ Հեսսի օրենքի՝

$$\Delta H_1 = \frac{1}{2}(\Delta H_2 - \Delta H_3)$$

օքսիդա-վերականգնման ռեակցիայի ջերմային էֆեկտը որոշվում է վերականգնիչի օքսիդի առաջացման և ստացված մետաղի ջերմության տարբերությամբ.

$$\Delta G_1^0 = \frac{1}{2}(\Delta G_2^0 - \Delta G_3^0),$$

$$gK_1 = \frac{1}{2}(lg K_2 - lg K_3) = \frac{1}{2}[lg P_{O_2(MeO)} - lg P_{O_2(BO)}],$$

$$K_1 = \sqrt{\frac{K_2}{K_3}} = \sqrt{\frac{P_{O_2(MeO)}}{P_{O_2(BO)}}},$$

որտեղ $P_{O_2(MeO)}$ -ն և $P_{O_2(BO)}$ -ն մետաղների օքսիդների և վերականգնիչի դիսոցման առաձգականությունն են:

Եթե ռեագենտները վերցված են ստանդարտ պայմաններում, ապա (1) ռեակցիայի ուղղությունը որոշվում է ΔG_1^0 մեծության նշանով, կախված ΔG_2^0 և ΔG_3^0 կամ $P_{O_2(BO)}$ և $P_{O_2(MeO)}$ հարաբերություններից, այսինքն՝ վերականգնիչի և մետաղի նորմալ խնամակցությամբ թթվածնի նկատմամբ:

Եթե վերականգնիչն օժտված է ավելի մեծ խնամակցությամբ թթվածնի նկատմամբ, քան մետաղը, այսինքն՝ $(-\Delta G_2^0) > (-\Delta G_3^0)$ կամ $P_{O_2(BO)} < P_{O_2(MeO)}$, ապա ռեակցիան ընթանում է մետաղի վերականգնման ուղղությամբ և վերականգնիչի օքսիդացմամբ ավելի կայուն օքսիդի: Ինչքան մեծ են $P_{O_2(BO)}$ -ն և $P_{O_2(MeO)}$ -ն, այնքան մեծ է հավասարակշռության հաստատունը, հետևաբար այնքան լրիվ է ընթանում վերականգնման գործընթացը:

Եթե B նյութն ունի ցածր խնամակցություն թթվածնի նկատմամբ, քան Me, այսինքն՝ $(-\Delta G_2^0) < (-\Delta G_3^0)$ կամ $P_{O_2(BO)} > P_{O_2(MeO)}$, իսկ $\Delta G_1^0 > 0$, ապա հնարավոր է միայն Me-ի օքսիդացում և BO օքսիդի վերականգնում:

Եթե երկու նյութերն էլ (Me և B) ունեն նմանատիպ խնամակցություն թթվածնի նկատմամբ ($P_{O_2(BO)} = P_{O_2(MeO)}$ և $\Delta G_1^0 = 0$), ապա համակարգը գտնվում է հավասարակշռության վիճակում:

Ռեակցիայի թերմոդինամիկ բնութագրման համար գործնական հաշվարկներում ΔG -ի փոխարեն օգտվում են իզոբար-իզոթերմիկ պոտենցիալների ստանդարտ մեծությունից՝ ΔG^0 :

ΔG^0 -ի ոչ մեծ արժեքի դեպքում հնարավոր է ինչպես ուղիղ, այնպես էլ հակառակ ռեակցիա, քանի որ, կախված պայմաններից, ΔG^0 -ն և ΔG -ն կարող են ունենալ նմանատիպ կամ տարբեր նշաններ:

Գործնականում, երբ ռեակցիան ունի ոչ մեծ ΔG^0 մեծություն, ցանկալի ուղղությամբ նրա իրականացման համար անհրաժեշտ է ստեղծել բարենպաստ պայմաններ (համապատասխան ջերմաստիճան, ճնշում և այլն):

Աշխատանքի նպատակն է՝ ուսումնասիրել այլումինաթերմիկ եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի կինետիկան և մեխանիզմը:

Ֆերոհամաձուլվածքի ստացման գործընթացի առանձնահատկությունն այն է, որ օքսիդների վերականգնումը տեղի է ունենում Fe-ի և նրա օքսիդների առկայությամբ, ինչը բավականին հեշտացնում է վերականգնման գործընթացը: Դա բացատրվում է հետևյալ հանգամանքներով.

1. Fe-ի օքսիդները, մյուս օքսիդների հետ համեմատած, բավականին հեշտությամբ են վերականգնվում, որի հետևանքով համակարգում ստեղծվում են ավելի բարենպաստ էներգետիկ պայմաններ (փոքրանում է ΔG^0 -ի ընդհանուր մեծությունը):

2. Լուծելով վերականգնված էլեմենտը, Fe-ը իջեցնում է նրա ակտիվությունը, որը, հավասարակշռության հաստատունով պայմանավորված, տեղափոխում է ռեակցիայի հավասարակշռությունը դեպի վերականգնում: Երբեմն գործընթացն ուղեկցվում է իզոբար պոտենցիալի զգալի փոքրացմամբ, հետևաբար՝ օքսիդների վերականգնումը հեշտանում է:

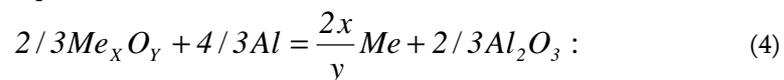
3. Լուծելով վերականգնված մետաղը, երկաթը նրան հանում է ռեակցիայի գոտուց և հենց դրանով խանգարում երկրորդային ռեակցիայի (օքսիդացման) ընթացքին, ինչպես նաև գոլորշիացմանը:

4. Երկաթը ցածրացնում է մետաղական ֆազի հալման ջերմաստիճանը և նպաստում գործընթացն ավելի ցածր ջերմաստիճան տեղափոխելուն:

5. Քայքայելով կարբիդը, Fe-ը նպաստում է Si-ի, Mn-ի և այլ կարբիդառաջացնող տարրերի վերականգնմանը համաձուլվածքների ածխաջերմային արտադրությունում:

Հետևաբար, ֆերոհամաձուլվածքների ստացման գործընթացում պետք է հաշվի առնել Fe-ի և նրա օքսիդների ազդեցությունը վերականգնիչ ռեակցիաներում:

Օքսիդների՝ Al -ով վերականգնման գործընթացը կարելի է ներկայացնել հետևյալ հավասարմամբ.



Այլումինիումը ուժեղ վերականգնիչ է: Այլումինաջերմային գործընթացները բարձր կարգի էկզոթերմիկ ռեակցիաներ են, հետևաբար՝ մեծ թվով օքսիդների վերականգնման ժամանակ ջերմության լրացուցիչ մուտք անհրաժեշտ չէ: Վերականգնման գործընթացը տարվում է հատուկ հնոցում (շախտայում):

Գործնականում ռեակցիայի արագությունը կարգավորվում է բովախառնուրդի դանդաղ ավելացմամբ՝ որպես դանդաղեցնողներ օգտագործելով Fe-ի տաշեղներ և ֆյուսներ կամ նախնական վերականգնմամբ՝ մինչև ցածր օքսիդներ:

Որպես ֆերոմոլիբդենում գործընթացի ջերմաստիճանը կարգավորող վերականգնիչ օգտագործվել է Si-ի և Al-ի խառնուրդ:

Ոչ վառարանային մետաղաջերմային գործընթացի ընթացքը որոշվել է գործընթացի տեսակարար ջերմունակության մեծությամբ՝ δH .

$$\delta H = \frac{Q_{\Sigma}}{m_{\Sigma}}, \quad (5)$$

որտեղ Q_{Σ} -ն ոչ վառարանային գործընթացում անջատվող ջերմությունն է $4Q/4q$, m_{Σ} -ն՝ բովախառնուրդային նյութերի զանգվածը, կգ:

Ըստ Ժեմչուժնոյի, այլումինաջերմային գործընթացը ընթանում է ինքնաբերաբար՝ $\delta H \geq 2303$ կՋ/կգ (550 կկալ/կգ):

(4) ռեակցիայից հետևում է, որ վերջինիս արգասիքներում տեսակարար ջերմունակությունը ջերմության կոնցենտրացիայի չափորոշիչ է, և գործընթացի տեսակարար ջերմունակության ու ջերմաստիճանի միջև գոյություն ունի ուղղակի կախվածություն:

Մետաղաջերմային գործընթացներում ռեակցիայի ուղղության փոփոխմանը մետաղների օքսիդների վերականգնման ուղղությամբ կարելի է հասնել հետևյալ եղանակներով.

1. Մետաղական օքսիդների կամ վերականգնիչի ավելցուկի փոփոխմամբ, ինչը շատ դեպքերում կախված է համաձուլվածքներին ներկայացվող պահանջներից և խարամի հատկություններից:

2. Ֆյուսների տրամաբ, որոնց քանակը կախված է ամբողջ գործընթացի ջերմային հաշվեկշռից և վերականգնվող օքսիդի քիմիական հատկություններից:

3. Տարբեր միացությունների տրամաբ, որոնք ունեն վերականգնվող օքսիդներին մոտիկ քիմիական հատկություններ և կարող են նրան փոխարինել խարամում, սակայն չեն վերականգնվում տվյալ գործընթացի պայմաններում:

4. Էկզոթերմիկ ռեակցիայի հետևանքով առաջացած ջերմության արագ հեռացումաբ: Վերականգնման ընթացքում ինչքան ցածր է ամբողջ համակարգի ջերմաստիճանը, այնքան համակարգի հավասարակշռությունը տեղափոխվում է դեպի էկզոթերմիկ գործընթացներ:

Կարևոր պահանջ է մանրացված բովախառնուրդային նյութերի խառնումը: Հալման հնոցի (շախտայի) չափերը նույնպես ազդում են մետաղի կորզման վրա:

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ մետաղի կորզման (ելքի) վրա ազդում են գործընթացի ջերմաստիճանի փոփոխությունը, արտաքին ճնշումը, բովախառնուրդային նյութերի մանրացման աստիճանը, համաձուլվածքի և խարամի կազմը: Ջերմաստիճանի բարձրացումաբ ռեակցիայի հավասարակշռությունը տեղափոխվում է էնդոթերմիկ ուղղությամբ, իսկ ջերմաստիճանի իջեցումաբ՝ էկզոթերմիկ ուղղությամբ:

Ջերմաստիճանի բարձրացումը մեծացնում է վերականգնվող մետաղի ելքը, սակայն չափից ավելի բարձրացումը հանգեցնում է վերականգնվող մետաղի կորստի մեծացմանը: Այդ իսկ պատճառով, անհրաժեշտ է ունենալ լավարկված ջերմաստիճանային ռեժիմ, որի ժամանակ ստացվում են բարձր տեխնիկա-տնտեսական ցուցանիշներ:

Խարամի կազմը որոշիչ ազդեցություն ունի մետաղի կորզման վրա, հատկապես այն դեպքում, երբ վերականգնիչի օքսիդը մնում է խարամում: Այս դեպքում անհրաժեշտ է վերականգնիչի օքսիդը կապել կայուն միացության հետ, ինչը փոքրացնում է նրա ակտիվ կոնցենտրացիան խարամում, և հավասարակշռությունը փոխվում է կորզվող մետաղի օքսիդի վերականգնման ուղղությամբ:

Մյուս կարևոր պայմանը խարամի հեղուկահոսունությունն է: Խարամի մաձուցիկության փոքրացումն ապահովում է վերականգնման գործընթացի արագության մեծացում (փոխազդող նյութերի մասնիկների տեղափոխության մեծացման շնորհիվ) և հանգեցնում համաձուլվածքի կաթիլների լրիվ նստեցմանը, հետևաբար վերականգնվող մետաղի լավ կորզմանը:

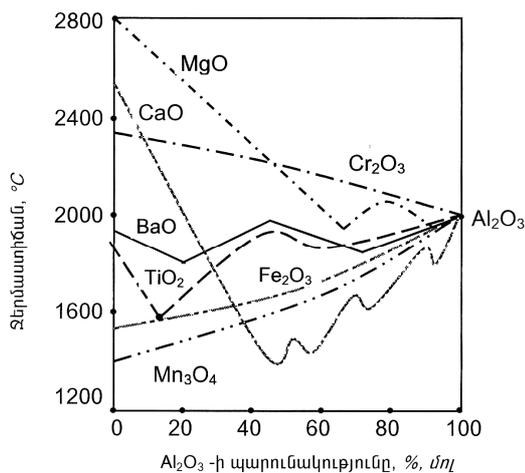
Տարբեր օքսիդների ազդեցությունը կավահողի հալման ջերմաստիճանի վրա ցույց է տրված նկ.1-ում:

Ֆյուսների լավարկված քանակից ավելի առկայությունը մեծացնում է խարամի բազմապատիկությունը, ինչը հանգեցնում է կորզվող մետաղի բացարձակ մեծացմանը, նույնիսկ խարամում նրա ցածր կոնցենտրացիայի դեպքում: Բացի դրանից, տրվող ֆյուսի հալման համար անհրաժեշտ է լրացուցիչ ջերմության ծախս: Հետևաբար, անհրաժեշտ է տալ լավարկված քանակությամբ ֆյուս, որը կապահովի ամենափոքր ծախսեր:

Բովախառնուրդում MoO_3 -ի պարունակության մեծացմանը զուգընթաց, վերականգնման գործընթացում տեսակարար ջերմային էֆեկտը մեծանում է: Այումինաջերմային եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացում

անջատված ջերմությունն ամբողջությամբ ապահովում է գործընթացի իրականացումը ոչ վառարանային եղանակով:

Տեսակարար ջերմային էֆեկտի հաշվարկը կատարել ենք բարձր մաքրությամբ մոլիբդենի եռօքսիդի (MoO_3 -ի պարունակությունը՝ 99%) համար, 100կգ-ի հաշվով: Բովախառնուրդի հաշվարկը ցույց է տալիս, որ նշված քանակի համար անհրաժեշտ է 37,12 կգ ալյումինիում՝ 99% մաքրությամբ, 36,02 կգ երկաթօքսիդի՝ 99,8% մաքրությամբ և 30,0 կգ CaO ՝ որպես ֆլյուս: Բովախառնուրդի ընդհանուր քանակը 203,14 կգ է:



Նկ.1. Տարբեր օքսիդների ավելացման ազդեցությունը Al_2O_3 -ի հալման ջերմաստիճանի վրա

Ջերմության մուտքը, որը ստացվում է ալյումինիումի օքսիդացմամբ, արդյունք է հետևյալ ռեակցիայի.

$$4/3Al + O_2 = 2/3Al_2O_3,$$

$$\Delta H = -262200 \text{ կՋ},$$

$$\frac{37,12 \cdot 0,99 \cdot 262200}{4/3 \cdot 27} = 267654 \text{ կՋ}:$$

MoO_3 -ի դիսոցիացման էնդոթերմիկ ռեակցիայից ստացված ջերմության ելքը՝

$$2/3MoO_3 \rightarrow 2/3Mo + O_2,$$

$$\Delta H = +117670 \text{ կՋ},$$

$$\frac{99 \cdot 0,99 \cdot 117670}{2/3 \cdot 144} = 120134 \text{ կՋ}:$$

Մոտավոր ջերմային էֆեկտը՝

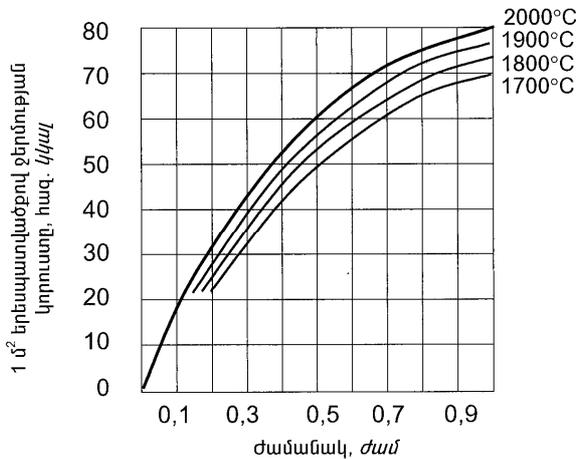
$$-267654 + 120134 = -147520 \text{ կՋ}:$$

Այս դեպքում տեսակարար ջերմային էֆեկտն ըստ բովախառնուրդի կկազմի՝

$$147520 : 203 \approx 727 \text{ կՋ/կգ}:$$

Հալման գործընթացի ջերմային կորստի մեծությունը կախված է հալվող նյութի ծավալից: Մեծ քանակությամբ նյութի հալման ժամանակ փոքրանում են հալման ժամանակամիջոցը և ջերմային կորուստները: 1 l^2 երեսպատվածքով ջերմության կորուստը, կախված գործընթացի ժամանակահատվածից, ցույց է տրված նկ.2-ում:

Դիագրամից երևում է, որ ջերմահաղորդականությամբ պայմանավորված ջերմության կորուստը կտրուկ փոքրանում է գործընթացի տևողության փոքրացմանը համապատասխան:



Նկ.2. Ջերմության կորուստը ջերմահաղորդականությամբ այլումինաջերմային գործընթացում

Կատարված հետազոտությունների հիման վրա հաշվարկվել են այլումինաջերմային եղանակով մաքուր ֆերոմոլիբդենի ստացման ժամանակ անջատված ջերմության քանակը, որը միանգամայն բավարար է գործընթացի լրիվ իրականացման համար, ջերմային կորուստները և բովախառնուրդի ծախսը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Рысс М.А.** Производство ферросплавов.- М.: Металлургия, 1968.- С. 5 - 22.
 2. **Елютин В.П., Павлов Ю.А., Левин Б.Е., Алексеев Е.М.** Производство ферросплавов.-М.: Гос. научн.-техн. изд.-во лит.-ры по черной и цветной металлургии, 1957. - С. 266 - 273.
- ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 07.10. 2003:

Ս.Գ. ԱԳԲԱԼՅԱՆ, Փ.Ա. ՀԱԿԱՐՅԱՆ, Ա.Մ. ՕԳԱՆԵՍՅԱՆ КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМОЛИБДЕНА АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Проведено исследование кинетики и механизма получения ферромolibдена алюминотермическим способом. Рассчитано количество выделенного в течение процесса тепла, определены тепловые потери и произведен расчет шихты. Показано, что в период восстановления реакции количество выделенного тепла полностью удовлетворяет требованиям количества тепла, необходимого для всего процесса.

S.G. AGHBALYAN, F.A. ZAKARYAN, A.M. HOVHANNISYAN KINETICS AND MECHANISM TO OBTAIN FERROMOLYBDENUM BY ALUMINIUM-THERMAL METHOD

The investigation of kinetics and the mechanism of obtaining ferromolybdenum by aluminum-thermal method is introduced. The amount of the released heat is calculated, the heat losses are defined and the charge calculation is carried out. It is shown that in the period of the reaction reduction, the amount of the released heat completely meets the requirements for the heat amount necessary for the whole process.

А.О. ОВСЕПЯН, Г.М. АЙРАПЕТЯН, С.А. МИНАСЯН

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКА ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ

Исследован процесс очистки молибденитового концентрата от сопутствующих примесей пут, м предварительной обработки метасиликатом или карбонатом натрия и выщелачивания минеральными кислотами. Выявлено, что очищенный продукт содержит более 99,8% молибденита.

Ключевые слова: молибденит, концентрат, очистка, метасиликат натрия, выщелачивание, кислота.

Молибденит высокой чистоты (природный дисульфид молибдена MoS_2) используют в технике как твердые смазочные материалы, где обычные масла и смазки не могут работать (высокие температуры, давление, агрессивные среды, радиация и др.). Применяется в виде твердых пленок, пасты для тяжело нагруженных передач, долговременной смазки в точной механике, порошкообразной смазки в процессе прокатки, волочения стали, присадок к маслам, добавки к пластмассам, а также в антифрикционных металлокерамических, полимерных и других материалах [1].

Целью исследования является разработка технологии получения смазочного материала из флотационных молибденитовых концентратов, выпускаемых Каджаранской и Агаракской обогатительными фабриками РА.

Получение MoS_2 высокой чистоты (более 99,5%) пут, м механического обогащения или флотации, без химической обработки, представляет довольно сложный процесс. Существующая в настоящее время технология переработки концентрата с целью получения чистого дисульфида молибдена включает тонкое измельчение с флотацией и обработку материала различными химическими реагентами, что требует больших расходов реагентов и продолжительного времени - более 150 ч [2-4].

Предлагаемая комбинированная технология (см. рис.) значительно упрощает процесс производства, сокращает длительность процесса в $\sim 4...5$ раз, позволяет осуществить регенерацию израсходованных реагентов, доизвлечение молибдена из кислых растворов, получение на их основе таких продуктов, как молибдат железа (ферримолибдат), фтористый кальций, аммиачная селитра и др.

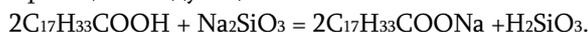
Принципиальная схема получения чистого MoS_2 с минимальным содержанием примесей из концентрата Каджаранского месторождения, имеющего примерно следующий хим. состав, %: 48,4 Mo; 0,87 Cu; 2,75 Fe; 6,14 SiO_2 ; 1,06 Al_2O_3 ; 1,02 CaO; 0,47 MgO; 33,1S; 4 H_2O +флотомасла и пр., включает в себя следующие операции:

1. Удаление флотореагентов и обесшламливание Mo концентрата.

Очистку концентрата от флотореагентов проводили метасиликатом или карбонатом натрия, обладающих моющими свойствами, благодаря чему они

нейтрализуют жирные кислоты, образуют растворимые соли соответствующих кислот, удерживающихся во взвешенном состоянии и не осаждающихся на концентрате. Процесс ведется при температуре 80...85 °С в течение 1 часа при соотношении компонентов 2:1:0,1.

Одна из примерных реакций следующая:



При избытке Na_2SiO_3 образуются полисиликаты- $nNa_2O \cdot mSiO_2$, которые также остаются в растворе. Затем пульпа подается в виброкавитационную мельницу (или шаровую) на измельчение концентрата для вскрытия сростков MoS_2 с кварцем и уменьшения размеров частиц молибденита. При 96% доизмельчения класс составляет -140 мкм.

Для частичной очистки концентрата от кварца и углистых частиц используют разницу в удельных весах молибденита и шлама в водной среде: у MoS_2 -4,7...4,8 г/см³, у шлама -2,1...2,65 г/см³ с декантациями.

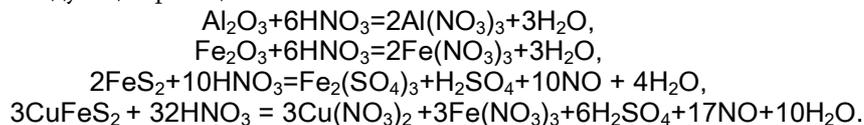
2. Химическая обработка концентрата с целью глубокой очистки MoS_2 от примесей:

а) на первой стадии для селективной очистки концентрата от сопутствующих примесей влажный концентрат подвергали выщелачиванию 3%-ой азотной кислотой при соотношении Т:Ж=1:2, температуре 55...60°С в течение 5 часов. В этой операции в раствор переходят кальций, магний, часть железа, алюминия и другие примеси в виде растворимых нитратов. Затем полученную пульпу фильтровали, осадок промывали чистой водой (3-4 раза) до рН=7 для удаления оставшихся реагентов и растворенных примесей. Отмывка должна быть полной, так как во втором выщелачивании возможно образование фторида кальция, плохо растворимого в воде и загрязняющего продукт;

б) для дальнейшего снижения примесей в молибдените очистку двуокиси кремния подвергали второму выщелачиванию 20%-ой плавиковой кислотой при соотношении Т:Ж=1:1, температуре 60° С (в течение 12 ч). При этом в раствор переходят кремнефтористая кислота, окислы меди, фосфора и другие примеси. При этом протекают следующие реакции:



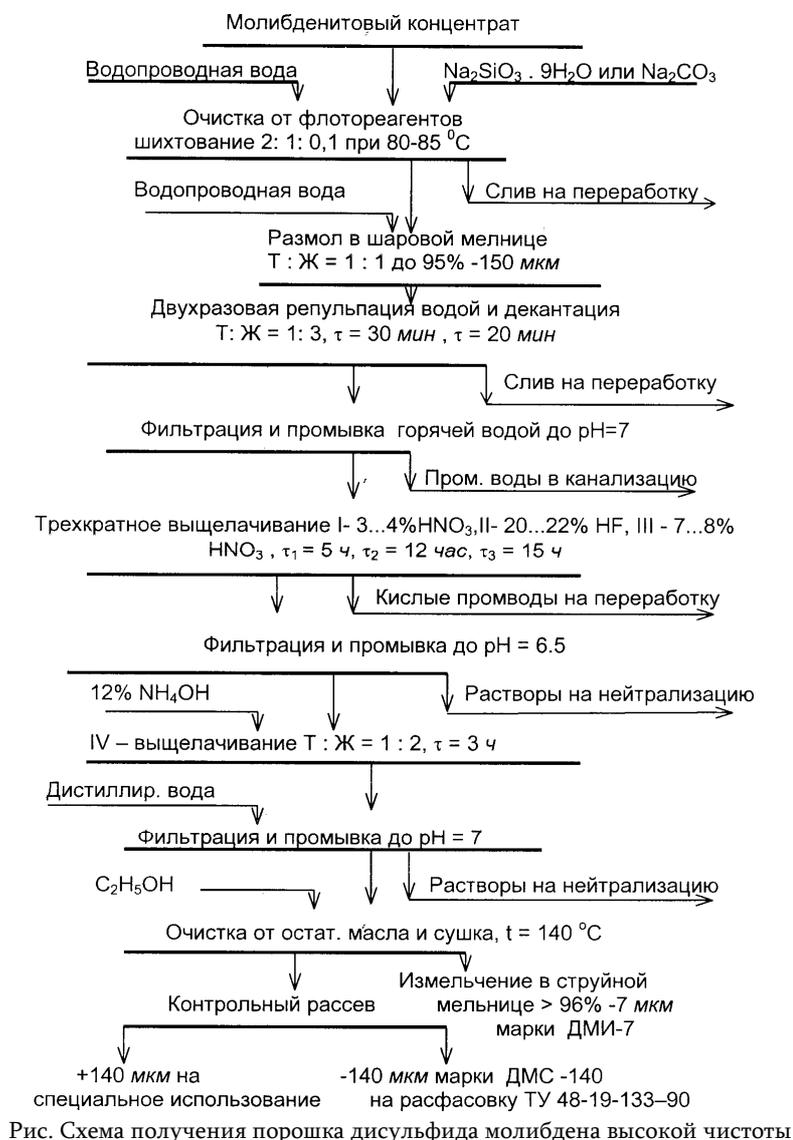
в) с целью удаления оставшихся окислов алюминия, сульфидов железа концентрат после второго выщелачивания подвергали третьему выщелачиванию 7%-ой азотной кислотой при соотношении Т:Ж=1:3, температуре 55...60°С. При этом протекают следующие реакции:



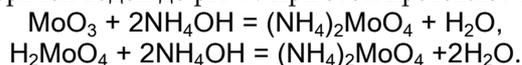
Известно, что азотная кислота более 20%-ой концентрации при нагревании активно окисляет молибденит с образованием молибденовой кислоты [5,6]:



Подача кислоты производится в течение 6...7 ч порционно во избежание бурного пенообразования и выбросов. При постоянной агитации процесс продолжается 15...16 ч.



На четвертом выщелачивании для удаления с поверхности минерала оставшейся тр,хокси молибдена и мизерного количества образующейся молибденовой кислоты проводили промывку осадка 12%-ым раствором аммиака, а затем дистиллированной горячей водой до pH=7. При этом протекают следующие реакции:



После промывки водой продукт снова промывают гидролизным этиловым спиртом или другим растворителем при соотношении Т:Ж= =10:1 для очистки от остаточного масла и влаги с фильтрацией. Затем его сушат на воздухе с облучением инфракрасными лучами или в вакууме при температуре 140...150°С до приобретения

постоянного веса. Всушенный концентрат подается на просев через контрольное вибросито с диаметром ячеек 140 мкм. Класс +140 мкм отделяется для использования в других целях или возвращается в головной процесс, а класс -140 мкм - молибденит высокой чистоты.

Таким образом, обработка указанным способом обеспечивает получение продукта высокой чистоты примерно следующего состава, %: не менее 99,8 MoS₂ и примесей не более: 0,035 SiO₂; 0,03 MgO; 0,05CaO; 0,024 Fe₂O₃ +Al₂O₃, окисленных Mo 0,02 и др., что соответствует ТУ- 48-19-133-90. Рентгенограмма полученного MoS₂ соответствует гексагональной модификации молибденита (2H-MoS₂).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сентюрихина Л.Н., Опарина Е. М.** Твердые дисульфид -молибденовые смазки. -М.: Химия, 1966. -152 с.
2. **Крейн О. Е., Кобахидзе Л. П.** Сравнительная экономическая оценка методов получения дисульфида молибдена //Известия вузов. Цветная металлургия. -1959. - № 3. - С. 130-134.
3. **Скоров В. А., Кулешов В.А.** Практика получения молибденита высокой чистоты // Цветные металлы.-1960.-№3.-С. 1-4.
4. Способ получения дисульфида молибдена. Патент России № 2030468, С22в 34/34, 1995.
5. **Федулов О. В., Тараненко Б.И., Пономарев В. Д., Свечкова Л.В.** Окисление молибденита растворами азотной кислоты // Металлургия и обогащение: Сб. ст. асп. и соискат. - Алма-Ата. - 1966 -Т.2.-С. 86-94.
6. **Нерезов В. М., Закарчевная О.Г., Дадабаев А. Ю., Кальков А. А.** Изучение кинетики разложения молибденита азотной кислотой // Тугоплавкие металлы: Сб. науч. тр. ВНИИТС. -М. : Металлургия, 1985. -С.16-19.

ИОНХ НАН РА. Материал поступил в редакцию 07.10. 2003.

Ա. Հ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Գ. Մ. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ս.Հ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ ԲԱՐՁՐ ՄԱՔՐՈՒԹՅԱՆ ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԵՐԿՍՈՒԼՖՐԻՓՈՇՈՒ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ

Ուսումնասիրված է մոլիբդենիտային խտանյութերի՝ ուղեկցող խառնուրդներինց մաքրման գործընթացը՝ նատրիումի մետասիլիկատով կամ կարբոնատով նախնական մշակմամբ և հանքային թթուներով լուծազատումով: Պարզվել է, որ մաքրված նյութը պարունակում է 99,8 % մոլիբդենիտ:

A.H. HOVSEPYAN, G.M. HAYRAPETYAN, S. H. MINASYAN TECHNOLOGY OF POWDER DISULPHIDE MOLYBDENUM PRODUCTION WITH HIGH CLEANLINESS

The molybdenite concentrate refinement process from existing impurities by the preliminary treatment via metasilicate and carbonate sodium and via treatment with the base and mineral acid is examined. It is revealed that the refined material contains more than 99,8% molybdenite.

А.Г. ОГАНЕСЯН

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ ПРИ НИСХОДЯЩЕЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ С ПОСЛОЙНОЙ ВЫЕМКОЙ РУДЫ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ

Характерной особенностью системы подземной разработки нисходящими слоями с твердеющей закладкой является стадийность отработки слоевых запасов руд, сущность которой заключается в строгой последовательности отработки первичных очистных заходок и междузаходочных целиков. Последние являются очистными заходками второй, третьей и прочих очередей после предварительной закладки ранее отработанных заходок с твердеющими смесями. Геомеханическими исследованиями выявлено, что, при прочих равных условиях, чем больше количество стадий отработки эксплуатационного слоя, тем ниже требуемая прочность закладочного материала.

Ключевые слова: закладка, добыча, система, целик, заходки, порядок отработки, слой.

Нисходящие системы послойной разработки с твердеющей закладкой применяют при добыче высокоценных руд, так как, помимо повышенных затрат, они обеспечивают высокие качественно-количественные показатели.

Особенностью нисходящей системы послойной разработки с закладкой является то, что отработка рудных тел ведется горизонтальными или слабонаклонными слоями под искусственной кровлей, образованной твердеющей закладкой вышележащего слоя. Закладочный массив, созданный в выработанном пространстве, служит для поддержания боковых и налегающих пород и образует надежную искусственную кровлю при выемке каждого последующего слоя [1].

Технология эксплуатации слоевых запасов руд предусматривает проведение очистных заходок, отработка которых в слое может осуществляться через одну, две и более заходок. Иными словами, главным отличием очистной выемки в эксплуатационном слое является стадийность отработки, сущность которой заключается в строгой последовательности отработки первичных очистных заходок и междузаходочных целиков. Последние в зависимости от их ширины в дальнейшем являются очистными заходками второй, третьей и прочих очередей после предварительной закладки предыдущих заходок с твердеющими смесями (рис. 1).

В этих условиях рассмотрим физическую сущность работы искусственных массивов в различные периоды времени разработки.

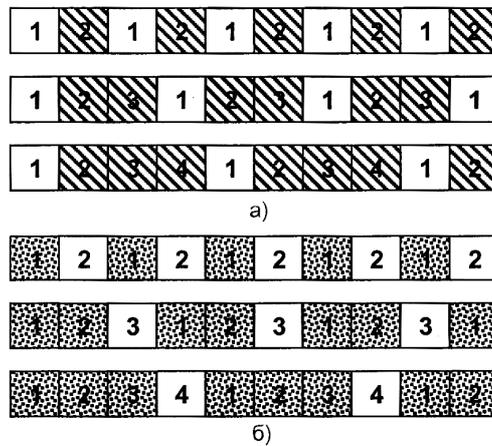


Рис.1. Последовательность отработки очистных заходов в начале (а) и в конце (б) выемки эксплуатационного слоя при нисходящих системах послойной разработки с твердеющей закладкой: 1,2,3,4-последовательность отработки заходов
 ▨ - руда ▩ - твердеющая закладка

В [2-5 и др.] показано, что процессы нагружения искусственных целиков и их взаимодействие с вмещающими породами коренным образом отличаются от аналогичных процессов у естественных целиков. Эти отличия состоят в том, что, во-первых, рудный целик, как часть горного массива, всегда находится в напряженном состоянии, величина которого возрастает по мере выемки смежных первичных заходов, а искусственный целик возводят после определенных деформаций пород кровли заходов. Во-вторых, в результате усадки твердеющей закладки искусственный целик не может сразу воспринимать нагрузку веса налегающих пород, кроме того, твердеющая закладка и рудный массив характеризуются различной жесткостью – существенно меньше жесткость искусственного массива.

Первоначально на первой стадии отработки извлекаются запасы руды в первичных заходках, после чего в эксплуатационном слое устанавливается равновесие. Основным геомеханическим процессом, протекающим в массиве горных пород на этой стадии, является формирование напряженного состояния рудных ленточных целиков в условиях меняющегося пролета выработанного пространства. При этом в конце стадии нагрузка распределяется на временно оставленные рудные целики.

После отработки, заполнения твердеющими смесями первичных заходов и достижения закладкой нормативной прочности приступают к извлечению запасов руды вторичных заходов, которые составляют часть рудного междузаходочного целика. Следовательно, между вторичными заходками остается ленточный междузаходочный целик, представленный рудой и закладочным материалом (комбинированные целики). В связи с тем, что жесткость рудного массива на порядок выше материала твердеющей закладки, основными несущими элементами остаются рудные части междузаходочных комбинированных целиков. При этом искусственные целики, возводимые из твердеющей смеси, нагружены лишь весом пород свода

давления и играют роль подпорных стенок, способствуя увеличению несущей способности рудных массивов.

Аналогичным способом извлекают запасы руды из оставшейся части рудного междузаходочного целика с заходками третьей и последующих (при необходимости) очередей и постепенной передачей веса налегающей толщи от рудных целиков на искусственные целики, которые в последней стадии уже сами являются основными конструкциями, обеспечивающими безопасность горных работ в пределах эксплуатационного слоя.

Таким образом, приведенные теоретические рассуждения свидетельствуют о том, что последовательность проходки первичных и последующих очередей заходок, наряду с обеспечением необходимой прочности закладочного массива, является основным способом управления горным давлением при нисходящей системе послойной разработки с закладкой.

Исходя из вышеизложенного, геомеханическое обоснование поддержания выработанного пространства в пределах эксплуатационного слоя при системе разработки нисходящими слоями с твердеющей закладкой сводится к задаче определения прочности закладочного материала в зависимости от количества стадий отработки слоя.

При относительно небольших глубинах и сравнительно больших площадях отработки решение вышеотмеченной задачи следует производить на основе следующих предположений и допущений.

1. Междузаходочные искусственные целики воспринимают нагрузку всей толщи налегающих пород в пределах площади выработанного пространства [6].

2. Искусственные целики представляют собой своеобразные распорные конструкции, являющиеся основными несущими элементами; по условиям взаимодействия с вмещающими породами они работают на сжатие в независимом режиме, то есть воспринимают нагрузку от вышележащих пород и передают на почву.

3. Напряжения по площади поперечного сечения искусственного целика в течение времени распределяются равномерно. При этом неравномерность распределения напряжений учитывается коэффициентом запаса прочности.

4. Расчеты производятся по допускаемым напряжениям, то есть прочность искусственных целиков оценивается путем сравнения величины действующих в целике давлений с допускаемым напряжением, величина которого принимается различной в зависимости от отношения высоты целика к его ширине. В данном случае высота целика равна высоте эксплуатационного слоя, а ширина целика – кратной ширине первичных заходок.

Основываясь на этих допущениях и согласно расчетной схеме (рис. 2), величина вертикальной нагрузки (Q), приходящейся на 1 м длины междузаходочного ленточного искусственного целика, составляет

$$Q = 1000q(b_{ц} + l_3), \text{ кН}, \quad (1)$$

где q – величина вертикального давления в пределах выемочного слоя, $МПа$; $b_{ц}$ – ширина междузаходочного искусственного целика, $м$; l_3 – ширина одиночной заходки, $м$.

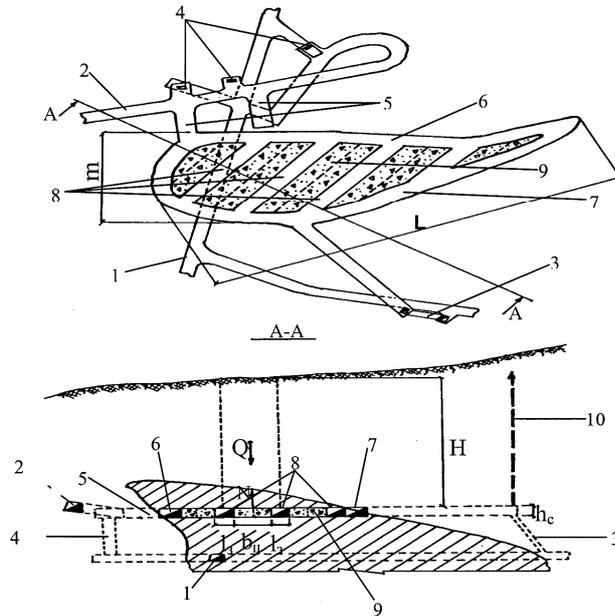


Рис. 2. Система разработки нисходящими слоями с твердеющей закладкой и схема к расчету ширины искусственного целика: 1 - штольня, 2 - транспортный уклон; 3 - вентиляционный восстающий; 4 - рудоспуски; 5 - заезды; 6 - транспортный штрек; 7 - вентиляционно-закладочный штрек; 8 - очистные заходки; 9 - твердеющая закладка; 10 - закладочная скважина

Исходя из унификации конструктивного оформления системы разработки, величина $b_{ц}$ должна быть кратной ширине одиночной заходки.

Величина q определяется по формуле

$$q = 0,001 \gamma g H, \quad (2)$$

где σ - объемная масса налегающих пород, t/m^3 ; g - ускорение свободного падения, $g = 10 \text{ м/с}^2$; H - глубина разработки эксплуатационного слоя, $м$.

Подставив выражение (2) в (1), получим

$$Q = \gamma g H (b_{ц} + l_3). \quad (3)$$

Несущая способность 1 м междузаходочного искусственного целика составляет

$$N = \frac{1000 \sigma_{сж} b_{ц} K_{\phi}}{K_3}, \quad кН, \quad (4)$$

где $\sigma_{ж}$ - временное сопротивление закладочного массива междузаходочного целика одноосному сжатию, $МПа$; K_{ϕ} - коэффициент формы; K_3 - коэффициент запаса прочности целика, принимаемый равным 2...3.

Физический смысл K_{ϕ} состоит в том, что он учитывает влияние геометрических размеров целика на его несущую способность. Чем больше отношение ширины целика к его высоте, тем большая часть его работает в условиях всестороннего сжатия и, следовательно, обладает повышенным сопротивлением. K_{ϕ} является эмпирической

приближенной величиной и при условии $b_{ц} \geq h_c$ (характерно для данной системы) определяется по формуле

$$K_{\phi} = b_{ц} / h_c, \quad (5)$$

где h_c – высота эксплуатационного слоя, м.

Для устойчивости междузаходочного искусственного целика необходимо соблюдать следующее условие:

$$N \geq Q. \quad (6)$$

Подставив значение K_{ϕ} в (4), на основе (6) определим временное сопротивление на одноосное сжатие закладочного материала:

$$\sigma_{сж} = 0,001 \gamma_{г} H K_3 h_c \left[\frac{1}{b_{ц}} + \frac{\ell_3}{b_{ц}^2} \right]. \quad (7)$$

С другой стороны, исходя из технологических соображений, имеем

$$b_{ц} = (n_{ст} - 1) \ell_3, \quad (8)$$

где $n_{ст}$ - число стадий отработки эксплуатационного слоя.

Тогда формула определения $\sigma_{сж}$ в зависимости от $n_{ст}$ будет иметь следующий вид:

$$\sigma_{сж} = 0,001 \gamma_{г} H K_3 h_c \frac{n_{ст}}{\ell_3 (n_{ст} - 1)^2}. \quad (9)$$

На рис. 3 показан график изменения $\sigma_{сж}$ в зависимости от $n_{ст}$ для следующих условий: $\gamma = 2,5 \text{ т/м}^3$, $H = 50 \text{ м}$, $K_3 = 3$, $h_c = 3 \text{ м}$ и $\ell_3 = 3 \text{ м}$.

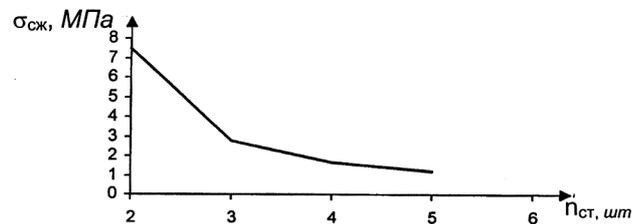


Рис. 3. График зависимости $\sigma_{сж}$ от $n_{ст}$

Представленный на рис. 3 график позволяет убедиться в том, что, при прочих равных условиях, чем больше число стадий отработки эксплуатационного слоя ($n_{ст}$), тем ниже требуемая прочность закладочного массива ($\sigma_{сж}$), а следовательно, стоимость закладочного материала.

Таким образом, произведено геомеханическое обоснование порядка очистной выемки при нисходящей системе послойной разработки с закладкой. Отличительной особенностью этой задачи является множественность справедливых решений. Однако существует оптимальное число стадий отработки, так как, помимо вышеустановленной закономерности, при увеличении количества стадий отработки сокращается число очистных заходов, находящихся в одновременной работе, т.е. снижается производительность эксплуатационного слоя. Этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А.** Разработка рудных и нерудных месторождений. -М.: Недра, 1983.- 424 с.
2. **Цигалов М.Н.** Подземная разработка с высокой полнотой извлечения руд. -М.: Недра, 1985.- 272 с.
3. **Кравченко В.П., Куликов В.В.** Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. -М.: Недра, 1974.- 200 с.
4. **Борщ – Компониец В.И., Макаров А.Б.** Горное давление при отработке мощных пологих залежей. -М.: Недра, 1986.- 271 с.
5. **Требуков А.Л.** Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд. -М.: Недра, 1981.- 172 с.
6. **Шевяков Л.Д.** О барьерных целиках при разработке месторождения с покидаемыми опорными столбами // Методы определения размеров опорных целиков и потолочин. -М.: Изд-во АН СССР, 1962.- С.73 – 77.

ГИУА Материал поступил в редакцию 30.09.2003.

Ա. Հ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՎԱՐՐԸԹԱՑ ՇԵՐՏԵՐԻ ՀԱՆՈՒՄՈՎ ԵՎ ՊՆԴԱՑՈՂ ԼՅԱՆՑՈՒԹՈՎ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԵՊՔՈՒՄ ՄԱՔՐԱՀԱՆՈՒՅԹԻ ՎԱՐԳԻ ԵՐԿՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ

Վարընթաց շերտերի հանումով և պնդացող լցանյութով մշակման համակարգի կիրառման դեպքում հանքաքարի շերտային պաշարները մշակում են փուլային կարգով, այսինքն՝ առաջնային մաքրման մուտքափորվածքների և միջմուտքափորվածքային բնամասերի մշակման խիստ հաջորդական կատարմամբ: Բնամասերը երկրորդ, երրորդ և այլ հերթի մաքրման մուտքափորվածքներ են, որոնք նախապես լցված են պնդացող խառնուրդներով: Երկրամեխանիկական հետազոտություններով բացահայտվել է, որ այլ հավասար պայմաններում, որքան մեծ է շահագործական շերտի մշակման փուլերի թիվը, այնքան ցածր է լցանյութի պահանջվող ամրությունը:

A.G. HOVHANESSYAN GEOMETRICAL GROUNDING OF SEWAGE PIT ORDER IN DOWNWARD LAYER ORE PIT MINING SYSTEM WITH HARDENING FILLING

The peculiarity of the underground survey system by downward layers with hardening filling is the stageness of working layer ore resources, the essence being in strict sequence of working the primary sewage filling and interfilling. The latter is sewage fillings of the second, third and other queues after preliminary filling of the worked out earlier fillings with hardening mixtures. By geometrical studies it is revealed that in all other equal conditions the more the amount of operating mining layer stages, the lower the filling material strength is required.

Ս.Ա. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ԲԱՑԱՀԱՆՔԻ ԵՆԹԱՀԱՆՔԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐՈՎ ՄՇԱԿՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Դիտարկվում է բաց լեռնային աշխատանքների տեխնոլոգիաների կատարելագործման խնդիրը՝ հիմնական շեշտը դնելով ենթահանքաստիճաններով մշակման տեխնոլոգիաների հետազոտման հարցերի վրա: Դիտարկվել են Քաջարանի պղնձա-մոլիբդենային հանքավայրի պայմաններում ենթահանքաստիճաններով մշակման տեխնոլոգիական տարբերակներից մեկի օգտագործման հնարավորությունները, հիմնավորվել է վերջինիս կիրառման սնտեսական նպատակահարմարությունը:

Առանցքային բառեր. բացահանք, ենթահանքաստիճան, որակական և քանակական կորուստներ, խտանյութ, կորզում:

Բացահանքի հանքաստիճաններով մշակման սխեմաները գործնական լայն տարածում են ստացել, այդ առումով էլ բացահանքերի բացմանը, մշակման համակարգին, համալիր մեքենայացման կառուցվածքներին և արտադրական բոլոր գործընթացներին վերաբերող խնդիրներն ուսումնասիրվել և ուսումնասիրվում են՝ կապված հանքաստիճանային մշակման հետ: Ենթահանքաստիճանային մշակումը կիրառվել է մասնակիորեն՝ բացահանքի որևէ տեղամասում, այդ պատճառով էլ վերոհիշյալ խնդիրները մինչև այժմ չեն դարձել լայն ուսումնասիրության առարկա:

Ենթահանքաստիճանային մշակման սխեմաներն ունեն և՛ առավելություններ, և՛ թերություններ [1], սակայն դրանք հաստատուն չեն և պայմանավորված են բազմաթիվ գործոններով. (հանքավայրի ռելիեֆը, հանքամարմնի անկման անկյունն ու միատարրությունը, ապարների ամրությունը և այլն): Այս առումով մշակման ենթահանքաստիճանային մշակման սխեմաների կիրառումը որոշակի պայմաններում կարող է լինել շահավետ, իսկ այլ պայմաններում՝ ոչ: Այդ իսկ պատճառով, կարևոր է որոշել ենթահանքաստիճանային մշակման այս կամ այն սխեմայի արդյունավետ օգտագործման պայմանները: Վերոհիշյալից ելնելով՝ մեր կողմից առաջարկվող ենթահանքաստիճանային մշակման տեխնոլոգիական սխեմաների տարբերակման հիմքում դրվել են հետևյալ հատկանիշները.

1) ենթահանքաստիճաններում տրանսպորտային միջոցների տեղադրման հորիզոնը,

2) ենթահանքաստիճանների բարձրությունը:

Առաջին հատկանշի համաձայն՝ առաջարկվող սխեմաները բաժանվում են երկու խմբի.

- սխեմաներ, որոնցում տրանսպորտային հորիզոնը ենթահանքաստիճանային համակարգի ներքևի հորիզոնն է (նկ.1 ա),
- սխեմաներ, որոնցում տրանսպորտային հորիզոնը ենթահանքաստիճանային համակարգի միջանկյալ հորիզոնն է (նկ.1 բ):

Առաջին խմբին պատկանող սխեմաները կիրառելի են ժայռային, իսկ երկրորդը՝ թույլ և փխրուն ապարների մշակման համար:



Նկ.1

Երկրորդ հատկանշի համաձայն, առաջին խմբի սխեմաներում յուրաքանչյուր ենթահանքաստիճանի բարձրությունը կարող է լինել հաշվարկային H մեծությունից ոչ ավելի, որը հանքաստիճանի՝ մեզ հայտնի բարձրությունն է: Երկրորդ խմբի սխեմաներում ներքևի ենթահանքաստիճանի բարձրությունը սահմանափակվում է հաշվարկային H' մեծությամբ, որը վերևային բարձում իրականացնող հանքաստիճանի ամենամեծ բարձրությունն է [2]: Երկրորդ հատկանիշով առաջարկվող ենթահանքաստիճաններով մշակման տեխնոլոգիական սխեմաները ներկայացված են աղ. 1-ում: Աղյուսակ 1

Ենթահանքաստիճանային մշակման տեխնոլոգիական սխեմաները

Տ Ե Խ Ն Ն Լ Ն Պ Ի Ա Կ Ա Ն ս Խ Ե Մ Ա Ն Ե Ր		
Համարները	Պարամետրերը	Բ ն ու թ ա գ ի Ր Ը
I	$h_{t1} = h_{t2} = H$	Յուրաքանչյուր ենթահանքաստիճանի բարձրություն ընդունվում է հավասար հաշվարկային H մեծությանը:
II	$(h_{t1} = h_{t2}) < H$ $H < (h_{t1} + h_{t2})$	Յուրաքանչյուր ենթահանքաստիճանի բարձրություն փոքր է հաշվարկային H մեծությունից, սակայն նրանց գումարային բարձրությունը գերազանցում է այդ մեծությանը:
III	$h_{t1} = h_{t2} = 0.5H$	Յուրաքանչյուր ենթահանքաստիճանի բարձրություն ընդունվում է հավասար հաշվարկային H մեծության կեսին:
IV	$h_{t1} + h_{t2} \leq H$ ա) $h_{t1} > h_{t2}$ բ) $h_{t1} < h_{t2}$	Յուրաքանչյուր ենթահանքաստիճանի բարձրություն վերցվում է տարբեր չափերի, սակայն նրանց գումարային մեծությունը չի գերազանցում հաշվարկային H մեծությանը:
V	$h_{t1} \geq H'$ $h_{t2} \leq H$	Ընդհանուր տրանսպորտային միջոցները տեղադրվում են ենթահանքաստիճանների միջանկյալ հորիզոնում՝ առաջացնելով ներքևի ենթահանքաստիճանից ապարների վերևային բարձում:

Բերված սխեմաների կիրառումը՝ կախված հանքամարմնի կազմությունից, տեղադրման տարրերից, բեռնաթափման կետերի տեղադրման վայրերից, մակերևույթի ռելիեֆից, բացման եղանակից և այլն, անմիջական ազդեցություն է թողնում այնպիսի արտադրական գործընթացների և աշխատանքների վրա, ինչպիսիք են

լեռնանախապատրաստական, հորատապայթեցման, հանութաբարձման և տեղափոխման աշխատանքները, հանքաքարի որակական ու քանակական կորուստները, բացահանքի մշակման ռեժիմը և այլն:

Այդ ազդեցությունների գնահատման համար կազմվել են նշված հիմնական գործընթացների ինքնարժեքների մաթեմատիկական մոդելները, որոնց հիմքում դրված է այդ ինքնարժեքների կախվածությունը հանքաստիճանի բարձրությունից.

$$C_{\text{հպ}} = \frac{K_{\text{h1}}}{(H_{\text{h}}K_{\text{h2}} + K_{\text{h3}})^2}, \eta p / u^{\beta}, \quad (1)$$

$$C_{\text{բ}} = K_{\text{բ1}} + \frac{K_{\text{բ2}}}{K_{\text{բ3}} \cdot H_{\text{h}}^2}, \eta p / u^{\beta}, \quad (2)$$

$$C_{\text{տ}} = H_{\text{h}} \cdot K_{\text{տ1}} + K_{\text{տ2}}, \eta p / u^{\beta}, \quad (3)$$

որտեղ $C_{\text{հպ}}$ - ն, $C_{\text{բ}}$ - ն և $C_{\text{տ}}$ - ն, համապատասխանաբար, հորատապայթեցման, հանութաբարձման և տեղափոխման աշխատանքների ինքնարժեքներն են, $\eta p / u^{\beta}$, K_{ij} - ն՝ գործակիցներ, որոնք հաշվի են առնում մշակման տվյալ պայմաններին համապատասխանող տեխնիկական, տեխնոլոգիական և տնտեսական այն պարամետրերն ու ցուցանիշները, որոնք կախված չեն հանքաստիճանի բարձրությունից, H_{h} - ն՝ հանքաստիճանի բարձրությունը, u :

Այսպիսի մոտեցմամբ հնարավոր է որոշել այդ աշխատանքների ինքնարժեքները հանքաստիճանի տարբեր բարձրությունների դեպքում, իսկ երկու ենթահանքաստիճանների սահմաններում յուրաքանչյուր աշխատանքի միջին ինքնարժեքն արտահայտվում է նրանց միջին կշռային մեծությամբ:

Այսպիսով՝ համապատասխան մաթեմատիկական մոդելներից կարելի է եզրակացնել, որ հանքաստիճանի բարձրության փոքրացումը հանգեցնում է ինչպես հորատապայթեցման, այնպես էլ հանութաբարձման ծախսերի մեծացման: Բարձրան ծախսերի մեծացումը պայմանավորված է կրկնակի բարձրող ծավալներով և հանութաբարձիչ սարքավորման արտադրողականության փոքրացմամբ: Հանքաստիճանի բարձրության փոքրացումն իր հերթին հանգեցնում է տեղափոխման ծախսերի կրճատմանը և, ամենակարևորը, հանքաքարի որակական ու քանակական կորուստների նվազեցմանը [3], որը և ենթահանքաստիճաններով մշակման գլխավոր առավելությունն է (աղ. 2):

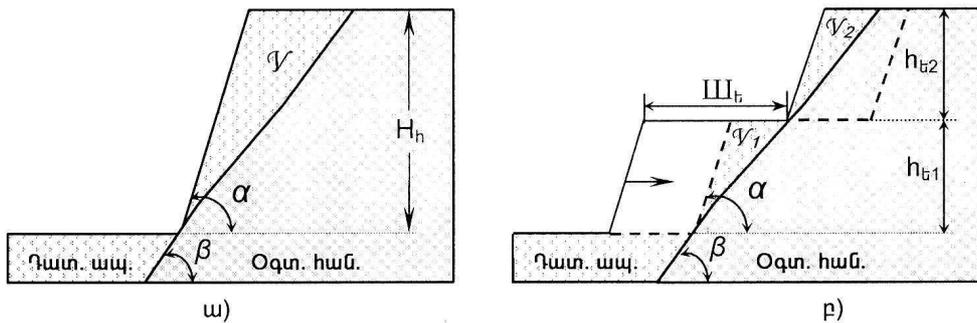
Այս տեսանկյունից ելնելով՝ դիտարկվել են նշված գործոնների ազդեցությունների սահմանները Քաջարանի պղնձամոլիբդենային հանքավայրի պայմաններում, որտեղ ընդհանուր կորուստների մոտ 75...80%-ը տեղի են ունենում հանքամարմնի և դատարկ ապարների հպման տեղամասերում: Եթե ընդունենք, որ այդ տեղամասերում առաջանում են միայն որակական կորուստներ, ապա այդ կորուստներն առաջացնող ծավալը կկազմի V (նկ.2ա): Ինչպես նշվել է, հանքաստիճանի բարձրության փոքրացմանը զուգընթաց փոքրանում է նաև կորուստների ծավալը, ուստի, եթե մեկ հանքաստիճանը վերածվի երկու ենթահանքաստիճանների (III և IV սխեմաներ), զգալի չափով կփոքրանա այդ սահմաններում առաջացող կորուստների ծավալը: Նվազագույն կորուստներ կառաջանան այն դեպքում, երբ ներքևի և վերևի ենթահանքաստիճանների բարձրությունները վերցվեն հանքաստիճանի բարձրության կեսի չափով, ինչի հետևանքով ենթահանքաստիճանների

սահմաններում որակական կորուստներն առաջացնող V_1 և V_2 ծավալների գումարը (նկ.2 բ) հավասար կլինի հանքաստիճանային մշակման V ծավալի կեսին:

Աղյուսակ 2

Ենթահանքաստիճանային մշակման սխեմաների օգտագործման ազդեցությունը

N	Գործընթացները և աշխատանքները	Ազդեցությունները ենթահանքաստիճանային մշակման սխեմաների վրա. դրական(+), բացասական(-), չի ազդում(“-“)					
		I սխեմա	II սխեմա	III սխեմա	IV սխեմա	V սխեմա	
1	Լեռնանախապատրաստական աշխատանքներ	+	+	+	+	+	
2	Լեռնային աշխատանքների ռեժիմ	+	+	+	+	+	
3	Հորատապայթեցման աշխատանքներ	“-“	-	-	-	-	
4	Հանութաբարձման աշխատանքներ	-	-	-	-	-	
5	Տրանսպորտային աշխատանքներ	վերելք	-	-	“-“	“-“	+
		վայրէջք	+	+	“-“	“-“	-
6	Կորուստներ և աղբատացում	“-“	+	+	+	+	



Նկ.2

Կարելի է ընդունել, որ նման հարաբերությամբ կորուստներ տեղի են ունենում նաև մնացած տեղամասերում: Այսպիսով, ըստ տեխնիկատնտեսական հաշվարկների, հանքաքարի աղբատացման կրճատման շնորհիվ կորզվող արժեքը կավելանա մոտ 200 դր/մ^3 , իսկ հանութաբարձման և հորատապայթեցման ծախսերը կմեծանան համապատասխանաբար 140 դր/մ^3 և 30 դր/մ^3 :

Ասվածից հետևում է, որ Քաջարանի պղնձամոլիբդենային հանքավայրի պայմաններում ենթահանքաստիճանային մշակման III սխեմայի կիրառումը հնարավորություն կընձեռի 30 դրամով նվազեցնել 1 մ^3 ապարի մշակման ծախսը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Боголюбов В.П., Грачев Ф.Г.** Раздельная разработка месторождений сложного состава. - М.: Недра, 1964.-168 с.
2. **Հովսեփյան Ս.Գ., Սարգսյան Ս.Ա.** Ենթահանքատիճանային մշակման տեխնոլոգիաների հետազոտումը բացահայտելու // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու.- Երևան, 2001.- Հատ.2.- էջ 482:
3. **Հովսեփյան Ս.Գ.** Ընդերքի յուրացման գիտական հիմնախնդիրները: Ուսումնական ձեռնարկ: Մաս I / ՀՊՃՀ.- Երևան, 2001.- 103 էջ:

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.03.2003:

С.А. САРКИСЯН ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРОВ ПОДУСТУПНЫМ МЕТОДОМ

Рассматриваются вопросы усовершенствования технологий открытых горных работ, где главный акцент поставлен на исследовании технологии разработки подступным методом. Показана возможность применения одного из технологических вариантов разработки подступным методом в условиях медно-молибденового месторождения Каджарана. Обоснована экономическая целесообразность его применения.

S.A. SARGSYAN STUDIES ON OPENCAST MINING KNOW-HOW BY A SUBBENCH METHOD

The problems of open-cut technology modernization with the main emphasis on the study of opencast mining know-how by a subbench method are considered. The possibility of one of technological alternatives for mining by a subbench method in copper-molybdenum deposits in Qajaran is shown, its economical expedience application is grounded.

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН, М.А. МНАЦАКАНЯН

РЕАЛИЗАЦИЯ "Y-Z, P-Q" ДИАКОПТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА БОЛЬШОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТНОСИТЕЛЬНО U-Ψ ПАРАМЕТРОВ НЕЗАВИСИМЫХ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Предлагается новый диакоптический метод расчета установившегося режима большой электроэнергетической системы, когда в качестве независимых переменных выбираются модули, аргументы комплексных напряжений станционных узлов и составляющие комплексных токов нагрузочных узлов.

Ключевые слова: модель, система, матрица, узел, нагрузка, параметр, мощность, рекуррентное выражение.

В настоящее время единственным перспективным направлением для решения режимных вопросов больших электроэнергетических систем (ЭЭС) становится метод диакоптики [1-7]. В опубликованных работах в качестве независимых переменных для станционных узлов были выбраны составляющие комплексных напряжений, что вызывает определенные затруднения при решении задач расчета допустимого установившегося режима. В настоящей работе в качестве независимых переменных выбираются модули и аргументы комплексных напряжений, что позволяет рассмотреть также вопрос расчета допустимого установившегося режима ЭЭС.

Рассматривается ЭЭС, состоящая из M независимых узлов. После удаления соответствующего количества линий электропередач ЭЭС, состоящая из M независимых узлов, представляется в виде совокупности радиально связанных N подсистем, состоящих соответственно из M_1, M_2, \dots, M_N узлов так, что $M_1 + M_2 + \dots + M_N = M$.

Для построения соответствующей математической модели принимается та же система индексов, что и в [1]. В результате диакоптическая математическая модель большой ЭЭС представляется как совокупность математической модели радиально связанных подсистем.

Для первой подсистемы имеем

$$\begin{cases} \Phi_{pn_1}(U_{m_1}, \Psi_{Um_1}) = 0, \\ \Phi_{qn_1}(U_{m_1}, \Psi_{Um_1}) = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Phi_{p\ell_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) = 0, \\ \Phi_{q\ell_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) = 0; \end{cases} \quad (2)$$

для второй подсистемы:

$$\begin{cases} \Phi_{pn_2}(U_{m_2}, \Psi_{Um_2}) = 0, \\ \Phi_{qn_2}(U_{m_2}, \Psi_{Um_2}) = 0; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Phi_{p\ell_2}(I'_{k_2}, I''_{k_2}) = 0, \\ \Phi_{q\ell_2}(I'_{k_2}, I''_{k_2}) = 0; \end{cases} \quad (4)$$

для последней N-й подсистемы:

$$\begin{cases} \Phi_{pn_H}(U_{m_H}, \Psi_{Um_H}) = 0, \\ \Phi_{qn_H}(U_{m_H}, \Psi_{Um_H}) = 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Phi_{p\ell_H}(I'_{k_H}, I''_{k_H}) = 0, \\ \Phi_{q\ell_H}(I'_{k_H}, I''_{k_H}) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

В развернутой форме уравнения отдельных подсистем можно представить в виде

$$\begin{cases} \Phi_{pn_i}(U_{m_i}, \Psi_{Um_i}) = \{P_{n_i} - [P_{Bn_i} + \varphi_{pn_i}(U_{m_i}, \Psi_{Um_i})]\} = 0, \\ \Phi_{qn_i}(U_{m_i}, \Psi_{Um_i}) = \{Q_{n_i} - [Q_{Bn_i} + \varphi_{qn_i}(U_{m_i}, \Psi_{Um_i})]\} = 0; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \Phi_{p\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = \{P_{\ell_i} - [P_{B\ell_i} + \varphi_{p\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i})]\} = 0, \\ \Phi_{q\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = \{Q_{\ell_i} - [Q_{B\ell_i} + \varphi_{q\ell_i}(I'_{k_i}, I''_{k_i})]\} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N.$$

Функции φ_{pn_i} , φ_{qn_i} , $\varphi_{p\ell_i}$ и $\varphi_{q\ell_i}$, входящие в (7) и (8), приведены в [6], где приводятся также аналитические выражения P_{Bn_i} , Q_{Bn_i} , $P_{B\ell_i}$ и $Q_{B\ell_i}$.

В настоящей работе предлагается решение систем уравнений (7) и (8) методом минимизации или второго порядка с применением неособенных квадратных матриц Гессе. Применение данного метода требует построения следующей вспомогательной квадратичной функции для любой подсистемы:

$$F_i(U, \Psi) = \sum_i (\Phi_{pn_i}^2 + \Phi_{qn_i}^2). \quad (9)$$

Введем следующее обозначение:

$$W = (U, \Psi). \quad (10)$$

Тогда функция (9) принимает вид

$$F_i(W) = \sum_i (\Phi_{pn_i}^2 + \Phi_{qn_i}^2). \quad (11)$$

Разлагая функцию (11) в ряд Тейлора, получим

$$F(W) = F(W^0) + \frac{\partial F(W)}{\partial W} \Big|_{\omega^0} \Delta W + \frac{1}{2} \Delta W^T \frac{\partial^2 F(W)}{\partial W^2} \Big|_{\omega^0} \Delta W + F(W)_b, \quad (12)$$

где $F(W)_b$ - члены ряда Тейлора выше второго порядка; T - знак транспонирования.

Пренебрегая $F(W)_b$, выражение (12) примет вид

$$F(W) = F(W^0) + \left. \frac{\partial F(W)}{\partial W} \right|_{\omega^0} \Delta W + \frac{1}{2} \Delta W^T \left. \frac{\partial^2 F(W)}{\partial W^2} \right|_{\omega^0} \Delta W. \quad (13)$$

Теперь необходимо найти приращение ΔW вектора W , минимизирующего функцию (13). Производная функция (13) по ΔW дает

$$\frac{\partial \Phi(W)}{\partial \Delta W} = 0 \quad (14)$$

или

$$\frac{\partial \Phi(W)}{\partial \Delta W} \left[\Phi(W^0) + \left. \frac{\partial \Phi(W)}{\partial W} \right|_{\omega^0} \Delta W + \frac{1}{2} \Delta W^T \left. \frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2} \right|_{\omega^0} \Delta W \right] = 0. \quad (15)$$

Поскольку

$$\frac{\partial \Phi(W^0)}{\partial \Delta W} = 0, \quad (16)$$

выражение (15) принимает более упрощенный вид:

$$\frac{\partial}{\partial \Delta W} \left[\left. \frac{\partial \Phi(W)}{\partial W} \right|_{\omega^0} \Delta W + \frac{1}{2} \Delta W^T \left. \frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2} \right|_{\omega^0} \Delta W \right] = 0. \quad (17)$$

Рассмотрим частные производные в отдельности:

$$\left. \frac{\partial \Phi(W)}{\partial W} \right|_{\omega^0} + \left. \frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2} \right|_{\omega^0} \Delta W = 0 \quad (18)$$

или

$$\left. \frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2} \right|_{\omega^0} \Delta W = - \left. \frac{\partial \Phi(W)}{\partial W} \right|_{\omega^0}. \quad (19)$$

Введем следующие обозначения:

$$\left[\left. \frac{\partial^2 \Phi(W)}{\partial W^2} \right|_{\omega^0} \right] = [H(W)], \quad (20)$$

где $[H(W)]$ - матрица Гессе, элементы которой состоят из частных производных второго порядка от заданной функции. Матрица Гессе является квадратной и особенной, в силу чего имеет обратную ей матрицу.

С другой стороны,

$$\left[\frac{\partial \Phi(W)}{\partial W} \right] = [G(W)] \quad (21)$$

и является столбцевой матрицей градиента от заданной нелинейной функции.

В результате выражение (19) принимает следующий вид:

$$\Delta W = -[H(W)]_{\omega^0}^{-1} \times [G(W)]_{\omega^0}. \quad (22)$$

Выражение (22) изображает приращение вектора W и является его корректирующим элементом.

Новый вектор определяется в виде

$$[W]^1 = [W]^0 + [\Delta W]. \quad (23)$$

Для произвольного N -го шага или итерации выражение (23) представляется как рекуррентное выражение в виде

$$[W]^{N+1} = [W]^N + [\Delta W]^N \quad (24)$$

или в регулярной форме:

$$[W]^{N+1} = [W]^N - [H(W)]^{-1} \times [G(W)], \quad (25)$$

где N – номер итерации или шага.

Поскольку вектор W состоит из двух компонентов U и Ψ_U , то рекуррентное выражение (25) в развернутой форме представляется в виде

$$\begin{bmatrix} U_{m_i} \\ \dots \\ \Psi_{U_{m_i}} \end{bmatrix}^{N+1} = \begin{bmatrix} U_{m_i} \\ \dots \\ \Psi_{U_{m_i}} \end{bmatrix}^N - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{U_{n_i}}} & \frac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{U_i}} \\ \frac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial \Psi_{U_{m_i}} \partial U_{n_i}} & \frac{\partial^2 F(U, \Psi_U)}{\partial \Psi_{U_i} \partial \Psi_{U_j}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial F(U, \Psi_U)}{\partial U_{m_i}} \\ \dots \\ \frac{\partial F(U, \Psi_U)}{\partial \Psi_{U_{m_i}}} \end{bmatrix}. \quad (26)$$

Частные производные первого порядка, входящие в столбцевую матрицу градиентов, определяются в виде

$$\frac{\partial F(U, \Psi)}{\partial U_{m_i}} = 2 \sum_i \left(\Phi_{pn_i} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \right), \quad (27)$$

$$\frac{\partial F(U, \Psi)}{\partial \Psi_{Um_i}} = 2 \sum_i \left(\Phi_{pn_i} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \right). \quad (28)$$

Частные производные второго порядка, входящие в матрицу Гессе рекуррентного выражения (26), определяются в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U, \Psi)}{\partial U_{m_i} \partial U_{n_i}} = 2 \sum_i \left(\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{n_i}} + \right. \\ \left. + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{n_i}} \right), \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U, \Psi)}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{Un_i}} = 2 \sum_i \left(\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{Un_i}} + \right. \\ \left. + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i} \partial \Psi_{Un_i}} \right), \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U, \Psi)}{\partial \Psi_{Um_i} \partial U_{n_i}} = 2 \sum_i \left(\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial U_{n_i}} + \right. \\ \left. + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{n_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial U_{n_i}} \right), \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U, \Psi)}{\partial \Psi_{Um_i} \partial \Psi_{Un_i}} = 2 \sum_i \left(\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial \Psi_{Un_i}} + \right. \\ \left. + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Un_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{Um_i} \partial \Psi_{Un_i}} \right), \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(U, \Psi)}{\partial \Psi_{m_i}^2} = 2 \sum_i \left(\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial \Psi_{m_i} \partial \Psi_{m_i}} + \right. \\ \left. + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{m_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial \Psi_{m_i} \partial \Psi_{m_i}} \right), \end{aligned} \quad (33)$$

$$\frac{\partial^2 F(U, \Psi)}{\partial U_{m_i}^2} = 2 \sum_i \left(\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i}} + \Phi_{pn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{pn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{m_i}} + \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} \frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i}} + \Phi_{qn_i} \frac{\partial^2 \Phi_{qn_i}}{\partial U_{m_i} \partial U_{m_i}} \right). \quad (34)$$

Для перехода от неявновыраженных форм частных производных к явновыраженным формам функций Φ_{pm_i} и Φ_{qm_i} удобнее их представить в виде

$$\Phi_{pn_i} = P_{n_i} - \left\{ P_{Bn_i} + g_{n_i, n_i} U_{n_i}^2 + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} [g_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}) + b_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i})] U_{m_i} \right\}, \quad (35)$$

$$\Phi_{qn_i} = Q_{n_i} - \left\{ Q_{Bn_i} - b_{n_i, n_i} U_{n_i}^2 + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} [g_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}) - b_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i})] U_{m_i} \right\}. \quad (36)$$

Пользуясь выражениями (35) и (36), можно определить частные производные первого и второго порядков, входящие в (27)-(34).

Частные производные первого и второго порядка, входящие в (27) и (28), определяются в виде:

– при одинаковых индексах, т.е. когда $m_i = n_i$:

$$\frac{\partial \Phi_{pn_i}}{\partial U_{n_i}} = - \left\{ \frac{\partial P_{Bn_i}}{\partial U_{n_i}} + 2g_{n_i, n_i} U_{n_i} + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} [g_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}) + b_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i})] U_{m_i} \right\}, \quad (37)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qn_i}}{\partial U_{n_i}} = - \left\{ \frac{\partial Q_{Bn_i}}{\partial U_{n_i}} - 2b_{n_i, n_i} U_{n_i} + \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} [g_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i}) - b_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{Un_i} - \Psi_{Um_i})] U_{m_i} \right\}, \quad (38)$$

$$\frac{\partial \Phi_{p_{n_i}}}{\partial \Psi_{U_{n_i}}} = - \left\{ \frac{\partial P_{B_{n_i}}}{\partial \Psi_{U_{n_i}}} - \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} [g_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{U_{n_i}} - \Psi_{U_{m_i}}) - b_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{U_{n_i}} - \Psi_{U_{m_i}})] U_{m_i} \right\}, \quad (39)$$

$$\frac{\partial \Phi_{q_{n_i}}}{\partial \Psi_{U_{n_i}}} = - \left\{ \frac{\partial Q_{B_{n_i}}}{\partial \Psi_{U_{n_i}}} - \sum_{\substack{m_i \\ m_i \neq n_i}} U_{n_i} [g_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{U_{n_i}} - \Psi_{U_{m_i}}) + b_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{U_{n_i}} - \Psi_{U_{m_i}})] U_{m_i} \right\}. \quad (40)$$

Для определения частных производных $\partial P_{B_{n_i}} / \partial U_{n_i}$, $\partial Q_{B_{n_i}} / \partial U_{n_i}$, $\partial P_{B_{n_i}} / \partial \Psi_{U_{n_i}}$ и $\partial Q_{B_{n_i}} / \partial \Psi_{U_{n_i}}$ имеем

$$P_{B_{n_i}} = - \sum_{m_i} (g_{n_i, m_i} \cos \Psi_{U_{n_i}} + b_{n_i, m_i} \sin \Psi_{U_{n_i}}) U_0 U_{n_i} + \sum_{\ell_i} [(A'_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i}) \cos \Psi_{U_{n_i}} + (A'_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i}) \sin \Psi_{U_{n_i}}] U_{n_i}, \quad (41)$$

$$Q_{B_{n_i}} = - \sum_{m_i} (g_{n_i, m_i} \sin \Psi_{U_{n_i}} - b_{n_i, m_i} \cos \Psi_{U_{n_i}}) U_0 U_{n_i} + \sum_{\ell_i} [(A'_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i}) \sin \Psi_{U_{n_i}} - (A'_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i}) \cos \Psi_{U_{n_i}}] U_{n_i}. \quad (42)$$

В результате имеем

$$\frac{\partial P_{B_{n_i}}}{\partial U_{n_i}} = - \sum_{m_i} (g_{n_i, m_i} \cos \Psi_{U_{n_i}} + b_{n_i, m_i} \sin \Psi_{U_{n_i}}) U_0 + \sum_{\ell_i} [(A'_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i}) \cos \Psi_{U_{n_i}} + (A'_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i}) \sin \Psi_{U_{n_i}}], \quad (43)$$

$$\frac{\partial Q_{B_{n_i}}}{\partial U_{n_i}} = - \sum_{m_i} (g_{n_i, m_i} \sin \Psi_{U_{n_i}} - b_{n_i, m_i} \cos \Psi_{U_{n_i}}) U_0 + \sum_{\ell_i} [(A'_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i}) \sin \Psi_{U_{n_i}} - (A'_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i}) \cos \Psi_{U_{n_i}}], \quad (44)$$

$$\frac{\partial P_{B_{n_i}}}{\partial \Psi_{U_{n_i}}} = \sum_{m_i} (g_{n_i, m_i} \sin \Psi_{U_{n_i}} - b_{n_i, m_i} \cos \Psi_{U_{n_i}}) U_0 U_{n_i} - \sum_{\ell_i} [(A'_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i}) \sin \Psi_{U_{n_i}} - (A'_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i}) \cos \Psi_{U_{n_i}}] U_{n_i}, \quad (45)$$

$$\frac{\partial Q_{\text{Бн}_i}}{\partial \Psi_{\text{У}_{n_i}}} = -\sum_{m_i} (g_{n_i, m_i} \cos \Psi_{\text{У}_{n_i}} + b_{n_i, m_i} \sin \Psi_{\text{У}_{n_i}}) U_0 U_{n_i} + \sum_{\ell_i} [(A'_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i} - A''_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i}) \cos \Psi_{\text{У}_{n_i}} + (A'_{n_i, \ell_i} I''_{\ell_i} + A''_{n_i, \ell_i} I'_{\ell_i}) \sin \Psi_{\text{У}_{n_i}}]. \quad (46)$$

Устанавливая аналитические выражения, входящие в (26), переходим к решению систем нелинейных алгебраических уравнений (8) методом минимизации или второго порядка. При этом рассматривается следующая квадратная минимизирующая функция:

$$F(\mathbf{I}) = \sum_i (\Phi_{\text{pk}_i}^2 + \Phi_{\text{qk}_i}^2). \quad (47)$$

Поступая аналогичным образом, устанавливаем следующее рекуррентное выражение:

$$\begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ \dots \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^{N+1} = \begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ \dots \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^N - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(\mathbf{I})}{\partial I'_{k_i} \partial I'_{\ell_i}} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{I})}{\partial I'_{k_i} \partial I''_{\ell_i}} \\ \frac{\partial^2 F(\mathbf{I})}{\partial I''_{k_i} \partial I'_{\ell_i}} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{I})}{\partial I''_{k_i} \partial I''_{\ell_i}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial F(\mathbf{I})}{\partial I'} \\ \frac{\partial F(\mathbf{I})}{\partial I''} \end{bmatrix}. \quad (48)$$

Частные производные первого и второго порядков, входящие в рекуррентное выражение (48), подробно приводятся в [6].

При наличии аналитических выражений необходимых частных производных первого и второго порядков предлагается соответствующий вычислительный алгоритм для реализации численных математических моделей, суть которого заключается в том, что, строя численные математические модели установившегося режима, последовательно осуществляется их реализация методом минимизации или второго порядка с применением матрицы Гессе.

Итерационный процесс считается завершенным, если точность вычисления режимных параметров как стационарных, так и нагрузочных узлов удовлетворяет требуемым условиям.

При этом в качестве условий сходимости решения соответствующих систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС представляются:

– для стационарных узлов отдельных подсистем:

$$|P_{n_i} - (P_{\text{Бн}_i} + \varphi_{\text{pn}_i})| \leq \Delta P_{n_i}, \quad (49)$$

$$|Q_{n_i} - (Q_{\text{Бн}_i} + \varphi_{\text{qn}_i})| \leq \Delta Q_{n_i}, \quad (50)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, N$;

– для нагрузочных узлов отдельных подсистем:

$$|P_{\ell_i} - (P_{\text{Б}\ell_i} + \varphi_{\text{p}\ell_i})| \leq \Delta P_{\ell_i}, \quad (51)$$

$$|Q_{\ell_i} - (Q_{\text{Б}\ell_i} + \varphi_{\text{q}\ell_i})| \leq \Delta Q_{\ell_i}, \quad (52)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, N$.

Как и в предыдущих случаях, для облегчения условий сходимости принимаются:

$$\Delta P_{n_i} = \Delta P_{\ell_i} = \Delta P, \quad (53)$$

$$\Delta Q_{n_i} = \Delta Q_{\ell_i} = \Delta Q. \quad (54)$$

Как видно, положительные величины ΔP и ΔQ характеризуют точность получения искомых режимных параметров отдельных подсистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Решение (Y-Z)-уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1997.-Т. 50, № 2.-С. 96-103.
2. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Решение Y-Z формы уравнения установившегося режима ЭЭС методом декомпозиции при P-U типе стационарных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1998.-Т. 51, № 3.-С. 287-295.
3. **Хачатрян В. С., Этмекчян Э. А., Бадалян Н. П.** Решение гибридных уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом диакоптики // Электричество.-1999.-№ 4.-С. 7-12.
4. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П., Хачатрян К. В., Маркарян К. К.** Метод коррекции Y-Z расчетной матрицы электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т. 54, № 1.-С. 41-46.
5. **Бадалян Н. П.** Построение "Y-Z, P-Q" математической модели установившегося режима ЭЭС и ее реализация методом минимизации // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т. 54, № 3.-С. 372-378.
6. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Диакоптическая "Y-Z, P-U" математическая модель установившегося режима электроэнергетической системы и ее реализация методом минимизации // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2002.- Т 55, № 3.-С. 392-399.
7. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Расчет установившегося режима большой электроэнергетической системы методом диакоптики // Электричество.-2003.-№ 6.-С. 13-17.
8. ГИУА. Материал поступил в редакцию 22.11.2002.

Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն. Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Մ. Ա. ՄՆԱՏԱԿԱՆՅԱՆ

**ՄԵԾ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՑՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ
ԴԻԱԿՈՊՏԻԿԱԿԱՆ “Y-Z, P-Q” ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԻ ԻՐԱՑՈՒՄ
ԱՆԿԱՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ Ս-Մ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՆԿԱՏՄԱՄԲ**

Առաջարկվում է նոր դիակոպտիկական մեթոդ մեծ էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հաշվման համար, երբ որպես անկախ փոփոխականներ ընտրվում են կայանային հանգույցների համալիր լարումների մոդուլներն ու արգումենտները և բեռային հանգույցների համալիր հոսանքների բաղադրիչները:

V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN, M.A. MNATSAKANYAN

**Y-Z, P-Q DIACOPTIC LARGE ELECTRICAL POWER SYSTEM
REALIZATION RELATIVE TO U-Ψ PARAMETERS
OF INDEPENDENT STATION UNIT**

A new diacoptic method of steady-state conditions when modules, arguments of complex station unit voltages and components of complex loading unit currents are chosen as independent variables is proposed.

Р.Р. ВАРДАНЯН, Г.А. МАРТИРОСЯН, В.К. ДАЛЛАКЯН

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Рассматривается перспектива развития фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Предлагается метод оптимизации по себестоимости степени концентрации солнечного излучения фотоэлектрических преобразователей. Разработана специальная компьютерная программа PVCsyst 3.2, с помощью которой произведена оптимизация конструкции фотоэлектрических преобразователей с различными значениями выходной мощности. Полученные результаты показывают, что оптимизированные по предлагаемой методике конструкции преобразователей солнечной энергии являются экономически эффективными.

Ключевые слова: фотоэлектричество, преобразователь, концентратор, солнечная энергия, программа, оптимизация.

Введение. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии является весьма перспективным способом получения энергии. С помощью фотоэлектрического явления солнечная энергия преобразуется в электрическую. Основной составляющей фотоэлектрического преобразователя является полупроводниковый солнечный элемент, в котором под воздействием энергии фотонов генерируются носители заряда, создается фототок, то есть генерируется электрическая энергия.

Фотоэлектрические генераторы имеют много преимуществ: они бесшумны, не загрязняют окружающую среду и не требуют эксплуатационных расходов. Такие генераторы могут быть установлены в непосредственной близости от потребителя [1,2].

Республика Армения имеет сравнительно большой потенциал солнечной энергии. Климатические условия республики весьма благоприятны для развития солнечной энергетики. Однако в настоящее время устройства солнечной энергетики, в частности фотоэлектрические генераторы, не находят широкого применения в Армении, что объясняется сравнительно высокой стоимостью фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Так, производимые в настоящее время в различных странах фотоэлектрические преобразователи в виде плоских панелей имеют цену от 5 до 15 долл. на ватт энергии.

С целью расширения областей применения устройств солнечной энергии необходимо разработать экономически эффективные фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии. Решению этой проблемы посвящена данная работа.

Пути развития фотоэлектрического преобразования солнечной энергии. Идея разработки экономически эффективных фотоэлектрических преобразователей

солнечной энергии для наземных нужд стала основной целью исследователей многих стран, начиная с 1970-х годов. Были проведены исследования в следующих трех направлениях:

1. Разработка кристаллических (или поликристаллических) фотоэлектрических преобразователей (солнечных элементов) с высоким коэффициентом полезного действия (КПД).

2. Разработка тонкопленочных фотоэлектрических устройств.

3. Разработка систем концентраторов солнечных лучей.

Первый подход, включающий в себя исследование материалов, новых физических явлений, а также разработку эффективных структур, позволяет повысить КПД солнечных элементов, а следовательно, производить экономически эффективные фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии. Второй подход позволяет генерировать электрическую энергию путем применения сравнительно дешевых тонкопленочных некристаллических материалов. Третий подход позволяет путем применения сравнительно недорогих линз или зеркал концентрировать солнечную энергию на сравнительно небольшой поверхности монокристаллических солнечных элементов, тем самым уменьшая влияние высокой цены полупроводниковых солнечных элементов на общую стоимость фотоэлектрического преобразователя. Как показывают прогнозы, концентраторные системы, по сравнению с первыми двумя подходами, будут иметь наименьшую стоимость в течение сравнительно продолжительного времени [3].

С учетом вышеизложенного в настоящей статье предлагается разработка экономически эффективных фотоэлектрических преобразователей с концентрированием солнечной энергии.

Разработка методики и компьютерной программы для оптимизации по себестоимости фотоэлектрических преобразователей с концентрированием солнечной энергии. Концентрирование солнечной энергии позволяет снизить себестоимость системы фотоэлектрического преобразователя, так как большая часть поверхности, покрытой дорогостоящим полупроводниковым материалом, заменяется сравнительно дешевым материалом (зеркалами, линзами) концентратора. С увеличением степени концентрации солнечной энергии уменьшается себестоимость системы. Однако при больших степенях концентрации усложняется применяемая система охлаждения и обеспечения необходимого температурного режима солнечных элементов, что приводит к усложнению всей системы и повышению себестоимости фотоэлектрического преобразователя [4]. Чем выше степень концентрации, тем сложнее и дороже система охлаждения. Существуют также и другие факторы, приводящие к повышению себестоимости системы фотоэлектрического преобразователя при больших степенях концентрации. К числу таких факторов относятся: большое количество применяемых конструкционных материалов, увеличенная масса системы, усложненная конструкция следящей за Солнцем системы. Из изложенного следует, что существует определенное оптимальное значение степени концентрации солнечной энергии, при котором данная система фотоэлектрического преобразователя имеет минимальную себестоимость.

С целью создания экономически эффективных преобразователей солнечной энергии была разработана методика оптимизации конструкции преобразователей. Согласно этой методике, сначала рассчитывается себестоимость системы с данной выходной мощностью без концентрации солнечной энергии. Затем увеличивается концентрация на определенную величину и рассчитываются экономические, оптические, электрические тепловые и конструктивные параметры системы. Эта процедура повторяется много раз, после чего из полученного массива данных выбирается оптимальный вариант, при котором система имеет минимальную себестоимость.

Для реализации данной методики оптимизации была разработана специальная компьютерная программа, получившая название PVCsyst 3.2 (рис. 1).

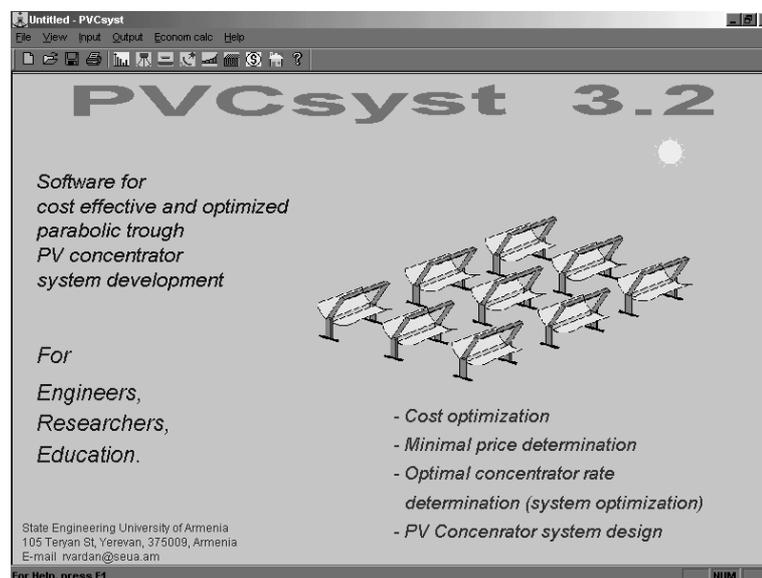


Рис. 1. Начальная страница программы PVCsyst 3.2

Программа предназначена для оптимизации фотоэлектрических преобразователей с параболо-цилиндрическим типом концентраторов, а также позволяет произвести автоматизированное проектирование всей системы фотоэлектрического преобразователя, расчет всех характеристик системы и определить конструктивные параметры преобразователя.

Рассмотрим пример оптимизации системы фотоэлектрического преобразователя по себестоимости с помощью разработанной программы. В качестве примера для расчетов введем в программу следующие исходные параметры, которые обычно выбираются и вводятся по усмотрению проектировщика: требуемая выходная мощность – 500 Вт; интенсивность солнечного излучения для данной географической местности – 850 Вт/м²; КПД солнечного элемента – 14%; геометрические размеры солнечного элемента – 100x100 мм; цена одного солнечного элемента – \$3; температура окружающей среды – 40 °С; максимально допустимая рабочая температура солнечных элементов – 65 °С; стоимость зеркал (на 1 м²) – \$20;

стоимость конструкционных материалов (на 1 м длины) – \$2; расходы на изготовление – \$50; значение фокусного расстояния (расстояние от поверхности зеркал до солнечных элементов) – 500 мм.

На рис. 2 представлена кривая зависимости себестоимости фотоэлектрического преобразователя от степени концентрации, рассчитанной с помощью программы PVCsyst 3.2 с учетом введенных исходных параметров.

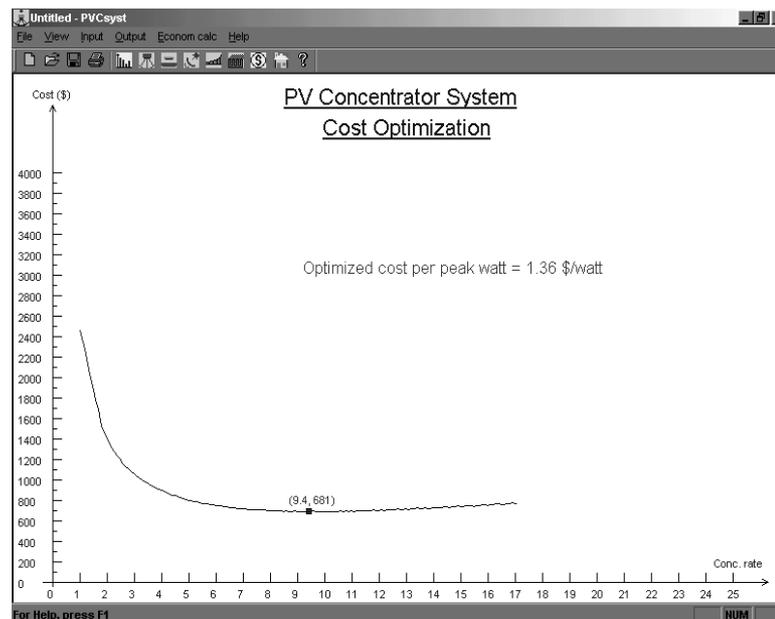


Рис.2. Зависимость себестоимости фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии от степени концентрации, рассчитанной с помощью программы PVCsyst 3.2

Как следует из рисунка, с увеличением степени концентрации себестоимость фотоэлектрического преобразователя падает и, проходя через определенный минимум (степень концентрации - 9,4 и стоимость - 681\$), начинает возрастать. Таким образом, определяется оптимальное значение степени концентрации солнечной энергии, при котором система фотоэлектрического преобразователя с заданными параметрами имеет минимальную себестоимость, то есть является экономически эффективной. Из рисунка также следует, что оптимизированная конструкция фотоэлектрического преобразователя с выходной мощностью 500 Вт имеет цену 1,36\$ на ватт энергии, что намного дешевле стоимости преобразователей в виде плоских панелей. Программа PVCsyst 3.2 позволяет сконструировать экономически эффективные фотоэлектрические преобразователи практически с любым значением выходной мощности. Результаты расчетов для нескольких значений мощностей в диапазоне 100 до 500 кВт представлены в таблице. Исходные параметры, не вошедшие в таблицу, имеют такие же значения, как в примере расчетов для системы с мощностью 500 Вт (рис 2).

Как видно из таблицы, получены сравнительно низкие значения $\$/Вт$, что позволяет сконструировать экономически эффективные фотоэлектрические преобразователи.

Таблица

Исходные параметры				Оптимизированные значения		
Мощность, кВт	Фокусное расстояние, м	Система слежения за Солнцем для одной секции, \$	Максимальная длина секции, м	Оптимальная концентрация	Себестоимость системы, \$	Цена \$/Вт
0,1	0,5	-	-	6	266	2,66
0,5	0,5	-	-	8,9	705	1,41
1	1	-	-	11,9	983	0,98
2,5	1	200 \$	-	14,2	2433	0,97
5	1,5	200 \$	20	18,6	4908	0,98
10	1,5	500 \$	30	24,7	9773	0,98
100	2	500 \$	30	29,8	100674	1,01
250	2	1500 \$	50	34,3	268038	1,07
500	2	1500 \$	50	34,8	529171	1,06

Разработанная программа PVCsyst 3.2 позволяет также определить все экономические параметры, получить необходимые конструкторские чертежи для реализации данной оптимизированной системы фотоэлектрического преобразователя.

Выводы

1. Одним из перспективных направлений развития солнечной энергетики является создание концентраторных систем.

2. Для разработки экономически эффективных фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии необходимо произвести оптимизацию конструкции по себестоимости, то есть определить такое оптимальное значение степени концентрации солнечного излучения, при котором имеет место минимальное значение себестоимости преобразователя.

3. Разработанные методика и компьютерная программа для ее реализации позволяют оптимизировать конструкцию и сконструировать экономически эффективные фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии практически с любым значением выходной мощности, а также определить все экономические и конструкторские параметры преобразователей.

Работа выполнена в рамках проекта, финансируемого со стороны фондов CRDF и NFSAT.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kazmerski L. L.** Photovoltaics: A review of cell and module technologies// Renewable & Sustainable Energy Reviews: An International Journal. - March/June 1997.- V.1, N1/2.- P. 71-170.
2. Alternative Energy Sourcebook // Edited by Schaeffer J. – 1993. – Real Goods Trading Corporation Ukiah, CA, USA. - P.147-176.
3. **Fraas L., McConnell B.** High power density Photovoltaics. A path to cost-competitive solar electric power // Renewable Energy World. – 2002. – V.5, No 5. – P. 98-110.
4. **Վարդանյան Ռ., Վարդանյան Լ., Քալաշյան Ա.** Խտացված արևային ճառագայթման ֆոտոէլեկտրական փոխակերպման տնտեսական արդյունավետությունը // Գիտություն և տեխնիկա. – 1999.- (10-12.- էջ 7:

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.2003.

Ռ.Ռ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Գ.Ա. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Վ.Կ. ԴԱԼԼԱՔՅԱՆ

ԱՐԵՎԱՑԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՑԻ ՏՆՏԵՍԱՊԵՍ ՇԱՀԱՎԵՏ ԼՈՒՍԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՓՈԽԱԿԵՐՊԻՉՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ

Դիտարկվում են արևային էներգիայի լուսաէլեկտրական փոխակերպման զարգացման ուղիները: Առաջին անգամ առաջարկվում է արևային ճառագայթների կոնցենտրատորային լուսաէլեկտրական փոխակերպիչի գնային լավարկման մեթոդ: Փոխակերպիչների առաջարկվող լավարկման իրագործման նպատակով մշակվել է հատուկ քումփյութերային ծրագիր՝ PVCsyst 3.2, որի միջոցով իրականացվել է ելքային հզորությունների տարբեր արժեքներով լուսաէլեկտրական փոխակերպիչների կոնստրուկցիաների լավարկում և ավտոմատացված նախագծում: Մտացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ առաջարկվող մեթոդով լավարկված լուսաէլեկտրական փոխակերպիչների կոնստրուկցիաները տնտեսապես շահավետ են:

R. R. VARDANYAN, G. A. MARTIROSYAN, V. K. DALLAKYAN

COST EFFECTIVE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS DEVELOPMENT

The perspective of photovoltaic solar energy system development is analyzed. At the first time the method for cost optimization of photovoltaic converter with the concentrator of solar radiation is proposed. For optimization method realization a special computer program PVCsyst 3.2 is developed. With the use of developed computer program the optimization of photovoltaic solar energy systems with different output power is realized. Results obtained show that optimized with the use of proposed method the photovoltaic solar energy systems are economically effective.

В. Г. ПЕТРОСЯН

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕРЖАВЕЮЩУЮ СТАЛЬ X18H10T В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОДЕ В ПРИСУТСТВИИ СПЛАВА ЦИРКОНИЯ

Приводятся результаты исследования начального этапа взаимодействия штатных материалов первого контура ядерных энергетических установок (ЯЭУ) с водным теплоносителем. Рассматриваются параметры теплоносителя в облучаемом и необлучаемом рабочих участках в присутствии образцов из нержавеющей стали и сплава циркония.

Ключевые слова: теплоноситель, радиолиз, скорость коррозии, излучение, окисная пленка.

Экспериментальная часть. Для выявления закономерностей влияния продуктов радиолиза воды на конструкционные материалы реактора и обратного влияния создан комплекс экспериментальных установок на базе кобальтового γ -источника. Схема и описание установки для проведения коррозионных испытаний конструкционных материалов под облучением и без него, а также методики физико-химического анализа, условия облучения и подготовки воды приведены в [1,2].

Для более четкого выявления влияния облучения на коррозионные процессы эксперименты проводились одновременно в двух идентичных рабочих участках, один из которых размещался в поле γ -источника Co^{60} (мощность поглощаемого излучения 3,33 Гр/с). В рабочем участке можно разместить до 24 образцов размером (50x20x2) мм. Время выхода установки на рабочий режим ($T = 473 K$, расход теплоносителя через каждый рабочий участок $0,2 \cdot 10^{-4}$ кг/с, давление 4 МПа) составляет 45 мин. Характеристики теплоносителя на входе в рабочие участки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики теплоносителя на входе в рабочий участок

$CO_2 \cdot 10^6$, кг/кг	$С_{Cl} \cdot 10^6$, кг/кг	$\kappa \cdot 10^4$, См/см	pH	P, МПа	T, K
> 100	> 20	0.6...0.8	6,5	4,0	473

Примечания: $С_{xi}$ – концентрация x_i соединения в теплоносителе;
 κ – электропроводность; P – давление; T – температура.

Измерение параметров в каждом из контуров проводилось через каждые 2 часа при длительности эксперимента 200 часов. За время испытаний каждого из материалов было проведено 100 измерений, что позволило получить статически достоверные данные (особенно такие, как концентрация Fe, $Fe^{2+}H_2$). В процессе эксперимента, кроме Fe, $Fe^{2+}H_2$, измерялись также расход теплоносителя, его температура и давление в автоклавах, электропроводность, значение редокс-потенциала E_{Pt} , значение pH, концентрация растворенного кислорода O_2 , N_2 , H_2O_2 .

После эксперимента образцы исследовались физическими и физико-химическими методами, позволяющими выявить влияние облучения на конструктивные материалы реактора.

Результаты и их обсуждение. Изменение скорости коррозии и массы окисной пленки, образовавшейся на стали X18H10T в зависимости от времени экспозиции под облучением и без него, приведено на рис.1.

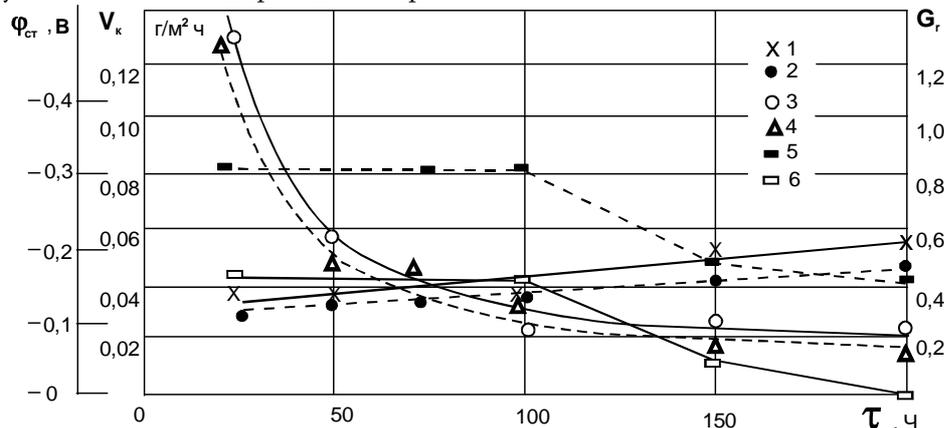


Рис.1. Коррозионные характеристики X18H10T: 1, 2 - вес окисной пленки G , ; 3, 4 - скорость коррозии V_k ; 5, 6 - стационарный потенциал образцов, $\phi_{ст}$; под облучением – сплошные кривые, без облучения – штриховые

Скорости коррозии достигают постоянных значений примерно спустя 100 ч. Значения скоростей коррозии хорошо аппроксимируются следующими уравнениями:

- при наличии облучения:

$$\lg V_k = 1,19 - 0,81 \lg \tau ; \quad (1)$$

- без облучения

$$\lg V_k = 1,14 - 0,95 \lg \tau, \quad (2)$$

где τ - время экспозиции; V_k - интегральная скорость коррозии, $мг \cdot м^{-2} \cdot ч^{-1}$.

Гравиметрический анализ нержавеющей стали X18H10T показывает, что облучение не влияет существенно на скорость коррозии стали этого класса. Однако электрохимические, электронно-микроскопические и AUGER электронно-микроскопические исследования показывают, что существует заметная разница между облученными и необлученными образцами. Процесс образования окисной пленки протекает неравномерно. Стационарный потенциал облученных образцов является более положительным, чем необлученных. По-видимому, на необлученных образцах пленка образуется тоньше и на большей площади. На облученных образцах под действием дополнительных окислителей она получается глубже и прочнее. Исследование поверхностей образцов на AUGER- спектрографе (рис.2) показывает, что после 200 часов испытания толщина пленки на образцах, прошедших коррозионные испытания под облучением, в 5 раз больше, чем на образцах без облучения. Существенное увеличение толщины окисных пленок на образцах под облучением может быть понято в первом приближении, исходя из следующего предположения.

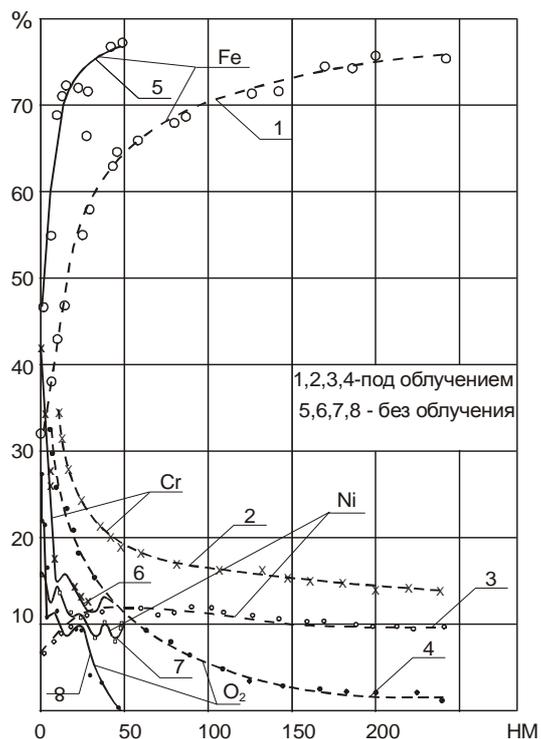


Рис. 2. Изменение состава окисной пленки (по толщине при 200 ч. коррозионного испытания стали X18H10T)

При диффузии радикала O_2^{\cdot} в поверхностный слой металла возможно, с определенной вероятностью, его взаимодействие с вторичным электроном, возникшим при прохождении γ -излучения через металл. В результате взаимодействия может образоваться вторичный радикал O^{\cdot} , реакционная способность которого еще выше, чем радикала O_2^{\cdot} . Это позволяет ему взаимодействовать с ионами кристаллической решетки типа Fe^{2+} на большей глубине.

О более интенсивном формировании окисных пленок на образцах, прошедших коррозионные испытания в облучаемом автоклаве, свидетельствуют также исследования поверхности с помощью электронного микроскопа.

В табл. 2 приведены средние значения характеристик теплоносителя за 200 ч. экспозиции при испытании образцов стали X18H10T.

Таблица 2

Средние значения характеристик теплоносителя за время испытаний

образцов стали X18H10T

Условия	$C_{x_i} \cdot 10^6$				$\kappa \cdot 10^4$	рН	E_{Pt}	$d \cdot 10^6$	$D \cdot 10^2$
	$C_{Fe^{3+}}$	$C_{Fe^{2+}}$	$C_{H_2O_2}$	C_{H_2}					
под облуч.	0,512	0,413	2,47	2,87	1,58	6,46	194	1,10	1,05
без облуч.	0,507	0,324	0	0,34	2,03	7,02	220	1,13	1,08

Примечания: C_{x_i} - концентрация x_i соединения в теплоносителе, *моль/кг*; κ - электропроводность, *См/см*; E_{Pt} - потенциал платинового электрода, *мВ*; d - средний диаметр частиц, *м*; D - дисперсность частиц, *м²*

Наличие облучения приводит к возрастанию концентрации Fe^{2+} и уменьшению величин рН и E_{Pt} . Возрастание концентрации водорода объясняется радиолизом воды и удовлетворительно согласуется по стехиометрии с величиной концентрации перекиси водорода.

В [2] подробно приведена кинетика физико-химической характеристики воды при коррозионном испытании стали X18H10T под облучением и без него.

Особенностью опытов со сплавом циркония (Zr + 2,5%Nb) является то, что в рабочий участок установки помещались пять образцов сплава (сегменты обечайки канала) размером (50 x 20 x 4) *мм* и их общей площадью 130 *см²*. Автоклав был выполнен из стали X18H10T, его общая поверхность составляет 280 *см²* при объеме воды 260 *см³*.

Эксперимент показал, что присутствие в системе сплава циркония, отвечающее реальной ситуации для реакторного контура, влияет на характер взаимодействия стали с теплоносителем.

В табл. 3 приведены средние значения характеристик теплоносителя при коррозионном испытании Zr + 2.5%Nb в присутствии стали X18H10T.

Таблица 3

Средние значения характеристик теплоносителя при коррозионном испытании сплава циркония в присутствии стали X18H10T

Облуч.	$C_{x_i} \cdot 10^6$				рН	$\kappa \cdot 10^4$	E_{Pt}	$d_M \cdot 10^6$	$D \cdot 10^2$
	$C_{Fe^{3+}}$	$C_{Fe^{2+}}$	C_{H_2}	$C_{H_2O_2}$					
нет	0,187	0,179	2,7	0	6,75	0,78	222	1,44	5,0
есть	0,173	0,427	13,5	0,705	6,14	1,35	1,98	2,18	10,4

Примечания: C_{x_i} - концентрация x_i соединения в теплоносителе, *моль/кг*; κ - электропроводность, *См/см*; E_{Pt} - потенциал платинового электрода, *мВ*; d_M и D - медианный диаметр (*мкм*) взвешенных продуктов коррозии и их дисперсность (*м²*) в теплоносителе.

Скорость коррозии стали, о которой можно судить по скорости выноса продуктов коррозии (ПК) в теплоноситель, увеличивается под облучением вдвое, чем без него. В отсутствие циркония облучение не оказывает заметного влияния на

коррозию стали X18H10T (табл. 2). Отношение средних концентраций Fe^{3+} и Fe^{2+} $C_{Fe^{3+}} / C_{Fe^{2+}}$ при наличии сплава Zr равно 1,1 без облучения и 0,4 под облучением, а в отсутствие сплава – 1,6 и 1,2 соответственно. Кроме того, увеличение концентрации продуктов коррозии в теплоносителе под облучением происходит за счет появления дополнительного количества Fe^{2+} . Последнее обстоятельство вызвано тем, что окислительно-восстановительный потенциал пары Zr/Zr^{4+} (-1,53 В) существенно меньше потенциала пары Fe^{2+}/Fe^{3+} (0,711 В). Поэтому ионы Fe^{2+} проявляют себя как катодные деполаризаторы при электрохимическом окислении циркония. Присутствие циркония в теплоносителе существенно влияет на радиологический выход молекулярных продуктов (рис. 3- 4).

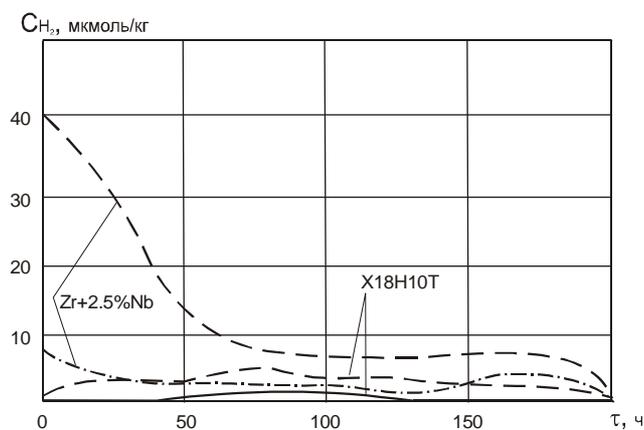


Рис. 3. Изменение концентрации водорода при исследовании коррозии стали X18H10T и сплава Zr + 2,5%Nb

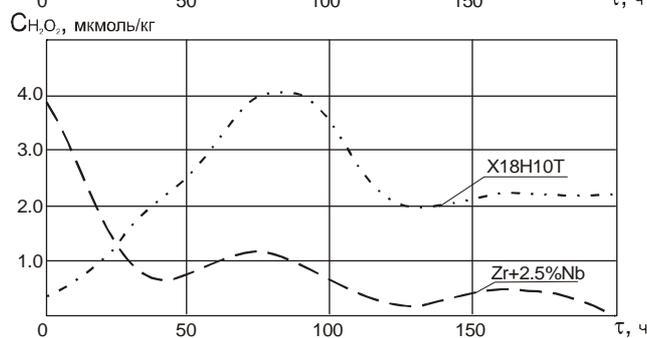


Рис. 4. Изменение концентрации H_2O_2 при исследовании коррозии стали X18H10T и сплава Zr + 2,5%Nb

Минимальный уровень концентрации водорода реализовался при коррозии под облучением нержавеющей стали $C_{H_2} \approx 2,9$ мкмоль/кг, средняя концентрация H_2O_2 (перекись водорода) в этом случае достигла величины 2,8 мкмоль/кг, которая хорошо согласуется с концентрацией водорода с точки зрения уравнения материального баланса. Наличие циркония приводит к тому, что высокая на начальном этапе опыта концентрация водорода ($4,0 \cdot 10^{-5}$ под облучением и $1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/кг без него) снижается до постоянного уровня $\sim (5-8) \cdot 10^{-5}$ и $2 \cdot 10^{-6}$ моль/кг соответственно, оставаясь более высокой, чем в опытах со сталью.

Таким образом, наличие в зоне облучения контактирующих с водным теплоносителем корродирующих конструкционных материалов приводит к существенному изменению уровня концентраций молекулярных продуктов радиолитического распада воды, а ее величина зависит от типа контактирующих материалов.

Уравнения с достоверным коэффициентом множественной корреляции характеристик теплоносителя при испытании стали X18H10T и сплава Zr+ 2,5%Nb приведены в [2, 3].

На основании вышеизложенного получены следующие выводы:

1. Материал образцов, размещенных в зоне облучения, существенно влияет на состав теплоносителя.
2. Присутствие сплава циркония увеличивает скорость коррозии стали X18H10T и приводит к повышению содержания водорода в высокотемпературной воде, прошедшей облучение.
3. γ - излучение ускоряет коррозию сплава циркония в высокотемпературной воде.
4. Исследование поверхности образцов на AUGER-спектрографе показывает, что после 200 часов испытания толщина пленки на образцах X18H10T, прошедших испытания под облучением, в 5 раз больше, чем на образцах, не подвергавшихся облучению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ershov B.G., Milaev A.I., Petrosyan V.G.** The effect of irradiation on corrosion of steel in high-temperature water // Radiat. Phys. Chem. – 1985. - Vol. 26, No. 5. - P. 587-590.
2. **Милаев А.И., Петросян В.Г., Тевлин С.А.** Взаимодействие нержавеющей стали X18H10T с теплоносителем в условиях реакторного контура АСТ // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1988. - №2. - С.117-122.
3. **Милаев А.И., Петросян В.Г., Тевлин С.А.** Взаимодействие нержавеющей стали X18H10T в присутствии сплава циркония с теплоносителем в условиях реакторного контура АСТ // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1988. - №3. - С.103-113.

Ин-т "Арматом". Материал поступил в редакцию 12.07.2003.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ՀԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԱՋԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ X18H10T ՉԺԱՆԳՈՏՎՈՂ ՊՈՂՊԱՏԻ ՎՐԱ ԲԱՐՁՐ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ՋՐՈՒՄ ՑԻՐԿՈՆԻՈՒՄԻ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Բերված են միջուկային ենթադրական տեղակայանքների առաջին կոնտուրի ավանդական նյութերի և ջրային ջերմատարի փոխադրեցության սկզբնական փուլի հետազոտությունների արդյունքները: Դիտարկվում են աշխատանքային տեղամասում տեղադրված չժանգոտվող պողպատի և ցիրկոնիումի համաձուլվածքի առկայության դեպքում ջերմատարի պարամետրերի հետազոտության արդյունքները ճառագայթման առկայության և բացակայության դեպքերում:

V. G. PETROSYAN

IRRADIATION INFLUENCE ON X18H10T STAINLESS STEEL IN HIGH TEMPERATURE WATER IN THE PRESENCE OF ZIRCONIUM ALLOY

The research results of the initial stage of NPP primary circuit standard material interaction with the water coolant are given. The coolant parameters for the irradiated and unirradiated areas in the presence of stainless steel and zirconium alloy are presented.

Д.В. ЗУБИТАШВИЛИ, Я.Г. БИДЖАМОВ

О НЕКОТОРЫХ ФОРМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Показана возможность снижения добавочных потерь и повышения КПД эксплуатируемых гидрогенераторов путем внесения некоторых конструктивных изменений в их полюсных наконечниках. Рассмотрена методика оценки этих потерь как до, так и после выполнения реконструкции. Приведены примеры практического осуществления мероприятий по снижению добавочных потерь в полюсах гидрогенераторов.

Ключевые слова: гидрогенератор, ротор, потери, реконструкция, энергосбережение.

В структуре энергосбережения в промышленности значительное место занимают вопросы внедрения энергосберегающих технологий и повышения коэффициента полезного действия (КПД) действующих технологических и энергетических установок. На внедрение энергосберегающих технологий возлагается около 40% всего объема энергосбережения. При этом, например к 2000 году, более 20% всей экономии энергоресурсов должны были дать крупные научно-технические мероприятия, подлежащие разработке и внедрению.

Разрыв экономических отношений между странами после развала бывшего Союза внес значительные коррективы в экономику и перспективы развития энергетики этих стран [1]. Например, в Грузии, как и в других странах СНГ, в 90-х годах произошел резкий спад энергопотребления в промышленности [2]. Вместе с тем фактическое разрушение газового и теплового хозяйства привело к резкому росту электропотребления в коммунально-бытовом секторе. Всё это на фоне отсутствия возможности ввода новых генерирующих мощностей, а также снижения качества обслуживания и ремонта имеющихся мощностей легло тяжелым бременем на энергосистему республики. В связи с этим осуществление отмеченных выше мероприятий по энергосбережению приобретает ещё большую актуальность.

Эти мероприятия, в частности, могут касаться не только эксплуатируемых, но и вновь строящихся или реконструируемых объектов энергетики. При этом особую ценность приобретают разработки, внедрение которых не требует значительных капитальных вложений. К их числу могут быть отнесены некоторые работы, выполненные в Грузинском научно-исследовательском институте энергетики и энергетических сооружений (ГрузНИИЭЭС), касающиеся электромагнитных параметров и режимов работы мощных генераторов гидроэлектростанций.

Отмеченные разработки основаны на исследовании выявленных в генераторах ранее не учитываемых потерь, совершенствовании расчетов некоторых параметров гидрогенераторов и на их основе разработке новых конструктивных решений и мероприятий, снижающих потери электроэнергии при её выработке. Покажем это на примере исследования потерь в полюсных наконечниках крупных гидрогенераторов.

Как известно, основная часть находящихся в эксплуатации генераторов стран бывшего Союза была изготовлена до 80-х годов прошлого столетия. При проектировании гидрогенераторов в основе электромагнитных расчетов, связанных с контурами роторов, положено упрощающее допущение о бесконечно большой магнитной проницаемости стали [3-5]. Это и другие допущения приводят к тому, что при расчете параметров демпферных обмоток пренебрегают вихревыми токами и потерями в шихтованных листах полюсных наконечников от потоков рассеяния демпферной обмотки, а также в щеках полюсов, сквозь которые проходят стержни обмотки. Таким образом, оказывается неучтенной достаточно большая часть потерь на пути замыкания потоков рассеяния. Эти потоки связаны с токами в демпферных стержнях, наведенными несинхронными магнитодвижущими силами (МДС) статора, вращающимися относительно ротора.

Наибольшая часть добавочных потерь выделяется в полюсных наконечниках гидрогенераторов. Поэтому от правильного решения задач расчета параметров демпферной обмотки, выделения и распределения потерь на поверхности полюсов в значительной мере зависят в целом энергоэкономические показатели генераторов.

На основе выполненных в ГрузНИИЭС работ [3,4 и др.], основанных на учете реальной электромагнитной картины поля, появилась возможность определения реальных параметров контуров полюсного наконечника и потерь, выделяющихся в них. Эти результаты могут быть использованы не только на стадии проектирования новых высокоэффективных гидрогенераторов, но также и при исследовании реальных энергетических показателей эксплуатируемых генераторов.

Для оценки отмеченных параметров приведен пример исследования потерь в щеках полюсов гидрогенератора СВФ 1690/175-64 Красноярской ГЭС [3]. Для этого была изготовлена модель-фрагмент щеки полюсного наконечника гидрогенератора Красноярской ГЭС, воспроизводящая натуру в основных ее деталях и особенностях. Кроме того, для исследования параметров и потерь полузакрытого паза и сравнения их с закрытым в модели над одним из стержней была выполнена прорезь.

Потери в стали от тока V -й частоты определяются по [4] или из выражения

$$P_{cv} = I_{cv}^2 r_0 K_{rcv}, \quad (1)$$

где I_{cv} - действующее значение тока в стержне V -й частоты, A ; r_0 - активное сопротивление круглого стержня в пределах длины щеки, Om ; K_{rcv} - условный коэффициент вытеснения, учитывающий все влияющие факторы.

Этот коэффициент также рассчитывается по [4], а по экспериментальным данным - из соотношения

$$K_{rcv} = P_{cv} / P_0, \quad (2)$$

где P_0 - потери в материале стержня от постоянного тока, равного по величине I_{cv} .

Величина K_{rcv} сильно зависит от магнитной проницаемости стали на пути замыкания пульсирующего потока, определяемой наложением на этот поток части основного потока генератора, замыкающегося через козырек щеки. Кроме того, K_{rcv} зависит от величины и частоты тока, проходящего через демпферный стержень.

Используя результаты расчетно-экспериментального определения K_{TSV} [3] для токов в стержнях I_{CV} , полученных Межведомственной комиссией для номинального режима работы генератора СВФ 1690/175-64 с однослойной обмоткой статора, нами были рассчитаны потери в щеках полюсов этих генераторов. Расчеты показали, что при однослойной обмотке трансформаторные потери в щеках весьма значительны и для исследованного генератора составляют более 280 кВт.

С целью значительного снижения потерь в козырьке щеки над каждым демпферным стержнем следует сделать прорези. Это существенно снизит пульсирующий поток и связанные с ним потери. На рисунке приведен эскиз полюсного наконечника гидрогенератора с прорезями 4 на поверхности щеки 3 над каждым из стержней 2. Демпферные стержни на торце соединены короткозамыкающим сегментом 5. В шихтованной части 1 полюсного наконечника показаны известные полузакрытые пазы. Выполнение предлагаемых прорезей 4 в щеках полюсов значительно увеличивает магнитное сопротивление пути замыкания потока рассеяния вокруг демпферных стержней 2. Уменьшение магнитной проводимости приводит к снижению магнитного потока и соответственно к уменьшению потерь в щеке. Последнее повышает КПД генератора, а уменьшение индуктивного сопротивления рассеяния стержней улучшает демпфирующие свойства обмотки.

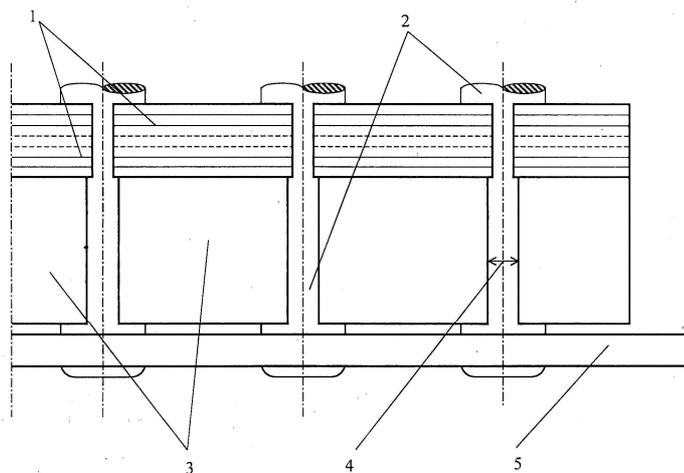


Рис. Эскиз фрагмента полюсного наконечника гидрогенератора с прорезями в нажимных щеках

Ширина прорези $b_{\text{ш}}^*$, при которой потери в стали щеки будут минимальны, может быть определена по формуле

$$b_{\text{ш}}^* = d_c \cdot \sqrt{1 - (d_c/2 \cdot h_0)^2}, \quad (3)$$

где d_c - диаметр отверстия под демпферный стержень; h_0 - расстояние от оси стержня до поверхности щеки или полюса, состоящее из суммы высоты мостика h_m и $d_c/2$.

Коэффициент магнитной проводимости паза по шлицу при различных величинах прорезей $b_{ш}$ или углов раскрытия паза ($2 \cdot \alpha$) определяется из выражения

$$\lambda_{ш} = 0,623 + \frac{h_m + \frac{d_c}{2} \cdot (1 - \cos\alpha)}{d_c \cdot \sin\alpha} \quad (4)$$

Следует отметить, что не всегда полученное значение $b_{ш}^*$ может быть приемлемым для модернизации полюса. Оптимальная величина ширины шлица должна быть выбрана с учетом прочностных параметров паза, позволяющих удерживать стержень в пазу от центробежных и других механических усилий, возникающих в процессе работы гидрогенератора.

В табл. 1 приведены результаты экспериментального определения коэффициентов увеличения активного сопротивления K_{rsv} [3] для паза с прорезью 6 мм, с целью их сравнения с данными закрытого паза, при геометрии щеки полюсов генератора СВФ 1690/175-64 Красноярской ГЭС. Как видно из таблицы, K_{rs} в пазе с прорезью уменьшается в 7...10 раз. Следовательно, пропорционально ему также снизятся потери в щеках в случае выполнения в них прорезей, т.е. при тех же токах в стержнях потери окажутся в 7...10 раз меньше.

На приведенном примере показано, как ощутимо может быть снижена одна из составляющих добавочных потерь гидрогенератора. Аналогичное исследование может быть выполнено для закрытых пазов на шихтованной части полюсного наконечника, где может быть получен еще больший экономический эффект.

Таблица 1

Паз	I_{cv} , А	Частота тока в стержне, Гц				
		100	150	200	300	400
без прорези	100	85,4	109	127	158	194
	300	93,2	124	145	173	215
	500	88,3	112	134	171	195
с прорезью	100	8,44	13,2	18,1	27,3	35,3
	300	8,47	12,2	16,2	24,9	30,9
	500	8,29	11,5	15,4	23,45	28,6

Выполнение указанных работ позволит не только повысить КПД по каждому из эксплуатируемых гидрогенераторов, но и улучшит условия и надежность их работы как в нормальных, так и в переходных и специальных режимах.

Определение экономической целесообразности тех или иных мероприятий для каждого конкретного генератора должно быть выполнено на основании детального исследования его реального состояния с последующей разработкой и осуществлением допустимых и обоснованных расчетов необходимых конструктивных изменений.

Все вышеприведенное впервые было внедрено нами на уровне изобретения [6] при реконструкции полюсов генераторов ДнепроГЭС-2. Эта работа явилась логическим продолжением работ, связанных с исследованием причин повреждения гидрогенераторов СВ 1230/140-56 и разработкой мероприятий по их устранению.

Необходимо отметить, что сравнение результатов исследования теплового поля штатных и модернизированных полюсов, выполненного ГрузНИИЭС на Г-13 ДнепроГЭС-2, показало значительную эффективность проведенной модернизации. Среднее превышение температуры полюсных наконечников модернизированных полюсов оказалось почти в 1,5 раз ниже, чем при неразрезанных щеках. В табл. 2 приводится сравнение средних превышений температур ΔT в $^{\circ}C$ над охлаждающим воздухом конструктивных частей исследуемых полюсов в некоторых режимах работы генератора.

Таблица 2

Режим работы генератора	Штатный полюс				Модернизированный полюс			
	к.з. сегм.	щеки	медь	сталь	к.з. сегм.	щеки	медь	сталь
Синхр. компенс.	47	51	65	58	23	34	26	34
80 МВт, 98 МВар	53	62	72	82	32	55	47	47
113 МВт, 20 МВар	64	76	84	102	63	63	64	67

Уменьшение нагрева не только поверхности щек, но и других частей полюса, особенно шихтованной стали, является следствием уменьшения доли тока, замыкающегося в демпферной обмотке по стали полюсного наконечника. Это оказалось возможным из-за снижения индуктивного сопротивления демпферных стержней в области прохождения их через массивные щеки, что дало возможность замыкания основной части токов стержней через короткозамыкающие сегменты, а не через сталь.

Понятно, что снижение нагрева полюсного наконечника связано с уменьшением выделяющихся в нем потерь. Если потери в щеках могут быть нами определены расчетным путем по [3,4], то потери в стали оценить трудно из-за вероятностного характера величины тока, ответвляющегося от стержня в сталь. Поэтому для определения величины снижения потерь в полюсных наконечниках при разрезанных щеках была использована известная связь потерь со средним превышением температуры поверхности полюсного наконечника [7]

$$\Delta P = \alpha S \Delta T. \quad (5)$$

Согласно результатам испытания, снижение температуры ΔT полюсного наконечника после внедрения рекомендаций и предложенной в [7] конструкции щеки составило $39^{\circ}C$. Учитывая площадь поверхности полюса генератора ДнепроГЭС-2 $S=8750 \text{ см}^2$, а также значение коэффициента теплоотдачи, рассчитанного согласно [7]:

$$\alpha = \frac{1 + 0,1 \cdot \tau}{450}, \quad (6)$$

где $\tau = 65$ см, снижение потерь на полюс оказывается $5,7 \text{ кВт}$. На весь генератор типа СВ 1230/140-56 это составляет $\Delta P = 5,7 \cdot 56 = 319 \text{ кВт}$.

Снижение добавочных потерь в полюсах на указанную величину соответственно приводит к повышению КПД генератора. Полученная дополнительная выработка при возможной реконструкции щек полюсов всех 16-ти генераторов

ДнепроГЭС-2 (при среднегодовой наработке генератора 5000 часов согласно расчетам внедряющей организации) составляет более 25 млн. кВт часов электроэнергии в год.

Таким образом, положительный эффект от предложенной модернизации полюсов заключается не только в повышении демпфирующих возможностей обмотки, значительном улучшении теплового состояния генератора, снижении вероятности появления выявленного нами эффекта электроэрозии, приведшего к повреждению демпферной обмотки генераторов ДнепроГЭС-2, но и в некоторой экономии энергоресурсов.

Как отмечалось выше, аналогичные работы могут быть выполнены на большинстве гидрогенераторов, эксплуатируемых в странах бывшего Союза. Это касается, в частности, энергосистем Армении и Грузии, где в эксплуатации находится значительная часть гидрогенераторов, построенных в 60-х годах прошлого века. Как показали обследования полюсов некоторых генераторов в Грузии, имеются достаточные резервы снижения в них добавочных потерь. Так, например, на генераторах ХрамГЭС-2 обнаружены следы значительных перегревов в области закрытых пазов как в щеках, так и в шихтованной части полюсных наконечников. Это свидетельствует о наличии значительных потерь в стали от потоков рассеяния вокруг стержней демпферной обмотки. Задача заключается в реализации возможности исследования этих потерь для количественной оценки эффективности от последующей разработки и внедрения необходимых энергосберегающих мероприятий, связанных с модернизацией полюсов этих гидрогенераторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зубиташвили Д.В., Арвеладзе Р.Д.** Некоторые проблемы энергетики. – Тб.: Энергия, 1977. – № 1. – С. 7-16 (на груз. яз.).
2. **Зубиташвили Д.В.** Состояние и перспективы энергопотребления в промышленности Грузии. – Тб.: Энергия, 2002. – № 1(21). – С. 42-46 (на груз. яз.).
3. **Тер-Газарян Г.Н., Биджамов Я.Г.** Потери в щеках мощных гидрогенераторов // Электротехника. – 1986. – №10. – С. 57-60.
4. **Биджамов Я.Г.** Расчет параметров демпферных стержней гидрогенераторов // Исслед. по вопросам энергетики и энергоресурсов в горных условиях: Сб. ст. ГрузНИИЭГС.- М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 70-77.
5. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
6. **Тер-Газарян Г. Н., Биджамов Я. Г., Овакимян А.С.** Полюс гидрогенератора. А.с. СССР SU №1270836 А1, кл. 4 Н 02 К 1/24, 15.11.86, Бюл. №42.
7. **Филипов И. Ф.** Теплообмен в электрических машинах.–Л.: Энергоатомиздат, 1986. –256 с.

ГрузНИИЭЭС. Материал поступил в редакцию 10.05.2003.

Դ.Վ. ԶՈՒԲԻՏԱՇՎԻԼԻ, ՅՈՒ.Գ. ԲԻՋԱՄՈՎ

**ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐՈՒՄ ԷՆԵՐԳԱԽՆԱՅՈՂՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇ
ՁԵՎԵՐԻ ՄԱՍԻՆ**

Ցույց է տրված շահագործվող հիդրոգեներատորի բևեռային ծայրապանակներում կատարված կառուցվածքային փոփոխությունների միջոցով ՕԳԳ-ի բարձրացման և լրացուցիչ կորուստների նվազեցման հնարավորությունը: Դիտարկված է այդ կորուստների մեթոդիկան վերակառուցումից առաջ և հետո: Բերված են հիդրոգեներատորների բևեռներում լրացուցիչ կորուստների նվազեցման միջոցառումների գործնական իրականացման օրինակներ:

D.V. ZUBITASHVILI, Ya.G. BIJAMOV

SOME WAYS OF ENERGY SAVING ON POWER ENGINEERING ENTERPRISES

Additional losses and the efficiency of operating hydrogenerators increased by certain structural changes in the pole pieces can be reduced. The procedure of assessment of these losses before and after the reconstruction is considered. The examples of practical measures on the reduction of additional losses in the poles of hydrogenerators are given.

Գ.Շ. ՇՄԱՎՈՒՅԱՆ

**p-GaSb/n-GaAs ԴԻՈԴՆԵՐԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ
ՋԵՐՄԱԼՈՒՍԱՎՈԼՏԱՅԻՆ ՍԱՐՔԵՐՈՒՄ ԵՎ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ
ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐՈՒՄ**

Բարելավվել են մետաղ - օրգանական գոլորշու փուլային էպիտաքսիայի եղանակով աճեցված p-GaSb/n-GaAs դիոդների բնութագրերը՝ դիոդները ենթարկելով ֆլուորաթթվային մշակման ու հետագա ջերմամշակման: Ուսումնասիրվել է ջրածնի ներմուծման և ջերմաստիճանի ազդեցությունը այդ դիոդների լուսային վոլտ-ամպերային բնութագրերի և լուսազգայունության վրա: Առաջարկվել են ֆլուորաթթվային ու ջերմային մշակման այնպիսի պայմաններ, որոնց դեպքում զգալիորեն լավացել է հետերոանցման որակը: Արդյունքում զգալիորեն բարելավվել են p-GaSb/n-GaAs դիոդի վոլտ-ամպերային բնութագրերը և լուսազգայունությունը, նպատակահարմար է դարձել դրանց կիրառումը ջերմալուսավոլտային սարքերում և արբանյակային արևային էլեմենտներում:

Առանցքային բառեր. ջերմալուսավոլտային սարքեր, արբանյակային արևային էլեմենտներ, ֆլուորաթթվային մշակում, ջերմամշակում, մետաղ - օրգանական գոլորշու փուլային էպիտաքսիա:

Վերջին տասնամյակում մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող ջերմալուսավոլտային էլեմենտները [1, 2], որոնք ինֆրակարմիր ճառագայթումը փոխակերպում են էլեկտրականության, հնարավորություն են տալիս օգտագործել կենցաղում (փայտ, բնական գազ, ածուխ, կենսազանգված, վառարաններ, ջեռուցիչներ), արտադրությունում, ռազմական ոլորտում, տիեզերքում և ատոմակայաններում անջատված աննպատակ կորչող ջերմությունը, ինչպես նաև վերականգնել ջերմային կորուստները:

Որպեսզի ջերմալուսավոլտային էլեմենտներն առավելագույն չափով կլանեն 700...1700°C ջերմաստիճան ունեցող ջերմային աղբյուրի ճառագայթման էներգիան, դրանց պատրաստման համար օգտագործում են խառնուրդային կիսահաղորդիչներ, կիսահաղորդչային միացություններ, քվանտային հորեր ու կետեր ունեցող կիսահաղորդչային բարդ բազմաշերտ կառուցվածքներ: Ջերմալուսավոլտային էլեմենտների նման բարդ կառուցվածքները պատրաստվում են մետաղ - օրգանական գոլորշու փուլային էպիտաքսիայի կամ մետաղ - ճառագայթ էպիտաքսիայի տեխնոլոգիաներով:

Ներկայումս մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում հետերոանցում ունեցող դիոդները, որոնք առավելություն ունեն հոմոանցում ունեցող դիոդների նկատմամբ՝ զգայուն են ավելի մեծ սպեկտրալ տիրույթում, սակայն ունեն համեմատաբար վատ բնութագրեր. վոլտ-ամպերային բնութագրի հակառակ ճյուղը չի հագնում, և լուսազգայունությունը համաչափ չէ սպեկտրալ ամբողջ տիրույթում: Հիմնականում հետաքրքրություն են ներկայացնում համատեղելի հետերոանցումներ ունեցող դիոդները, քանի որ անհամատեղելի հետերոանցումներ ունեցող դիոդներ աճեցնելն ուղեկցվում է հետերոանցման սահմանում արատների և դիսլոկացիաների մեծ քանակության առկայությամբ, ինչը վատացնում է դիոդների բնութագրերը:

Հաղթահարելով GaSb և GaAs կիսահաղորդիչների ցանցերի 7,54 % անհամատեղելիության հետևանքով առաջացած աճեցման դժվարությունները՝ ընտրվել են հետերոանցման աճեցման լավարկված պայմաններ [2], որոնք հնարավորություն են տվել փոքրացնել հետերոանցման արատների և դիսլոկացիաների խտությունը: Հետերոանցումներն ուսումնասիրվել են մեծ թույլատվություն ունեցող էլեկտրոնային մանրադիտակով [2]: Ստացված հետերոանցումների հիման վրա պատրաստվել են GaSb/GaAs դիոդներ [3, 4]: Դիոդների վոլտ-ամպերային բնութագրերի և լուսազայնության կորերը խիստ կախված են էպիտաքսիալ շերտի աճեցման ջերմաստիճանից, հաստությունից և հետերոանցման էպիտաքսիալ շերտերի փոխադարձ դասավորությունից [3]: Պատրաստված դիոդների լուսազայնությունը համաչափ չէ սպեկտրալ ամբողջ տիրույթում, իսկ առավելագույն արժեքը 800 նմ ալիքի երկարությունում 10% է [3], ինչը լավ արդյունք է 7,54 % ցանցերի անհամապատասխանություն ունեցող GaAs և GaSb կիսահաղորդիչների համար:

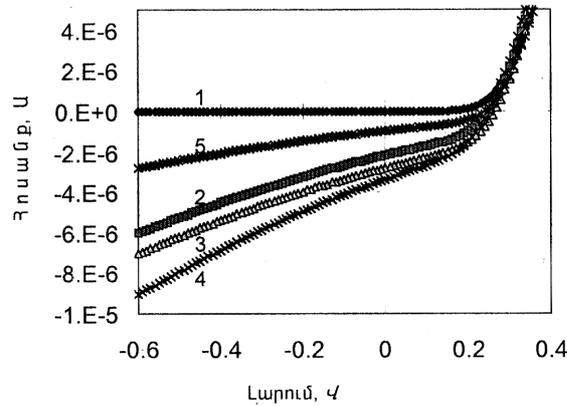
Այսպիսով, չնայած աճեցման լավագույն պայմանների ընտրությանը՝ p-GaSb/n-GaAs դիոդների հետերոանցման սահմանում առկա են էլեկտրականապես ակտիվ դիսլոկացիաներ, ինչպես նաև գեներացիոն-ռեկոմբինացիոն կենտրոններ հանդիսացող արատներ [3], որոնք թույլ չեն տալիս բարելավել p-GaSb/n-GaAs դիոդների բնութագրերը և ստանալ առավել արդյունավետ դիոդներ: Դիոդների բնութագրերը բարելավելու դեպքում հնարավոր կդառնա դրանց կիրառումը ջերմալուսավոլտային սարքերում և արբանյակային արևային էլեմենտներում:

Աշխատանքի նպատակն է՝ բարելավել p-GaSb/n-GaAs դիոդների բնութագրերը՝ վերացնելով կամ պասիվացնելով հետերոանցման աճեցման ընթացքում առաջացող անխուսափելի դիսլոկացիաներն ու արատները և ստանալ առավել արդյունավետ դիոդներ, որոնք կարող են կիրառվել ջերմալուսավոլտային սարքերում և արբանյակային արևային էլեմենտներում: Այդ նպատակով p-GaSb/n-GaAs դիոդները մշակվել են ֆլուորաթթվում, ապա ենթարկվել ջերմամշակման: Ուսումնասիրվել է ջրածնի ներմուծման և ջերմաստիճանի ազդեցությունն այդ դիոդների վրա: Ջրածնի ներմուծման միջոցով արատների պասիվացումը III-V կիսահաղորդչային միացություններում և GaSb-ում ուսումնասիրվել են [6, 7] աշխատանքներում: Ջրածնային պլազմայի տաքացման ազդեցությունը InGaAs քվանտային հորերի ֆոտոլյումինեսցենցիայի վրա քննարկվել է [8] աշխատանքում և ցույց է տրվել, որ տաքացումը նպաստում է ֆոտոլյումինեսցենցիայի ինտենսիվության մեծացմանը:

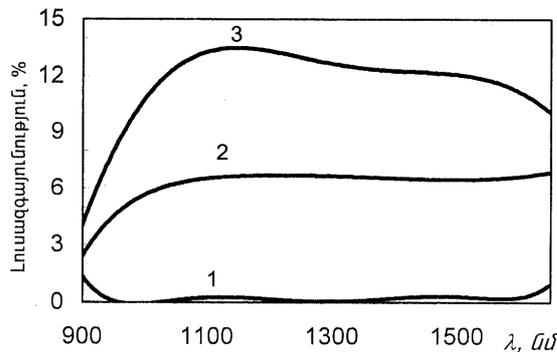
Աշխատանքը կատարվել է Անգլիայում՝ Օքսֆորդի և Հալի համալսարանների համագործակցությամբ, [3] աշխատանքի փորձնական հետազոտությունների շարունակությունն է, կատարված հետազոտությունների մի մասը զեկուցվել է գիտաժողովում [5]: Ուսումնասիրվել են 0,5 մմ հաստությամբ և 20 մմ տրամագծով p-GaSb տակդիրի վրա Ստրանսկի-Կրաստանով մեխանիզմով և մետաղ - օրգանական գոլորշու փուլային էպիտաքսիայի եղանակով աճեցված p-n հետերոանցումներից կազմված p-GaSb/n-GaAs դիոդները: GaSb և GaAs էպիտաքսիալ շերտերի գումարային հաստությունը կազմել է 2,4 մկմ:

Ֆլուորաթթվային մշակման և հետագա ջերմամշակման ազդեցությունը p-GaSb/n-GaAs դիոդների լուսային վոլտ-ամպերային բնութագրերի և լուսազայնությունների վրա համապատասխանաբար բերված են նկ. 1-ում և 2-ում: Նկ. 2-ում

բերված է լուսազգայունության կորի երկար ալիքային տիրույթը, քանի որ հիմնական առանձնահատկությունները դիտվում են այդ տիրույթում: Դիոդների վոլտ-ամպերային բնութագրերի և լուսազգայունության կորերը ստացվել են վոլտ-ամպերային բնութագրեր և լուսազգայունություն չափող հայտնի մեթոդներով:



Նկ. 1. Ֆլուորաթթվային մշակման և հետագա ջերմամշակման ազդեցությունը p-GaSb/n-GaAs դիոդների լուսային վոլտ-ամպերային բնութագրերի վրա. 1 - մթնային վոլտ-ամպերային բնութագիր, 2 - մինչև ֆլուորաթթվային և ջերմային մշակումը, 3 - 10 րոպե ֆլուորաթթվային մշակումից և 150°C ջերմաստիճանում 3-ժամյա ջերմամշակումից հետո, 4 - 10 րոպե ֆլուորաթթվային մշակումից և 200°C ջերմաստիճանում 1-ժամյա ջերմամշակումից հետո, 5 - 10 րոպե ֆլուորաթթվային մշակումից և 250°C ջերմաստիճանում 1-ժամյա ջերմամշակումից հետո



Նկ. 2. Ֆլուորաթթվային մշակման և հետագա ջերմամշակման ազդեցությունը p-GaSb/n-GaAs դիոդների լուսազգայունության վրա. 1 - մինչև ֆլուորաթթվային և ջերմային մշակումը, 2 - 10 րոպե ֆլուորաթթվային մշակումից և 150°C-ում 3-ժամյա ջերմամշակումից հետո, 3 - 10 րոպե ֆլուորաթթվային մշակումից և 200°C ջերմաստիճանում 1-ժամյա ջերմամշակումից հետո

Դիոդի 10 րոպե ֆլուորաթթվային մշակումից և 150°C ջերմաստիճանում 3-ժամյա ջերմամշակումից հետո 20%-ով մեծանում են և(պարապ ընթացքի լարումն ու կարճ միացման հոսանքը` (նկ. 1, կոր 3), և լուսազգայունությունը (նկ. 2, կոր 2): Դիոդի ջերմաստիճանը մինչև 200°C բարձրացնելիս նորից մեծանում են ինչպես պարապ ընթացքի լարումն ու կարճ միացման հոսանքը` 50%-ով (նկ. 1, կոր 4), այնպես էլ լուսազգայունությունը (նկ. 2, կոր 3): Ընդ որում, այս դեպքում լուսազգայունության կորը սպեկտրալ ամբողջ տիրույթում, դառնում է համեմատաբար հա-

մաչափ, իսկ լուսազգայունության առավելագույն արժեքը 1150 նմ ալիքի երկարությունում կազմում է 13,5 %: Դիողը մինչև 250°C ջերմաստիճան տաքացնելիս կարճ միացման հոսանքը կտրուկ փոքրանում է 70 %-ով, վոլտ-ամպերային բնութագրի հակառակ ճյուղն ուղղվում է (նկ. 1, կոր 5), իսկ լուսազգայունությունը՝ համարյա անհետանում (նկ. 2, կոր 1):

Ֆլուորաթթվային մշակումը և հետագա ջերմամշակումը նպաստում են, որ դիողների վրա ադսորբվի ջրածին: Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ հետերոանցման սահմանին ադսորբված ջրածինը դիֆուզվում է դեպի հետերոանցման խորքը: Ջրածնի ներմուծման և ջերմաստիճանի ազդեցության հետևանքով պասիվանում են հետերոանցման սահմանի արատները, վերանում են գեներացիոն-ռեկոմբինացիոն կենտրոնները և դիպոլկացիաները, որոնք նպաստում են հետերոանցման որակի բարձրացմանը: Արդյունքում բարելավվում են դիողի բնութագրերը: Դիողը մինչև 250°C ջերմաստիճան տաքացնելու դեպքում կարճ միացման հոսանքի կտրուկ փոքրացումը և լուսազգայունության համարյա վերացումը հաստատում է ջրածնի կարևոր դերը դիողի բնութագրերի բարելավման գործում:

Այսպիսով, ջրածնի ներմուծման և ջերմաստիճանի ազդեցության հետևանքով բարելավվում են p-GaSb/n-GaAs դիողների բնութագրերը, նպատակահարմար է դառնում դրանց կիրառումը ջերմալուսավոլտային սարքերում և արբանյակային արևային էլեմենտներում: Այսինքն, դիողի ֆլուորաթթվային և ջերմային մշակման միջոցով հաջողվում է ստանալ համեմատաբար համաչափ լուսազգայունության կոր՝ կորուստ չունենալով առավելագույն արժեքի մեջ, ինչպես նաև զգալիորեն մեծացնել դիողի կարճ միացման հոսանքը՝ նվազագույն կորուստ ունենալով վոլտ-ամպերային բնութագրի հազեցվածության աստիճանում:

Աշխատանքն իրականացվել է ՆԱՏՕ-ի PDD(CP)-(FEL.RIG 980772) վերամիավորման դրամաշնորհի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Haywood S. K.** Thermophotovoltaics: Can they make a significant contribution? // Energy and Environment. - 2000. - V. 11, N 1. - P. 81-91.
2. **Kim J.-H., Seong T.-Y., Mason N. J., Walker P. J.** Morphology and defect structures of GaSb islands on GaAs grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy // Journal of Electronic Materials. - 1998. - V. 27, N 5. - P. 123-127.
3. **Haywood S. K., Zheng L., Sweileh G. M., Lakrimi M., Mason N. J., Walker P. J.** Effect of GaAs growth temperature on p-GaSb/n-GaAs diode characteristics // IEEE Proceedings. - Opto. - 1998. - V. 145. - P. 287-291.
4. **Zheng L., Haywood S. K., Verschoor G., Mason N. J.** p-GaSb/n-GaAs heterojunctions for thermophotovoltaic and solar cell applications // IEEE Proceedings. - Opto. - 2000. - V. 147. - P. 205-208.
5. **Shmavonyan G. Sh., Zheng L., Haywood S. K., Mason N. J.**, Effect of temperature and hydrogen incorporation on p-GaSb/n-GaAs diodes for thermophotovoltaic and solar cell applications. // Abstracts of 2000 Annual Conference of British Association for Crystal Growth, Manchester. - 2000. - P. 99 - 102.
6. **Dutta P. S., Sreedhar A. K., Bhat H. L., Dubey G. C., Kumar V., Dieguez E., Pal U., Piqueras J.**, Passivation of surface and bulk defects in p-GaSb by hydrogenated

- amorphous silicon treatment // Journal of Applied Physics. – 1996. -V. 79, N 6. - P.15-19.
7. **Dutta P., Sangunni K. S., Bhat H. L., Kumar V.** // Phys. Rev. B51. - 1995.- P. 2153 – 2159.
 8. **Murray R.** // Quantum Dots 2000 Meeting, Sheffield University. – 2000 June. - P. 11-20.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.03.2004:

Г.Ш. ШМАВОНЯН

**ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ p-GaSb/n-GaAs ДИОДОВ В
ТЕРМОФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ И
СПУТНИКОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

Улучшены характеристики p-GaSb/n-GaAs диодов, изготовленные методом фазовой эпитаксии металл-органическим паром. С этой целью диоды подвергались травлению в плавиковой кислоте и дальнейшей термообработке. Исследовано влияние водорода и температуры на световые вольт-амперные характеристики и фоточувствительность этих диодов. Предложены такие условия травления в плавиковой кислоте и термообработки, при которых существенно улучшено качество гетероперехода. В результате существенно повышены вольт-амперные характеристики и фоточувствительность p-GaSb/n-GaAs диодов. Показана целесообразность их использования в термофотовольтаических приборах и спутниковых солнечных элементах.

G.SH. SHMAVONYAN

**POSSIBLE APPLICATION OF p-GaSb/n-GaAs DIODES IN
THERMOPHOTOVOLTAIC DEVICES AND SATELLITE SOLAR CELLS**

The characteristics of MOVPE grown p-GaSb/n-GaAs diodes are improved. For that purpose the diodes were treated in HF acid and subsequently annealed. The effect of hydrogen incorporation and temperature on the I-V curves under illumination and on spectral response of those diodes are investigated. Terms of HF dip and subsequent annealing are suggested, according to which the quality of heterojunction is improved. As a result of this the I-V characteristics and spectral response of p-GaSb/n-GaAs the diodes have essentially improved, their application has become expedient in thermophotovoltaic devices and satellite solar cells.

А.Г. АРУТЮНЯН

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

Рассматривается задача регулирования напряжения на зажимах осветительных установок (ОУ) путем компенсации реально существующего отклонения напряжения питающей электросети. Приведены зависимости потребляемой активной, реактивной и полной мощности ОУ от величины отклонения напряжения питания. Представлена однолинейная электрическая схема для регулирования напряжения на зажимах дросселя газоразрядных ламп изменением величины коэффициента и частоты пульсаций.

Ключевые слова: дроссель, световой поток, амплитуда, частота, пульсация.

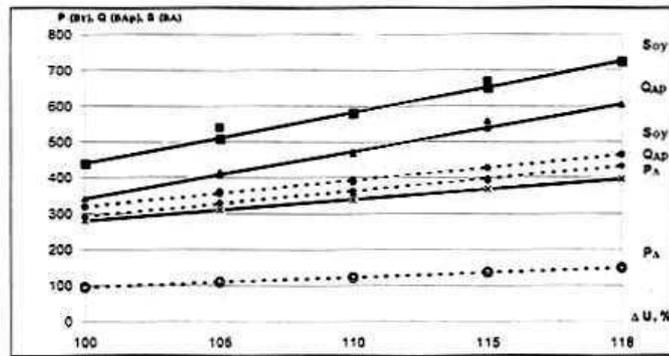
Известно, что на промышленных предприятиях около 10% потребляемой электроэнергии затрачивается на производственное освещение [1]. Правильное проектирование и эксплуатация осветительных установок приводят к минимизации эксплуатационных затрат, повышению производительности труда, уменьшению количества аварий.

Основными эксплуатационными показателями осветительных установок с газоразрядными лампами (ГЛ) являются срок службы ламп, потребляемая энергия и пульсация светового потока. Эти показатели, как видно из рис.1а и б, а также из [2], сильно зависят от величины напряжения питающей электрической сети. В работе рассматривается способ регулирования напряжения на зажимах ОУ.

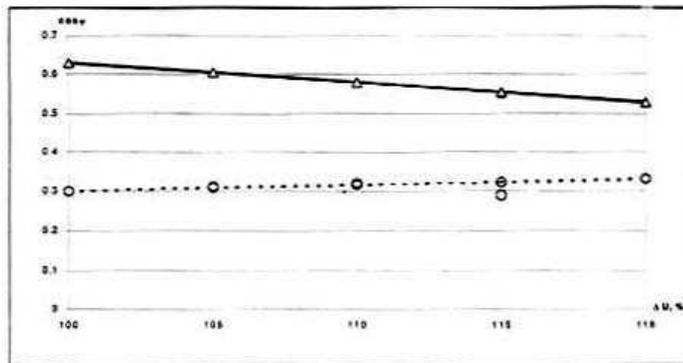
Известно [1], что основной причиной отклонения напряжений в системах электроснабжения предприятий является изменение режимов работы электроприемников и питающей энергосистемы, а также значительные индуктивные сопротивления линий 6...10 кВ. Характерным является тот факт, что производственное и уличное освещения работают в ночное время суток, когда нагрузка в энергосистеме минимальная. Именно в это время суток отклонения напряжения наибольшие.

Из графиков рис.1а видно, что даже при допустимом ГОСТом значении отклонения напряжения увеличивается потребляемая активная и реактивная мощность ОУ. Например, для ОУ с ДРЛ-250 и ДНаТ-100 при $\Delta U=5\%$ согласно [2] срок службы уменьшается на 13%, потребляемая активная мощность увеличивается соответственно на 12% и 17%. Существенно увеличивается также потребляемая реактивная мощность балластного дросселя - на 25% и 12,5%, а полная мощность ОУ - соответственно на 18% и 12,5%.

Результаты исследований показывают, что отсутствие регулирования отклонения напряжения в осветительных сетях с ГЛ приводит к увеличению затрат на их эксплуатацию, что, в свою очередь, приводит к перегрузкам питающей осветительной сети, уменьшению срока службы кабелей и коммутационных аппаратов и, следовательно, частым авариям в осветительных сетях.



а)



б)

Рис.1: а - зависимость активной, реактивной и полной мощности от величины отклонения напряжения: ■ для ДРЛ-250, ▲ для ДНаТ-100;
 б - зависимость $\cos\phi$ ОУ от величины отклонения напряжения: ■ для ДРЛ-250, ● для ДНаТ-100

Из графиков рис. 1а видно, что с увеличением величины напряжения на ОУ потребляемая реактивная мощность балластного дросселя увеличивается быстрее, чем активная мощность лампы ДРЛ-250. В результате коэффициент мощности ОУ уменьшается (рис. 1б). В случае ОУ с лампой ДНаТ потребляемая активная мощность лампы увеличивается быстрее, чем реактивная мощность балластного дросселя, и в результате коэффициент мощности ОУ увеличивается (рис. 1б). Результаты опытов показывают, что лампы ДНаТ более чувствительны к отклонениям питающего напряжения от номинального.

Из вышеизложенного видно, что с целью рациональной эксплуатации ОУ актуально найти эффективное техническое решение для регулирования величины отклонения напряжения питающей осветительной сети, которое должно максимально решить все проблемы, возникаемые при отклонении напряжения питающей осветительной сети, и быть простым в эксплуатации.

В [2] для регулирования отклонения напряжения предлагаются два технических решения, которые в настоящее время не нашли применения из-за ряда недостатков.

Например, тиристорный ограничитель напряжения ТОН-3-220-63 имеет следующие недостатки [2]:

- узкий диапазон регулирования напряжения, питающего осветительную сеть (0,9 ... 1,05 от номинального значения);
- снижение коэффициента мощности, увеличение дозы высших гармоник в составе тока и напряжения осветительной сети;
- увеличение коэффициента пульсаций газоразрядных ламп;
- низкая надежность работы устройства.

Нами считается целесообразным регулирование величины отклонения напряжения на зажимах ОУ. Для достижения этой цели необходимо изменить индуктивное сопротивление дросселя ГЛ, которое равно

$$X_{др.} = 2\pi f L , \quad (1)$$

где f - частота питающего напряжения; L - индуктивность дросселя ГЛ.

Из (1) видно, что для изменения величины $X_{др.}$ необходимо изменить индуктивность дросселя или частоту питающего напряжения.

На рис.2 показана схема, позволяющая, используя принцип работы магнитного усилителя, изменить индуктивность дросселя. На магнитопроводе стандартного дросселя намотана дополнительная обмотка, которая питается от регулируемого источника постоянного напряжения.

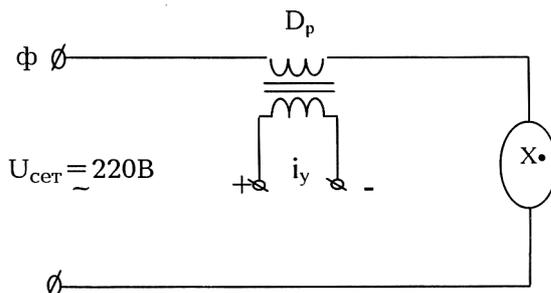


Рис. 2. Схема включения лампы ДРЛ-250 с регулируемой индуктивностью дросселя

Эксперименты показали, что при уменьшении индуктивности в пределах 5...8% от номинального значения коэффициент пульсаций светового потока ГЛ типа ДРЛ-250 увеличивается незначительно $K_p = 67\%$ [3], но при этом изменяется частота пульсации (рис.3). В этом диапазоне регулирования ток лампы удается регулировать в пределах 5% от номинального значения, а напряжение на зажимах дросселя изменяется на 1,25% от номинального значения.

Известно [4], что в цепях с ферромагнитным элементом и нелинейным сопротивлением, каковым является работающая ГЛ (рис.2), возникают субгармоники, частота которых равна $f_r = f_c / n$, где f_c - частота питающего напряжения, n - номер субгармоники.

Из снятой осциллограммы (рис.3) видно, что в пульсации светового потока ГЛ тоже возникают субгармоники с частотой λ , равной f_r , что не учитывается в понятии коэффициента пульсаций, о чем подробно написано в [5].

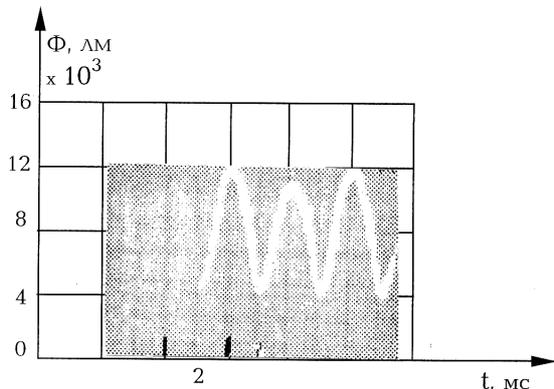


Рис.3. Осциллограмма изменения светового потока лампы ДРЛ-250 при изменении тока на 4,65% от I_n

Недостатком предлагаемого способа является увеличение пульсаций светового потока. Более перспективным является регулирование величины индуктивного сопротивления с помощью изменения частоты. Этот способ позволит одновременно с регулированием отклонения напряжения на клеммах ОУ уменьшить пульсации светового потока ГЛ.

В [6] предлагается принципиально новая структурная схема осветительных сетей производственного и наружного освещения с частотой питающего напряжения $f = 400$ Гц. Применение в качестве инвертора широтно-импульсного преобразователя позволяет за счет изменения скважности выходного напряжения инвертора поддерживать на зажимах ГЛ номинальное значение напряжения при отклонении напряжения питания.

В [7] показана технико-экономическая эффективность построения таких осветительных сетей. Приведены результаты экспериментов и теоретическое обоснование, показывающее, что коэффициент пульсации составляет (3%.

В качестве примера на рис.4 приведена принципиальная схема инвертора [6,8] для питания лампы накаливания и галогеновых ламп, которые в последнее время нашли широкое применение. Выходное напряжение в данном случае является однополярным, а диапазон регулирования находится в пределах от нуля до номинального напряжения.

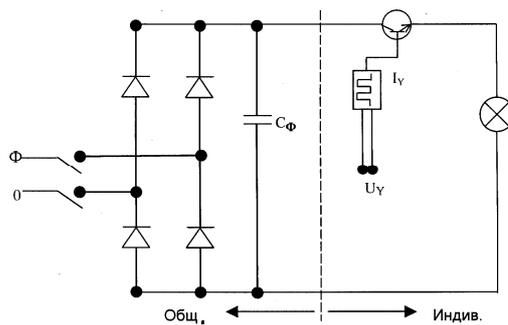


Рис.4. Принципиальная схема устройства с регулированием напряжения для питания лампы накаливания

Таким образом, на основании вышеизложенного можно прийти к следующим выводам:

1. Для регулирования напряжения на клеммах осветительных установок необходимо экспериментально установить допустимый диапазон изменения частоты питающего напряжения, в котором пульсации светового потока газоразрядных ламп высокого давления остаются в допустимых нормах для каждого разряда зрительной работы.
2. Необходимо разработать широтно-импульсные преобразователи частоты для питания осветительных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федоров А.А., Старкова Л.Е.** Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
 2. **Кнорринг Г. М.** Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
 3. **Айзенберг Ю. Б.** Справочная книга по светотехнике. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
 4. **Атабеков Г.И., Купалян С.Д., Тимофеев А.Б., Хухриков С.С.** Теоретические основы электротехники. – М.: Энергия, 1979. – 432 с.
 5. **Шидловский А.К., Куренный Э.Г., Арутюнян А.Г.** Динамические модели электромагнитной совместимости электрических источников света // Техническая электродинамика.- 1985. – N2. – С.12-16.
 6. Патент №930. Устройство для группового питания газоразрядных ламп высокого давления импульсным напряжением / **Арутюнян А.Г.** – 14.04.2000, Официальный справочник №1, РА.
 7. **Арутюнян А.Г.** Эффективный способ питания производственной и наружной осветительной сети // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2003.-Т. 56, N 1.- С. 81-85.
 8. **Ривкин Г. А.** Преобразовательные устройства. – М.: Энергия, 1970. – 544 с.
- ЗАО “Ин-т энергетики РА”. Материал поступил в редакцию 06.06.2002.

Ա.Գ. ՀԱՐՈՒՅՈՒՆՅԱՆ

ԳԱԶԱՊԱՐԴԱՆՄԱՅԻՆ ԼԱՄՊԵՐՈՎ ԼՈՒՍԱՎՈՐՄԱՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ

Դիտարկվում է լուսավորման սարքերի սեղմակների վրա լարման կարգավորման ինդիքը՝ սնող էլեկտրական ցանցերի՝ իրականում գոյություն ունեցող լարման շեղումները կարգավորելու նպատակով: Գրաֆիկների տեսքով բերված են փորձերի արդյունքները սպառվող ակտիվ, ռեակտիվ և լրիվ հզորությունների փոփոխությունների կախվածությունը լարման շեղման մեծությունից ДРЛ-250 և ДНаТ-100 լամպերի համար: Բերված է լարման կարգավորման միագիծ էլեկտրական գծապատկերը (սխեմա), որը հնարավորություն է ընձեռում կարգավորել լարման անկումը բալաստային դիմադրությունների սեղմակների վրա: Բերված են նաև լույսի հոսքի բաբախման մեծության և հաճախականության փոփոխությունները լարման առաջարկվող կարգավորման դեպքում:

A.G. HARUTIUNYAN

LIGHTING GRID EFFICIENCY INCREASE USING GAS DISCHARGE LAMPS

The voltage regulation problem on the terminals of lighting installations (LI) by compensating really existing feeding circuit voltage deviation is discussed. The LI consumed active, reactive and full capacity dependences on the magnitude of feeding voltage deviation are brought. The single - line electric scheme for voltage regulation on the terminals of gas discharge lamp throttle by changing the magnitude of coefficient and frequency of pulsation is presented.

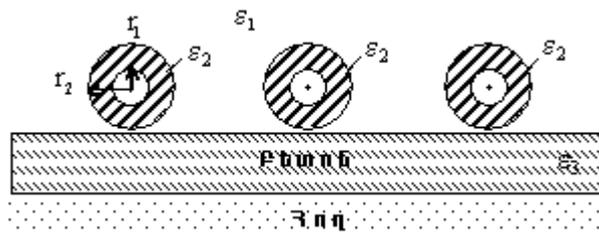
Լ.Ն. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Վ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԵՌԱՖԱԶ ՄԱԼՈՒԽԻ ԶՈՒԳԱՀԵՌ ՏԵՂԱԿԱՅՎԱԾ ԶՂԵՐԻ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄ

Առաջարկված է էլեկտրական դաշտի լարվածության բաշխման հաշվարկի մեթոդ՝ եռաֆազ, առանց մետաղյա պատյանի, պոլիէթիլենային մեկուսացմամբ և բետոնե անցուղիներում տեղակայված մալուխների համար: Մշակված մեթոդով որոշված են եռաֆազ մալուխի էլեկտրական դաշտի լարվածության մեծությունները և միջֆազային հեռավորությունները՝ ելնելով երկարատև էլեկտրական ամրության ապահովման պայմանից:

Առանցքային բառեր. հայելային պատկերների մեթոդ, մասնակի ունակություններ, համարժեք դիէլեկտրիկական թափանցելիություն:

Էներգետիկական ժամանակակից համակարգերում մեկ պատյանում պարփակված եռաջիղ մալուխից աստիճանաբար անցնում են երեք միաֆազ մալուխների: Այս դեպքում մալուխի առանձին ֆազերը տեղակայվում են զուգահեռ, մեկ հարթության վրա և բետոնե անցուղու մեջ (նկ. 1):



Նկ. 1. Մալուխի ֆազերի դասավորությունը բետոնե խրամուղում

r_1 - ջղի հաղորդալարի շառավիղ, r_2 - մեկուսչի արտաքին մակերևույթի շառավիղ, ϵ_1 - շրջապատող օդի դիէլեկտրիկական թափանցելիություն, ϵ_2 - պոլիմերային մեկուսչի դիէլեկտրիկական թափանցելիություն, ϵ_3 - բետոնե շերտի դիէլեկտրիկական թափանցելիություն

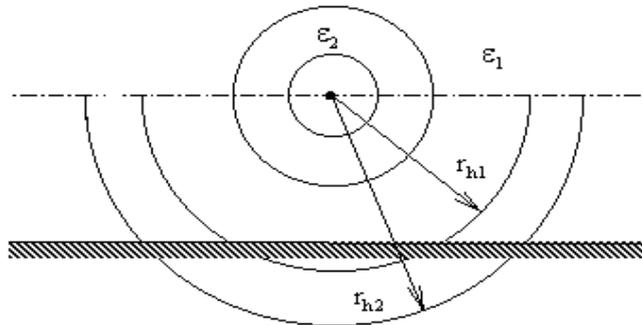
Անցուղու առկայությունն ավելորդ է դարձնում մալուխների ավանդական մետաղյա պատյանի անհրաժեշտությունը՝ որպես մեկուսիչ օգտագործելով պոլիէթիլենը: Արդյունքում բացառվում են միջֆազային կարճ միացումները, թափառող հոսանքների առաջացումը և պարզեցվում է տեղակայումը: Միաժամանակ նվազում է մալուխի ինքնարժեքը, բարձրանում շահագործման հուսալիությունը, երկարակեցությունը:

Քննարկվող մալուխային գծի երկարատև էլեկտրական ամրության ապահովման համար անհրաժեշտ է որոշել ջղերի միջև լավարկված հեռավորությունը, որը հանգեցվում է եռաֆազ համասեռ գծի էլեկտրական դաշտի լարվածության որոշման՝ մալուխը շրջապատող տարածության կետերում:

Էլեկտրական դաշտի հաշվարկը կատարված է հայելային պատկերների մեթոդով, պայմանով, որ լիցքավորված էլեկտրական առանցքները գտնվում են համարժեք համասեռ դիէլեկտրիկական միջավայրում: Վերջինիս դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը պետք է որոշել պոլիէթիլենի, օդի և բետոնի շերտերի հաստության հաշվառմամբ: Այդ նպատակով որոշվում են շղերի մասնակի C_{11} , C_{22} , C_{33} ունակությունները հողի նկատմամբ (նկ. 1)՝ ըստ [1]-ում նկարագրված մեթոդի.

$$C_{11} = C_{22} = C_{33} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{r_{h_1}^{1-k} r_{h_2}^k}{r_1}}, \quad (1)$$

որտեղ r_{h_1} -ը բետոնի շերտի հաստությունը հաշվի առնող գլանական մակերևույթի շառավիղն է, r_{h_2} -ը՝ պոլիէթիլենի և շրջապատող օդի շերտերի ազդեցությունը հաշվի առնող համարժեք գլանային մակերևույթի շառավիղը, $k = \frac{\epsilon_{\text{միջ}}}{\epsilon_p}$ -ը՝ պոլիէթիլեն - օդ շերտերի համարժեք $\epsilon_{\text{միջ}}$ դիէլեկտրիկական թափանցելիության հարաբերությունը բետոնի դիէլեկտրիկական թափանցելիությանը:



Նկ. 2. Մեկ ջղի (ֆազի) հաշվարկային մոդելը բնահողի երկշերտ կառուցվածքի դեպքում

Ընդ որում, $\epsilon_{\text{միջ}}$ -ը հաշվելիս ընդունվել է, որ պոլիէթիլենով պատված ջիղը շրջապատված է պոլիէթիլենի շերտի կրկնակի հաստությամբ օդի շերտով, քանի որ եռակի, քառակի հաստության շերտերի հաշվառման դեպքում $\epsilon_{\text{միջ}}$ -ի արժեքը քիչ է փոխվում:

Եռաֆազ մալուխի ջղերի միջև մասնակի ունակությունները որոշվում են [2]-ում նկարագրված մեթոդով: Այսպես, առաջին և երկրորդ, երկրորդ և երրորդ ջղերի միջև՝

$$C_{12} = C_{23} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{d_{12} + \sqrt{d_{12}^2 - r_1^2}}{d_{12} - \sqrt{d_{12}^2 - r_1^2}} + \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - 1 \right) \ln \frac{\left(d_{12} + \sqrt{d_{12}^2 - r_1^2} \right)^2 - r_2^2}{r_2^2 - \left(d_{12} - \sqrt{d_{12}^2 - r_1^2} \right)^2}}, \quad (2)$$

որտեղ d_{12} - ը առաջին և երկրորդ ջղերի կենտրոնների հեռավորությունն է:

Առաջին և երրորդ ջղերի միջև մասնակի ունակությունը՝

$$c_{13} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{d_{13} + \sqrt{d_{13}^2 - r_1^2}}{d_{13} - \sqrt{d_{13}^2 - r_1^2}} + \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - 1\right) \ln \frac{(d_{13} + \sqrt{d_{13}^2 - r_1^2})^2 - r_2^2}{r_2^2 - (d_{13} - \sqrt{d_{13}^2 - r_1^2})^2}}, \quad (3)$$

որտեղ d_{13} - ը առաջին և երրորդ ջղերի կենտրոնների հեռավորությունն է:

Օգտվելով մասնակի ունակությունների և ունակային գործակիցների կապից [3]՝ որոշում ենք β_{11} , β_{12} , β_{13} ունակային գործակիցները.

$$\beta_{12} = -c_{12}, \quad \beta_{13} = -c_{13}, \quad \beta_{11} = c_{11} - \beta_{12} - \beta_{13}. \quad (4)$$

Ունակային գործակիցների օգնությամբ որոշվում է α_{11} պոտենցիալային գործակիցը.

$$\alpha_{11} = \frac{\beta_{11}}{\beta_{11}^2 - \beta_{12}^2}: \quad (5)$$

Մյուս կողմից՝

$$\alpha_{11} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{\text{արդ}}} \ln \frac{2h}{r_1}, \quad (6)$$

որտեղից որոշվում է պոլիէթիլեն - օդ - քետոն անհամասեռ միջավայրի արդյունաբար դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը.

$$\varepsilon_{\text{արդ}} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\alpha_{11}} \ln \frac{2h}{r_1} = \frac{18 \cdot 109}{\alpha_{11}} \ln \frac{2h}{r_1}: \quad (7)$$

Ջղերի փոխադարձ և սեփական մասնակի ունակությունների հայտնի արժեքներով հնարավոր է դառնում որոշել լիցքավորված առանցքների լիցքերի գծային $\dot{\tau}_1$, $\dot{\tau}_2$, $\dot{\tau}_3$ խտությունները [3]՝ հաշվի առնելով ֆազերի լարումների փուլային շեղումը.

$$\dot{\tau}_1 = c_{11}\dot{U}_1 + c_{12}\dot{U}_{12} + c_{13}\dot{U}_{13}, \quad (8)$$

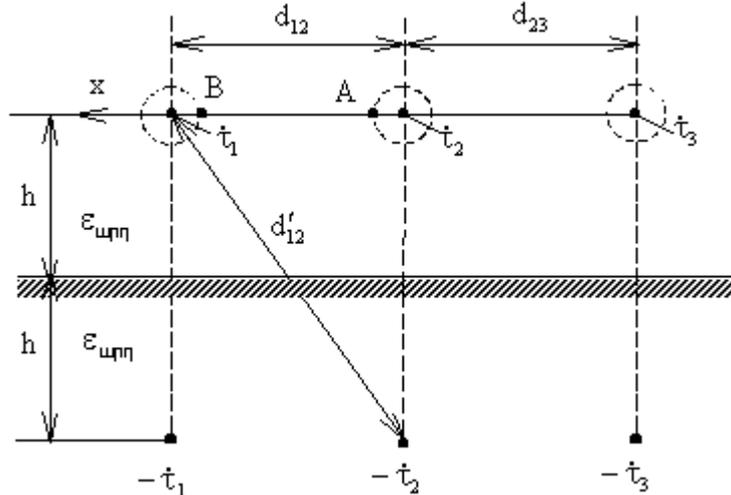
$$\dot{\tau}_2 = c_{22}\dot{U}_2 + c_{21}\dot{U}_{21} + c_{23}\dot{U}_{23}, \quad (9)$$

$$\dot{\tau}_3 = c_{33}\dot{U}_3 + c_{31}\dot{U}_{31} + c_{32}\dot{U}_{32}, \quad (10)$$

որտեղ \dot{U}_1 -ը առաջին ֆազային լարումն է, $\dot{U}_2 = \dot{U}_1 e^{-j120}$ -ը, $\dot{U}_3 = \dot{U}_1 e^{-j240}$ -ը՝ երկրորդ և երրորդ ֆազերի լարումները, իսկ $\dot{U}_{12} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$, $\dot{U}_{13} = \dot{U}_1 - \dot{U}_3$, $\dot{U}_{23} = \dot{U}_2 - \dot{U}_3 = -\dot{U}_{32}$ -ը՝ միջֆազային (գծային) լարումները:

Էլեկտրական դաշտի լարվածությունների որոշման հաշվարկային սխեման բերված է նկ. 3-ում:

Քերված հաշվարկային սխեմայում $\dot{\tau}_1$ -ը, $\dot{\tau}_2$ -ը, $\dot{\tau}_3$ -ը լիցքավորված առանցքների լիցքերի գծային խտություններն են, իսկ $-\dot{\tau}_1$ -ը, $-\dot{\tau}_2$ -ը, $-\dot{\tau}_3$ -ը՝ համապատասխան լիցքերի հայելային պատկերները:



Նկ. 3. Լարվածությունների որոշման հաշվարկային սխեմա

Յուրաքանչյուր լիցքավորված առանցքի ստեղծած դաշտի լարվածությունը նրանից r հեռավորության վրա գտնվող կետում որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

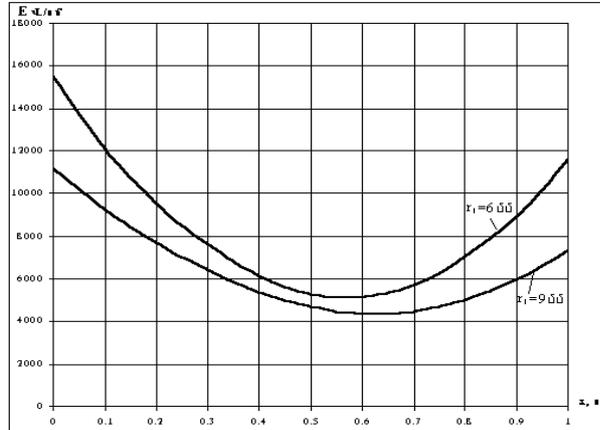
$$\dot{E} = \frac{\dot{\tau}}{2\pi\epsilon_0\epsilon_{\text{ադր}}r} : \quad (11)$$

Քննարկվող խնդրում էլեկտրական դաշտի առավելագույն լարվածություններն առաջանում են էլեկտրական առանցքները միացնող ուղղի կետերում: Հաշվարկները ցույց են տվել, որ ամենամեծ լարվածությունն առաջանում է մեջտեղի ջղի A կետում (նկ. 3) և, համեմատաբար, ավելի փոքր՝ B կետում: Հաշվարկները կատարվել են համակարգչի վրա 10 կՎ անվանական լարման մալուխային գծի դեպքում՝ երկրաչափական չափերի և էլեկտրական պարամետրերի հետևյալ արժեքների համար. $r_1 = 3,6,9$ սմ, $r_2 = 8,4$ սմ, $d_{12} = d_{23} = 8,6,4,2$ սմ, $\epsilon_1 = 1$, $\epsilon_2 = 2,3$, $\epsilon_3 = 6$, $\epsilon_{\text{ադր}} = 2,6$: Նշենք, որ բետոնի շերտի հաստությունը 3...9 սմ սահմաններում փոփոխելիս մնացած հավասար պայմանների դեպքում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը բոլոր կետերում մեծանում է:

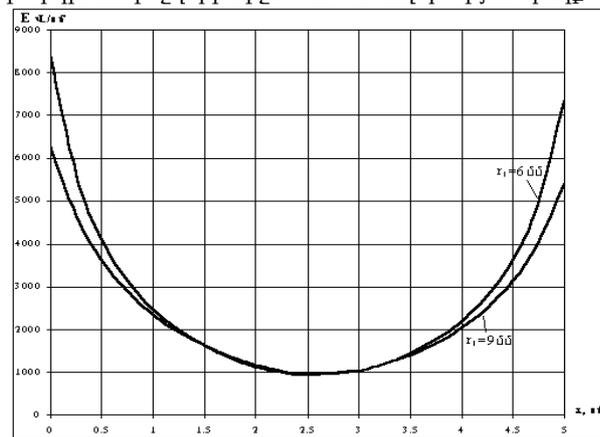
Հաշվարկների արդյունքներով կառուցվել են E լարվածության՝ x կոորդինատից կախումն արտահայտող ֆունկցիաների գրաֆիկները՝ որպես կոորդինատների սկիզբ ընդունելով կենտրոնական ջղի մակերևույթի A կետը (նկ. 3):

Ինչպես երևում է գրաֆիկներից (նկ. 4), կենտրոնական ջղի մակերևույթից դեպի եզրային ջիղը հեռանալիս լարվածությունը նվազում է, հասնում նվազագույն արժեքի, ապա մեծանում՝ փոքր մնալով A կետում լարվածության առավելագույն արժեքից: Ջղերի միջև համեմատաբար ավելի մեծ հեռավորության դեպքում լարվածության նվազագույն արժեքները $r_1 = 0,6$ սմ և $r_2 = 0,9$ սմ շառավղով ջղերի

համար գրեթե համընկնում են (նկ. 5), իսկ առավելագույն արժեքները միևնույն կետերում էապես տարբերվում են:



Նկ. 4. Եռաֆազ մալուխի էլեկտրական դաշտի լարվածության բաշխումն ըստ x կոորդինատի՝ ջղերի միջև 1 սմ/հեռավորության դեպքում



Նկ. 5. Էլեկտրական դաշտի լարվածության բաշխումն ըստ x կոորդինատի՝ ջղերի միջև 5 սմ/հեռավորության դեպքում

Ելնելով [4]-ում բերված փորձնական տվյալներից՝ կարելի է եզրակացնել, որ դիտարկված օրինակներում լարվածության առավելագույն արժեքն ամենավտանգավոր A կետում տասնյակ անգամ փոքր է պոլիէթիլենի ներսում ծավալային լիցքի առաջացման համար անհրաժեշտ լարվածության արժեքից և այն կառուցվածքային քայքայման չի ենթարկվի: Հետևաբար, մալուխի ջղերի միջև հեռավորությունը կարելի է ընտրել որքան հնարավոր է փոքր, տվյալ դեպքում՝ 1 սմ:

Վերը շարադրվածի հիման վրա կարելի է կատարել հետևյալ եզրակացությունները.

1. Մեկ հարթության մեջ բետոնե խրամուղում տեղակայված ջղերով եռաֆազ մալուխի էլեկտրական դաշտի լարվածության առավելագույն արժեքները կենտրոնական ջղի մակերևույթի վրա կախված են բետոնի շերտի հաստությունից, հաղորդալարերի շառավղից և ջղերի միջև հեռավորությունից:

2. Եզրային ջղերի մակերևույթի կետերում դաշտի լարվածությունը զգալիորեն փոքր է կենտրոնական ջղի համապատասխան կետերում լարվածության առավելագույն արժեքից և, ջղերի միջև հեռավորությունը մեծանալիս, դրանց տարբերությունը փոքրանում է:

3. Ջղերի միջև հեռավորության որոշ արժեքից սկսած՝ նրանց հեռացման դեպքում լարվածության նվազագույն արժեքները միննույն կետում, տարբեր շառավղով հաղորդալարերի դեպքում, գրեթե համընկնում են:

4. Խրամուղու հատույթի լայնությունը պետք է ընտրել՝ ելնելով կենտրոնական ջղի մակերևույթի կետերում լարվածության առավելագույն արժեքից, որպեսզի վերջինս չգերազանցի տվյալ պոլիմերային մեկուսչի երկարատև էլեկտրական ամրությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Альтшулер Э.Б., Авербух М.А.** Электрические параметры подземных протяженных трубопроводов// Электричество. - 1978. - № 2. - С. 26 - 30.
2. **Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г.** Расчет электрической емкости. - Л.: Энергоиздат, 1981. - 288 с.
3. **Нейман Л.Р., Демирчян К.С.** Теоретические основы электротехники. Том II. - М.: Энергоиздат, 1974. - 408 с.
4. **Ушаков В.Я.** Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 152 с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.07.2003:

Л.О. КАРАХАНЫАН, В.А. ГРИГОРЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ЖИЛАМИ ТРЕХФАЗНОГО КАБЕЛЯ

Предложен метод расчета распределения напряженности электрического поля для трехфазных кабелей без металлической оболочки, с полиэтиленовой изоляцией, установленных в бетонированных траншеях. Предложенным методом определены величины напряженности электрического поля трехфазного кабеля, исходя из условия обеспечения длительной электрической прочности.

L.O. KARAKHANYAN, V.A. GRIGORYAN DISTANCE OPTIMIZATION BETWEEN PARALLELLY LOCATED THREE-PHASE CABLE CONDUCTORS

A design method of electric field intensity for three-phase cables without any metallic sheath, with polyethylene insulation located in concreting trenches is proposed. Three-phase electric field cable intensity quantities are specified by the proposed method proceeding from conditions of durable electric strength control.

С.О. СИМОНЯН, Ф.П. ГРИГОРЯН
СИНТЕЗ МНОГОМЕРНЫХ УПРАВЛЕНИЙ С ЖЕЛАЕМЫМИ
СПЕКТРАМИ В СИСТЕМАХ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В [1] была рассмотрена задача построения скалярного управления с желаемым спектром в стационарной системе автоматического регулирования при скалярном входном сигнале регулятора. В настоящей работе рассматривается аналогичная задача построения многомерного управления.

Ключевые слова: стационарная система, синтез многомерного управления, желаемый спектр.

Задача 1. Пусть задана управляемая система

$$\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t),$$

$$U(t) = \int_{-\infty}^t G(t-\tau)v(\tau)d\tau,$$

$$v(t) = bX(t)$$

или

$$\dot{X}(t) = AX(t) + B \int_{-\infty}^t G(t-\tau)bX(\tau)d(\tau), \quad (1)$$

где $X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))^T$ – вектор переменных состояния; $A = (a_{ij})$, $i, j = \overline{1, n}$ – невырожденная матрица переменных состояния;

$$B = (b_{jk}) = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1r} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nr} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{pmatrix}, \quad j = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, r}$$

(матрица управляющих переменных $U(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t))^T$ (выходной сигнал регулятора); $G(\cdot) = (g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_r(\cdot))^T$ (импульсная переходная функция регулятора); $v(t)$ (скалярный входной сигнал регулятора); $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ (вектор-строка коэффициентов усиления обратной связи).

Требуется построить вектор-строку $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ и невырожденную матрицу

$$\tilde{K} = (\tilde{k}_{ij}) = \begin{bmatrix} \tilde{k}_{11} & \tilde{k}_{12} & \cdots & \tilde{k}_{1n} \\ \tilde{k}_{21} & \tilde{k}_{22} & \cdots & \tilde{k}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \tilde{k}_{n1} & \tilde{k}_{n2} & \cdots & \tilde{k}_{nn} \end{bmatrix} = (\tilde{K}_1 \mid \tilde{K}_2 \mid \cdots \mid \tilde{K}_n), \quad i, j = \overline{1, n}$$

так, чтобы преобразование

$$X(t) = \tilde{K} Z(t) = \sum_{i=1}^n \tilde{K}_i z_i(t)$$

привело (1) к расщепленному виду, т.е.

$$\dot{Z}(t) = M Z(t), \quad (2)$$

где

$$M = \text{diag}(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) -$$

- диагональная матрица порядка n с наперед заданными желаемыми собственными числами μ_i , $i = \overline{1, n}$, удовлетворяющими следующим условиям:

$$- \mu_i \neq \mu_j, \quad i, j = \overline{1, n};$$

- $\mu_i \neq \lambda_j$, $i, j = \overline{1, n}$, где λ_j , $j = \overline{1, n}$ – собственные числа матрицы A ,

причем $\lambda_i \neq \lambda_j$, $i \neq j$, $i, j = \overline{1, n}$;

- при матрице B и передаточной функции регулятора $W(\mu) = (W_1(\mu), W_2(\mu), \dots, W_r(\mu))^T$ векторы $B_1 W(\mu_i), B_2 W(\mu_i), \dots, B_n W(\mu_i)$, $\forall i = \overline{1, n}$ - линейно независимы.

Решение задачи 1. Обозначим через

$$S = (s_{ij}) = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdots & s_{nn} \end{bmatrix} = (S_1 \mid S_2 \mid \cdots \mid S_n), \quad i, j = \overline{1, n}$$

матрицу собственных векторов S_i , $i = \overline{1, n}$ матрицы A и выполним преобразование подобия [2,3]:

$$X(t) = S Y(t),$$

при котором

$$\dot{Y}(t) = \Lambda Y(t) + B_0 \int_{-\infty}^t G(t-\tau) q Y(\tau) d\tau, \quad (3)$$

причем

$$\Lambda = S^{-1} A S = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n),$$

$$B_0 = S^{-1} B = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1r} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2r} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ h_{n1} & h_{n2} & \cdots & h_{nr} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{pmatrix} = (h_{jk}), \quad j = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, r} -$$

- преобразованная матрица управляющих переменных;

$$q = b S = (q_1, q_2, \dots, q_n) -$$

-преобразованная вектор-строка коэффициентов усиления обратной связи.

Произведем в (3) замену переменных

$$Y(t) = K Z(t) = \sum_{i=1}^n K_i z_i(t),$$

где

$$K = (k_{ij}) = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} = (K_1 \mid K_2 \mid \dots \mid K_n) \quad i, j = \overline{1, n}$$

- некоторая невырожденная матрица. При этом

$$\sum_{i=1}^n K_i \mu_i z_i(t) = \Lambda \sum_{i=1}^n K_i z_i(t) + B_0 \int_{-\infty}^t G(t-\tau) q \sum_{i=1}^n K_i z_i(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Выбор векторов K_i и $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ ограничим требованием равенств [4], порожденных соотношением (4):

$$K_i \mu_i z_i(t) = \Lambda K_i z_i(t) + B_0 \int_{-\infty}^t G(t-\tau) q K_i z_i(\tau) d\tau, \quad i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

С учетом решения системы (2)

$$z_i(t) = C_i \exp(\mu_i t), \quad i = \overline{1, n},$$

где $C_i, i = \overline{1, n}$ – постоянные интегрирования (начальные условия), из (5) имеем

$$K_i \mu_i C_i \exp(\mu_i t) = \Lambda K_i C_i \cdot \exp(\mu_i t) + B_0 \int_{-\infty}^t G(t-\tau) q K_i C_i \exp(\mu_i \tau) d\tau, \quad i = \overline{1, n},$$

откуда легко получить, что

$$K_i \mu_i = \Lambda K_i + B_0 \int_{-\infty}^t G(t-\tau) q K_i \exp[\mu_i(\tau-t)] d\tau, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Замена $t - \tau = s$ уравнения (6) приводит к виду

$$K_i \mu_i = \Lambda K_i + B_0 \int_0^{\infty} G(s) \exp(-\mu_i s) ds q K_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Обозначив

$$W(\mu_i) = \int_0^{\infty} G(s) \exp(-\mu_i s) ds = (W_1(\mu_i), W_2(\mu_i), \dots, W_r(\mu_i))^T, \quad i = \overline{1, n},$$

с учетом (7) имеем

$$\mu_i K_i = [\Lambda K_i + B_0 W(\mu_i) q] K_i = U(\mu_i) K_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Соотношение (8) показывает, что столбцы $K_i, i = \overline{1, n}$ матрицы K являются собственными векторами матрицы

$$U(\mu_i) = \begin{bmatrix} (\lambda_1 + p_1(\mu_i)q_1) & p_1(\mu_i)q_2 & \cdots & p_1(\mu_i)q_n \\ p_2(\mu_i)q_1 & (\lambda_2 + p_2(\mu_i)q_2) & \cdots & p_2(\mu_i)q_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_n(\mu_i)q_1 & p_n(\mu_i)q_2 & \cdots & (\lambda_n + p_n(\mu_i)q_n) \end{bmatrix}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

где

$$p_j(\mu_i) = \sum_{k=1}^r h_{jk} W_k(\mu_i), \quad i, j = \overline{1, n}.$$

Характеристический многочлен [5] матрицы (9) имеет вид

$$\begin{aligned} |U(\mu_i) - \mu E| &= \left[1 + \sum_{j=1}^n \frac{p_j(\mu_i)q_j}{\lambda_j - \mu} \right] \prod_{i=1}^n (\lambda_i - \mu) = \\ &= \prod_{i=1}^n (\lambda_i - \mu) + \sum_{j=1}^n p_j(\mu_i)q_j \prod_{i=1}^n (\lambda_i - \mu) = \\ &= \delta(\mu) + \sum_{j=1}^n p_j(\mu_i)q_j \delta_j(\mu). \end{aligned} \quad (10)$$

Благодаря второму условию задачи имеем

$$\delta_j(\mu_i) \neq 0, \quad i, j = \overline{1, n},$$

с учетом которых при $\mu = \mu_i, i = \overline{1, n}$ из (10) имеем следующую линейную относительно неизвестных q_1, q_2, \dots, q_n неоднородную алгебраическую систему порядка n :

$$\begin{cases} p_1(\mu_1)\delta_1(\mu_1)q_1 + p_2(\mu_1)\delta_2(\mu_1)q_2 + \cdots + p_n(\mu_1)\delta_n(\mu_1)q_n = -\delta(\mu_1), \\ p_1(\mu_2)\delta_1(\mu_2)q_1 + p_2(\mu_2)\delta_2(\mu_2)q_2 + \cdots + p_n(\mu_2)\delta_n(\mu_2)q_n = -\delta(\mu_2), \\ \cdots \\ p_1(\mu_n)\delta_1(\mu_n)q_1 + p_2(\mu_n)\delta_2(\mu_n)q_2 + \cdots + p_n(\mu_n)\delta_n(\mu_n)q_n = -\delta(\mu_n), \end{cases}$$

или в компактной записи:

$$\mathfrak{Z}(p_i(\mu_j) \delta_i(\mu_j)) q^T = -\delta(\mu_j), \quad i, j = \overline{1, n}.$$

Из третьего условия задачи имеем

$$\det \mathfrak{Z}(p_i(\mu_j) \delta_i(\mu_j)) \neq 0$$

и, следовательно,

$$q = -\delta^T(\mu_j) [\mathfrak{Z}^{-1}(p_i(\mu_j) \delta_i(\mu_j))]^T.$$

Наконец, для искомого вектор-строки коэффициентов усиления обратной связи b и матрицы преобразования \tilde{K} имеем

$$b = -\delta^T(\mu_j) [\mathfrak{Z}^{-1}(p_i(\mu_j) \delta_i(\mu_j))]^T \cdot S^{-1}, \quad (11)$$

$$\tilde{K} = SK.$$

При этом решение задачи имеет вид

$$x(t) = SK \exp(Mt)C, \quad (12)$$

где C - n -мерный вектор произвольных постоянных.

Задача 2 (синтез управления по заданным граничным условиям). Построим управление

$$U(t) = \int_{-\infty}^t G(t-\tau) b x(\tau) d\tau \quad (13)$$

так, чтобы движение замкнутой системы (1), начинающееся в точке X_0 в момент $t = t_0$, достигло заданного конечного состояния X_1 в заданный момент $t_1 > t_0$.

Решение задачи 2. В соответствии с (12) имеем

$$X_0 = SK \exp(M t_0)C,$$

$$X_1 = SK \exp(M t_1)C,$$

откуда

$$[SK \exp(M t_0)]^{-1} X_0 = [SK \exp(M t_1)]^{-1} X_1$$

и, следовательно,

$$\exp(-M t_0)[SK]^{-1} X_0 = \exp(-M t_1)[SK]^{-1} X_1$$

или

$$\exp(M(t_1 - t_0))[SK]^{-1} X_0 = [SK]^{-1} X_1.$$

Последнее соотношение является системой трансцендентных уравнений n -го порядка относительно неизвестных собственных чисел μ_i , $i = \overline{1, n}$ матрицы M . Если эта система имеет решение (или решения), то управление (управления) вида (13), обеспечивающее (обеспечивающие) переход системы (1) из точки (X_0, t_0) в точку (X_1, t_1) , строится (строятся) согласно (11).

Пример. Рассмотрим систему (1) [6], где

$$\begin{cases} A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & 0 \end{bmatrix}, & X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix}, & B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 \\ 0,5 & 0 \end{bmatrix}, \\ U(t) = \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}, & G(t-\tau) = \begin{pmatrix} g_1(t-\tau) \\ g_2(t-\tau) \end{pmatrix}, & b = (b_1, b_2). \end{cases} \quad (14)$$

Требуется построить $b = (b_1, b_2)$ так, чтобы имели место соотношения

$$\dot{X}(t) = \tilde{K}Y(t) = \tilde{K}_1 y_1(t) + \tilde{K}_2 y_2(t), \quad \tilde{K} = (\tilde{K}_1, \tilde{K}_2) = \begin{bmatrix} \tilde{k}_{11} & \tilde{k}_{12} \\ \tilde{k}_{21} & \tilde{k}_{22} \end{bmatrix}, \quad \dot{y}_i(t) = \mu_i y_i(t), \quad i = \overline{1, 2}, \text{ где}$$

$$\mu_1 = -1, \quad \mu_2 = -2, \quad W(\mu) = \begin{pmatrix} W_1(\mu) \\ W_2(\mu) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \mu - 1 \\ 1 \\ \mu - 2 \end{pmatrix}, \quad \omega \approx 0,0013 \text{ 1/с.} \quad (15)$$

Решение. Имеем

$$|A - \lambda E| = \begin{vmatrix} -\lambda & 1 \\ -\omega^2 & -\lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 + \omega^2, \quad \lambda_1 = i\omega, \quad \lambda_2 = -i\omega.$$

Определим собственные векторы матрицы A из условий

$$AS_1 = \lambda_1 S_1, \quad AS_2 = \lambda_2 S_2.$$

Тогда

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} s_{11} \\ s_{21} \end{pmatrix} = i\omega \begin{pmatrix} s_{11} \\ s_{21} \end{pmatrix} \Rightarrow S_1 = \begin{pmatrix} s_{11} \\ s_{21} \end{pmatrix} = \gamma_1 \begin{pmatrix} 1 \\ i\omega \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \gamma_1 \neq 0 -$$

- произвольное постоянное число. Таким же путем получаем

$$S_2 = \begin{pmatrix} s_{11} \\ s_{21} \end{pmatrix} = \gamma_2 \begin{pmatrix} -1 \\ i\omega \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \gamma_2 \neq 0.$$

Следовательно,

$$S = (S_1 \mid S_2) = \begin{bmatrix} \gamma_1 & -\gamma_2 \\ i\omega & i\omega \\ \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix}, \quad |S| = \frac{2}{i\omega} \gamma_1 \gamma_2 \neq 0, \quad S^{-1} = \frac{i\omega}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{\gamma_1} & \frac{1}{i\omega\gamma_1} \\ -\frac{1}{\gamma_2} & \frac{1}{i\omega\gamma_2} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

На основе (15) находим

$$W(\mu) = \begin{pmatrix} 1 \\ \mu-1 \\ 1 \\ \mu-2 \end{pmatrix}, \quad W^{(-1)} = \begin{pmatrix} W_1^{(-1)} \\ W_2^{(-1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1/2 \\ -1/3 \end{pmatrix}, \quad W^{(-2)} = \begin{pmatrix} W_1^{(-2)} \\ W_2^{(-2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1/3 \\ -1/4 \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Из (14) и (16) следует

$$\begin{aligned} B_0 = S^{-1}B &= S^{-1} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \frac{i\omega}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{\gamma_1} & \frac{1}{i\omega\gamma_1} \\ -\frac{1}{\gamma_2} & \frac{1}{i\omega\gamma_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0 \end{bmatrix} = \frac{i\omega}{2} \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 \\ i\omega\gamma_1 & \gamma_1 \\ 1 & -0.5 \\ i\omega\gamma_2 & -\gamma_2 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \end{pmatrix}, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{cases} h_1 = \frac{i\omega}{4} \left(\frac{1}{i\omega\gamma_1}, \frac{1}{\gamma_1} \right), \\ h_2 = \frac{i\omega}{2} \left(\frac{1}{i\omega\gamma_2}, -\frac{0.5}{\gamma_2} \right). \end{cases} \quad (18)$$

Согласно (9), (17) и (18), находим

$$\begin{pmatrix} p_1(\lambda_1) \\ p_2(\lambda_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 W(\lambda_1) \\ h_2 W(\lambda_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 \begin{pmatrix} W_1(\lambda_1) \\ W_2(\lambda_1) \end{pmatrix} \\ h_2 \begin{pmatrix} W_1(\lambda_1) \\ W_2(\lambda_1) \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{3+2i\omega}{24c_1} \\ -\frac{3+i\omega}{12c_2} \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} p_1(\lambda_2) \\ p_2(\lambda_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 W(\lambda_2) \\ h_2 W(\lambda_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 \begin{pmatrix} W_1(\lambda_2) \\ W_2(\lambda_2) \end{pmatrix} \\ h_2 \begin{pmatrix} W_1(\lambda_2) \\ W_2(\lambda_2) \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{4+3i\omega}{48c_1} \\ -\frac{8+3i\omega}{48c_2} \end{pmatrix}.$$

Далее имеем

$$\delta(\mu) = (\lambda_1 - \mu)(\lambda_2 - \mu), \quad \delta_0 = \begin{pmatrix} \delta(\mu_1) \\ \delta(\mu_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta(-1) \\ \delta(-2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + \omega^2 \\ 4 + \omega^2 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \end{pmatrix},$$

$$\delta_1(\mu) = \lambda_2 - \mu, \quad \delta_1(\mu_1) = \delta_1(-1) = i\omega + 1, \quad \delta_1(\mu_2) = \delta_1(-2) = -i\omega + 2,$$

$$\delta_2(\mu) = \lambda_1 - \mu, \quad \delta_2(\mu_1) = \delta_2(-1) = i\omega + 1, \quad \delta_2(\mu_2) = \delta_2(-2) = i\omega + 2,$$

$$\mathfrak{Z}(\cdot) = \begin{bmatrix} p_1(\mu_1)\delta_1(\mu_1) & p_2(\mu_1)\delta_2(\mu_1) \\ p_1(\mu_2)\delta_1(\mu_2) & p_2(\mu_2)\delta_2(\mu_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{3+2i\omega}{24c_1}(-i\omega+1) & -\frac{3+i\omega}{12c_2}(i\omega+1) \\ -\frac{4+3i\omega}{48c_1}(-i\omega+2) & -\frac{8+2i\omega}{48c_2}(i\omega+2) \end{bmatrix}.$$

Имея в виду, что $\omega = 0,0013$ 1/сек, для $\mathfrak{Z}(\cdot)$ можно принять

$$\mathfrak{Z}(\cdot) \approx -\frac{1}{12} \begin{bmatrix} \frac{3-i\omega}{2c_1} & \frac{3+2i\omega}{c_2} \\ \frac{4+i\omega}{2c_1} & \frac{8+i\omega}{2c_2} \end{bmatrix}.$$

Следовательно,

$$|\mathfrak{Z}(\cdot)| = \frac{3-4i\omega}{36c_1c_2}, \quad \mathfrak{Z}(\cdot)^{-1} = -\frac{3c_1c_2}{3-4i\omega} \begin{bmatrix} \frac{8+i\omega}{2c_2} & -\frac{3+2i\omega}{c_2} \\ -\frac{4+i\omega}{2c_1} & \frac{3-i\omega}{2c_1} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Из (11), (16) и (19) окончательно получаем

$$(b_1, b_2) = 2/3 (13i\omega; 3).$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Григорян Ф.П.** Синтез управлений с желаемым спектром в системе автоматического регулирования// Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2002.- Т. 55, N1.- С.121-127.
2. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. – М. : Наука, 1967.- 576 с.
3. **Симонян С.О.** К упрощению вычислительных процедур расщепления линейных динамических систем на основе дифференциально-тейлоровских преобразований // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2000.-Т. 53, N3.- С. 389-393.
4. **Абгарян К. А.** Матричные и асимптотические методы в теории линейных систем. - М. : Наука, 1973.- 431с.
5. **Гальперин Е. А.** Синтез линейных управлений в стационарной системе// Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. -1968. - N4. –С. 130 –136.
6. **Пономарев В. М.** Теория управления движением космических аппаратов. – М.: Наука. 1965.- 456 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.10.2003.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ֆ.Պ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ ՑԱՆԿԱԼԻ ՏԱՐԴԱՊԱՏԿԵՐՈՎ ԲԱԶՄԱԶՍՓ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶԸ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

Դիտարկվել է [1] ցանկալի տարրապատկերով սկալյար կառավարման կառուցման խնդիրը ավտոմատ կարգավորման ստացիոնար համակարգում, կարգավորիչի սկալյար մուտքային ազդանշանի դեպքում: Դիտարկվում է բազմաչափ կառավարման կառուցման նմանատիպ խնդիր:

S.H. SIMONYAN, F.P. GRIGORYAN

MULTIDIMENSIONAL CONTROL SYNTHESIS WITH DESIRED SPECTRA IN AUTOMATICALLY REGULATED SYSTEMS

The problem of building scalar control with desired spectrum in automatically regulated autonomous systems with scalar input signal has been discussed in [1]. A similiar problem of building a multidimensional control is discussed.

В.Ш. МЕЛИКЯН, Д.Д. ОГАНЕСЯН

**АЛГОРИТМ МИНИМИЗАЦИИ ЗАДЕРЖЕК КРИТИЧЕСКИХ
ПУТЕЙ ЦИФРОВЫХ СХЕМ**

Дан анализ эффективности существующих алгоритмов оптимизации цифровых схем при разных технологических процессах. С целью уменьшения задержек критических путей предложен метод посттопологической оптимизации цифровых схем посредством реструктуризации и перераспределения логических схем.

Ключевые слова: посттопологическая оптимизация, критический путь, минимизация задержек межсоединений.

В CMOS субмикронной технологии паразитные эффекты межсоединений стали доминирующими факторами работы схемы. Минимальный размер транзистора уменьшился до 0,1 мкм и ожидается, что скоро достигнет 0,07 мкм, что резко повышает степень интеграции. С другой стороны, становится очевидным, что рабочие характеристики схем будут в большей степени зависеть от характеристик межсоединений. Другой особенностью межсоединений является рост паразитной емкости между двумя соседними линиями. Эта емкость стала главной компонентой в суммарной паразитной емкости линии, что обусловлено увеличением соотношения геометрических размеров линий и уменьшением расстояния между ними. Из рис. 1а видно, что отношение емкости связи к суммарной емкости межсоединения (Металл 4) при минимальном расстоянии между соседними линиями увеличивается от 40 до 70% [1]. При двойном расстоянии линий это отношение увеличивается от 15 до 40%. Следовательно, при проектировании субмикронных схем весьма важен учет расстояний межсоединений.

Из вышеизложенного следует, что учет параметров межсоединений играет решающую роль в современном процессе проектирования интегральных схем (ИС). Другим весьма важным доказательством является зависимость задержек логического элемента и межсоединения от технологического процесса [1] (рис. 1б). Таким образом, очевидно, что оптимизация схем с учетом параметров межсоединений является актуальной задачей. В настоящее время уже существует много алгоритмов посттопологической оптимизации цифровых схем, которые или пренебрегают задержками межсоединений, или же используют слишком грубые значения временных параметров, в результате чего погрешность в расчетах временных моментов переключений схемы может достичь 15% [1]. Поэтому для решения вышеуказанных проблем необходимо применять более сложные алгоритмы.

Одним из путей решения отмеченной проблемы является минимизация длины межсоединений. Размещение элементов оказывает большое влияние на длину межсоединений. Следовательно, применение алгоритмов размещения элементов с учетом заранее заданных ограничений на временные характеристики схемы может в некоторой степени улучшить ситуацию. Минимизация длины межсоединения может быть осуществлена созданием дерева Стейнера для каждого межсоединения [2]. Одновременно необходимо учитывать и сопротивления межсоединений. В любом случае учет реальных топологических параметров необходим. Первым шагом оптимизации топологии межсоединения является минимизация или контролирование длины критических путей. Критическим является тот путь, который имеет

наибольшую задержку. При дальнейшей оптимизации подразумевается использование более точных моделей задержек, типа модели Элмора [3].

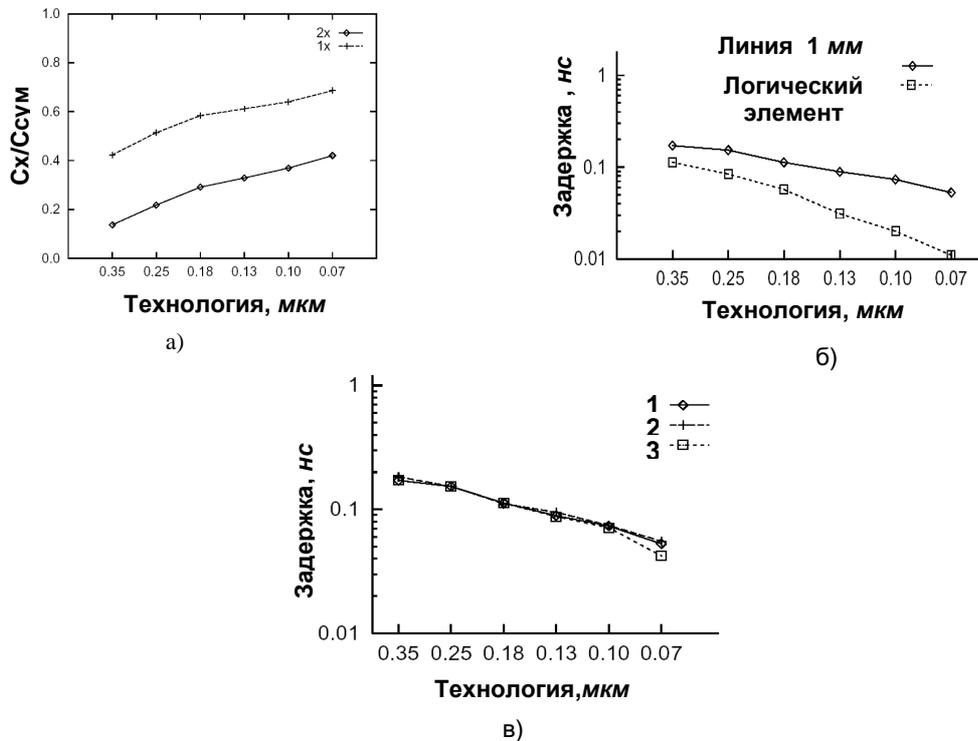


Рис. 1. Отношение емкости связи к суммарной емкости межсоединения (Металл 4) с минимальной (1x) и двойной (2x) шириной и расстоянием (а); зависимости задержек логического элемента и межсоединений от технологического процесса (б) при разных оптимизационных алгоритмах (в)

Другим путем решения проблемы минимизации задержки является учет размеров логических элементов. Если известна емкостная нагрузка межсоединения, то размеры ведущего логического элемента могут быть оптимизированы с целью минимизации задержки. Для большой нагрузки используется каскад элементов. Задача выбора размеров элементов состоит в определении каскада элементов и размеров каждого элемента. Если использовать простую RC-модель, а также игнорировать выходной емкостью ведущего элемента и межсоединений элементов каскада, то можно показать, что при емкостной нагрузке, равной C_L , и числе каскадов N отношение двух последующих элементов каскада будет равно $(C_L / C_0)^{1/N}$. Это отношение не должно меняться, чтобы обеспечить минимальную задержку. Если N не является постоянной величиной, то оптимальное отношение разрядов равно $f=e$, а число каскадов - $N = \ln(C_L / C_g)$.

В общем случае может быть использован также метод, основанный на оценке и задании размеров транзисторов с целью определения оптимальных размеров каждого транзистора для оптимизации характеристик общей схемы.

Другим эффективным способом уменьшения задержек межсоединений являются метод введения буферов [4], а также метод оценки и задания размеров соединений. Известно

несколько подходов последнего метода, но все они оптимизируют размеры отдельного соединения, в результате чего емкость связи между соседними линиями пренебрегается. В [5] предложен алгоритм, в котором этот недостаток исправлен.

Более эффективным подходом считается объединенная оптимизация элементов и межсоединений. Такой метод представлен в работе [6], в котором целевая функция состоит в минимизации суммарной задержки.

Для каждого технологического процесса применяются три оптимизационных алгоритма с целью минимизации задержки межсоединения линии длиной 1 мм. Эти алгоритмы используют следующие подходы:

1. Задание размеров ведущего элемента (драйвера).
2. Оптимальное введение буферов и задание их размеров.
3. Оптимальное введение буферов, задание размеров элементов и соединений.

Задержки оптимизированных структур межсоединений по этим алгоритмам при разных технологических процессах представлены на рис.1в. Выбор вышеуказанных оптимизационных алгоритмов обусловлен их применением в программных системах для физического проектирования и логического синтеза. Сравнительные результаты рассматриваемых оптимизационных методов показывают, что влияние размеров буферов и соединений незначительно после правильного задания размеров драйвера, даже для технологий ниже 0,1 мкм. Судя по графику (рис. 1в), лучший результат показывает метод 3, который представляет собой совокупность нескольких алгоритмов оптимизации. Но даже при этом методе улучшение задержки межсоединения незначительно. Поэтому становится ясно, что нужны новые подходы для решения проблем с задержками межсоединений.

Предлагаемый алгоритм направлен, в частности, на минимизацию задержек критических путей схемы с минимальным увеличением потребляемой мощности по сравнению с другими методами.

Заданы схема с уже готовой топологией, технологическая библиотека элементов. Предполагается, что все входные сигналы поступают в нулевой момент времени и все выходные сигналы должны быть установлены через время t_c . Цель алгоритма состоит в минимизации t_c посредством реструктуризации и перераспределения логических элементов схемы. Блок-схема предлагаемого метода приведена на рис.2а. После временного анализа схема разделяется на отдельные группы элементов (суперэлементов) в соответствии с критическим путем. Для каждого суперэлемента создается множество решений перераспределения элементов таким образом, чтобы работа схемы при этом не ухудшалась. Во время создания множеств используется алгоритм размещения элементов, параллельно которому рассчитываются задержки и паразитные параметры межсоединений. В течение работы этого алгоритма производится начальное распределение элементов, которое совершенствуется в последующих этапах. На этом этапе никаких топологических изменений не происходит. Лучшее решение для размещения элементов и физического исполнения схемы получается в ходе решения оптимизационной задачи. После этого топология схемы меняется в соответствии с принятым решением. На всей протяженности оптимизационных этапов рассчитываются и применяются ограничения на перераспределения элементов и временных параметров. Алгоритм делает итерации до тех пор, пока поставленная цель будет достигнута или дальнейшее улучшение станет невозможным. Первым шагом алгоритма является временной анализ с целью выявления критических путей. Почти любая программа логического синтеза имеет такую возможность.

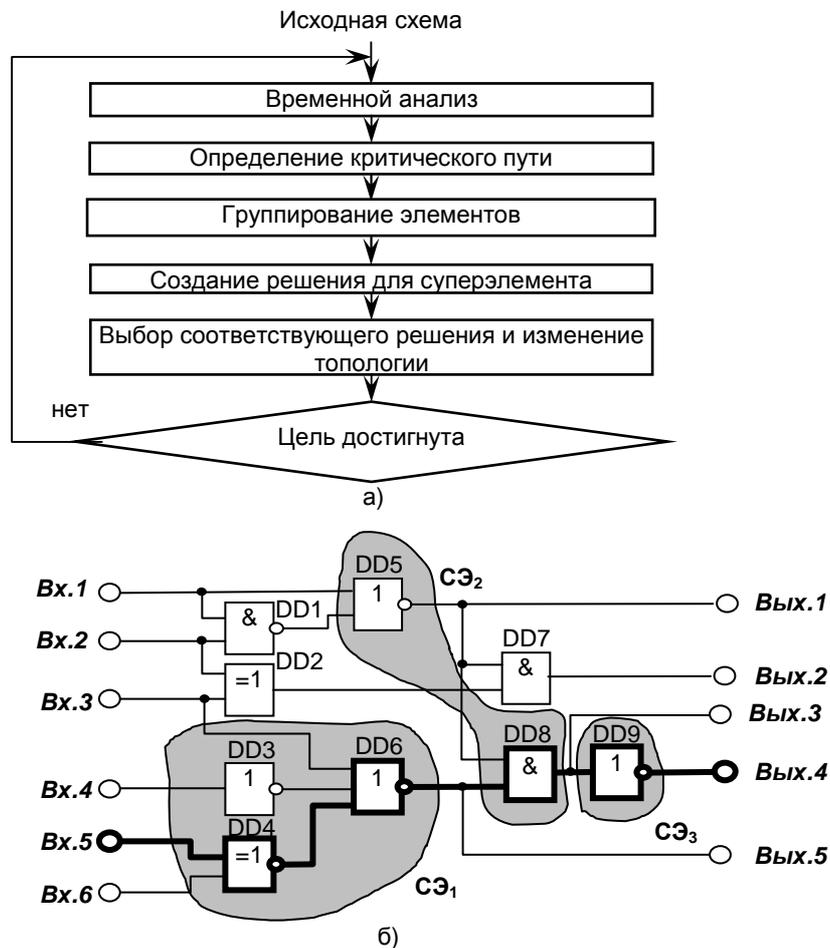


Рис.2. Блок-схема предлагаемого оптимизационного метода (а) и формирование суперэлементов (б)

Пример схемы приведен на рис. 2б. Обозначенный путь Вх5 – Вых4 является критическим. Затем схема разделяется на отдельные группы элементов – суперэлементов. Суперэлемент (СЭ) является целью для дальнейшей оптимизации. При разделении учитываются следующие допущения:

- критический элемент (КЭ) - элемент на критическом пути;
- СЭ - группа логически соединенных элементов по крайней мере с одним КЭ;
- элемент G_i является входным элементом L-уровня для G_j , если есть кратчайший путь от G_i до G_j , содержащий максимум L ветвей;
- корнем СЭ может быть только элемент, являющийся критическим и имеющий выходные ветви вне СЭ;
- среди всех выходов СЭ только один выходной порт является критическим;
- с каждого входа СЭ есть путь к критическому выходному порту.

Сначала определяются исходные СЭ, распределяемые каждому КЭ как корневой элемент. Это гарантирует, что КЭ не будет включен в другие СЭ. Затем расширяются СЭ, включая входные элементы L-уровня, если этот элемент не включен в другой СЭ. Если возникает вопрос

о присвоении данного элемента, то его получает более критический СЭ. После этого СЭ с одним выходом объединяются с другими СЭ, в результате чего размеры СЭ возрастают, не усложняя алгоритм. Поскольку критический элемент DD4 имеет только один выход, то СЭ, для которого этот элемент является корневым, сливается в СЭ с корневым элементом DD6 (рис.2). В результате образуется СЭ с двумя КЭ.

Следующим этапом алгоритма является генерирование решений для СЭ. Каждое решение содержит три параметра: R , C и τ , где C - входная емкость для входного порта, который находится на критическом пути; R - мощность корневого элемента; τ - задержка СЭ, которая включает как задержки логических элементов, так и межсоединений. Параметры R и C легко определяются из технологической библиотеки, а τ получается по ходу определения параметров СЭ соответствующими программными средствами, используя RC- или RLC- модели. Несмотря на то, что параметр площади (или потребляемой мощности) не включен в список, рассматривается соотношение выгоды и потерь площадь/задержка. Из генерированных решений исключаются все второстепенные решения. Решение $P_1(R_1, C_1, \tau_1)$ считается второстепенным по сравнению с решением $P_2(R_2, C_2, \tau_2)$, если $R_1 \geq R_2$, $C_1 \geq C_2$, $\tau_1 \geq \tau_2$. Для этого используется алгоритм, основанный на динамическом программировании. Производится перераспределение элементов и размещение с минимальным числом пересечений, как и в [7]. Нет необходимости рассчитывать параметры (R, C, τ) для каждого внешнего узла, т.к. R касается только критического выхода, а C - только критического входа. Кроме того, с целью учета соотношения выгоды и потерь площадь/задержка внесен параметр A , показывающий площадь для комбинаций, содержащих некритические узлы. В результате формируются три типа характеристик для динамического программирования: $\langle R, C, \tau \rangle$ - для корневого узла, $\langle C, \tau \rangle$ - для любого критического узла, $\langle A, \tau \rangle$ - для остальных узлов. В течение перераспределения СЭ задержка межсоединения разветвления некритического порта P может меняться. Если эта задержка станет слишком большой, данный путь может стать критическим. Чтобы предотвратить создание нового критического пути, применяются соответствующие ограничения. Выбор лучшего решения для каждого СЭ может привести к ухудшению временных параметров схемы из-за сложных зависимостей между СЭ. По этой причине лучшие решения для перераспределения и топологического исполнения всех СЭ выбираются одновременно. Для этого применяется обобщенное геометрическое программирование, которое представляет собой ряд нелинейных оптимизационных задач, имеющих целевые функции и ограничения в виде полиномов. Одним из требований этого метода является непрерывность переменных. Поэтому первым шагом необходимо превратить решения для СЭ в непрерывные, поскольку на этом этапе они дискретны. Для этого применяется интерполяция Лагранжа. Интерполированную функцию можно представить как

$$\tau = F(C, R). \quad (1)$$

Постановка оптимизационной задачи следующая:

минимизация t_c

$$a_j \geq a_i + d_{ij} \quad \forall \text{СЭ},$$

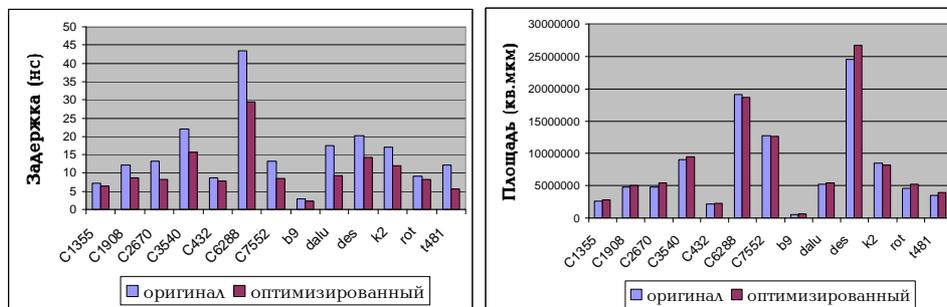
$$a_j \leq t_c,$$

$$a_j \geq 0,$$

$$|x_i - x_i'| \leq \Delta_x \quad \forall \text{СЭ},$$

$$|y_i - y_i'| \leq \Delta_y.$$

Здесь a_i, a_j – времена поступлений сигналов на соответствующие узлы; d_{ij} – задержка между этими узлами; x, y – позиционные координаты узла; Δ_x, Δ_y – ограничения перераспределения. Каждый СЭ имеет четыре переменные – x, y, R и C . Таким образом, число



переменных будет $4XN$, где N – число СЭ в схеме.

Рис. 3. Сравнительные диаграммы задержек и площадей до и после оптимизации

На последнем этапе по полученным результатам, используя соответствующее программное обеспечение, меняется топология схемы.

Для оценки эффективности разработанного алгоритма были проведены эксперименты на серии тестовых цифровых схем ISCAS 85. Схемы, использованные для оценки алгоритма, были реализованы с помощью цифровой библиотеки с минимальным размером затвора КМДП транзистора 130 нм. В состав цифровой библиотеки входили как простые логические вентили (двух-, трех- и четырехходовые И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ), так и двухтактные D-триггеры. Рабочая частота использованной библиотеки составляла 1 ГГц. В начале эксперимента были произведены распределение элементов схем и трассировка с использованием алгоритмов с временными параметрами. Для этого были использованы временные модели элементов библиотеки в формате TLF, ALF, LIB, поведенческие модели в формате Verilog и физические модели в формате LEF. Для посттопологического моделирования были использованы RLC-модели паразитных параметров. Затем определялись критические пути. Полученные результаты оптимизированы по предложенному алгоритму. Опыты проведены на системе Sun Ultra-Sparc с использованием соответствующих программ проектирования цифровых схем. Экспериментальные результаты показали, что при использовании предлагаемого алгоритма за счет потерь площади всего 5% (у аналогичных алгоритмов минимум 7...9%) наблюдается улучшение задержки схемы в 29% (у аналогичных алгоритмов максимум 15...18%) (рис.3). Этот

показатель почти в два раза превышает аналогичные результаты существующих алгоритмов. В дальнейшем этот алгоритм может быть интегрирован с другими алгоритмами оптимизации, поскольку, как было показано, при объединении отдельных методов выигрыш получается больше, чем сумма выигрышей от применения отдельных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Dudzinski R.** RTL Floorplanning Set to Drive Synthesis // EE Times. –1995. - № 27. –P. 52.
2. **Cong J., He L., Koh C. and Madden P. H.** Performance optimization of VLSI interconnect layout// Integration, the VLSI Journal. -1996. –V. 21. –P. 1-94.
3. **Elmore W. C.** The Transient Response of Damped Linear Networks // Journal of Applied Physics. – January, 1948.-Vol. 19. -P. 55 - 63.
4. **Ginneken L. P. P. P.** Buffer placement in distributed RC-tree networks for minimal Elmore delay // In Proc. IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems. -1990. –P. 865–868.
5. **Cong J., He L., Koh C. and Pan Z.** Global interconnect sizing and spacing with consideration of coupling capacitance // In Proc. Int. Conf. on Computer Aided Design. -1997. – P. 570-573.
6. **Cong J., Koh C. and Leung K.** Simultaneous buffer and wire sizing for performance and power optimization // In Proc. Int. Symp. on Low Power Electronics and Design. - Aug. 1996. – P. 271–276.
7. **Lou J., Salek A. H. and Pedram M.** An Exact Solution to Simultaneous Technology Mapping and Linear Placement Problem // In Proc. of International Conference on Computer Aided Design. - 1997. – P 671-675.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.01.2003.

Վ.Շ. ՄԵԼԻԿՅԱՆ, Դ.Դ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ
ԹՎԱՅԻՆ ՄԻՆԻՄԱԼԵՐԻ ՈՐՈՇԻՉ ՃԱՆԱՊԱՐՀՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ
ՀԱՊԱՂՈՒՄՆԵՐԻ ՆՎԱԶԱՐԿՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ

Դիտարկված են թվային ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ընթացքում ծագող միջմիացումների հետ կապված խնդիրները տարբեր տեխնոլոգիական գործընթացների դեպքում: Բերված է լավարկման տարբեր ալգորիթմերի համեմատական վերլուծությունը: Առաջարկված է թվային ինտեգրալ սխեմաների հապաղումների նվազարկման նոր ալգորիթմ՝ հիմնված տարբերի վերադասավորման և տեղաբաշխման վրա:

V. SH. MELIKYAN, D. D. HOVHANNISYAN
DIGITAL CIRCUIT MINIMIZATION ALGORITHM OF CRITICAL PATH DELAYS

The efficiency of existing algorithms for digital circuit optimization at different technologies are analyzed. To decrease the critical path delays, a method of post-topological optimization of digital circuits by means of restructuring and placement of logical circuits has been proposed.

С.Э. КОСЕМЯН

**МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГЛАУКОМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ИНФОРМАЦИОННОЙ МЕРЫ ПРИЗНАКА**

Предлагается метод диагностирования глаукомы с применением информационной меры признака. Статистические данные взяты из результатов проведенных тестов компьютерной периметрии.

Ключевые слова: глаукома, диагностика, информационная мера признака.

Введение. Диагностика и лечение глаукомы являются глобальной проблемой во всем мире. Глаукома – это заболевание, вызванное высоким внутриглазным давлением (ВГД), приводящее без лечения к необратимой гибели зрительного нерва и к потере зрения. Однако раннее выявление и лечение могут притормозить или даже остановить прогрессирование заболевания.

При глаукоме характерные изменения параметров зрительного поля происходят в верхнем полуполе зрения в условно принятых пяти зонах, которые выявляются соответственно с прогрессией глаукомы (начиная от первой до четвертой стадий) (рис.1).

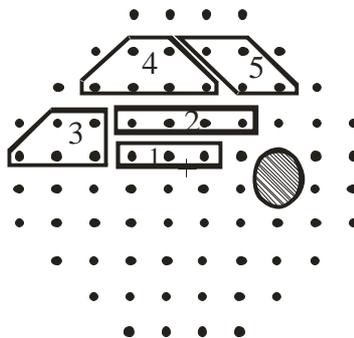


Рис. 1. Центральное поле зрения с обозначениями в верхнем полуполе зрения пяти зон глаукомы

Одним из наиболее информативных в офтальмологии методов диагностирования является автоматическая статическая периметрия [1]. В клинической практике чаще всего требуется точный анализ изменений светочувствительности, происходящих в центральной зоне поля зрения (в пределах 30° от точки фиксации). Все результаты статической периметрии выражаются в единицах светочувствительности ($дБ$) на основе единичного критерия - пороговой яркости тест-объекта ($асб$).

Для регистрации результатов периметрии разработано множество схем, некоторые из которых получили международное признание. Большое распространение получили схемы в виде пары округлых фигур с 10⁰-ми концентрическими окружностями, две первые на расстоянии 5...10 от центра и далее через каждые 10⁰.

Современные периметры типа “Humphrey” позволяют автоматически проводить статистическую оценку результатов, определяя глобальные индексы (среднее отклонение порога световой чувствительности (MD) суммарно *по всему полю зрения* данного пациента в сравнении с возрастной нормой, разброс ответов (стандартные отклонения) по определенному паттерну) и индексы надежности проведенного теста (потеря фиксации, отрицательные и положительные ответы пациента в течение проведенного теста). Врачи оценивают результаты периметрии по светочувствительности глаза *по всему полю зрения*, причем визуально, принимая численные значения светочувствительности глаза по всему полю просто как отклонение от нормы (дефект) вообще, а не конкретно для глаукомы или ее стадий.

Другим методом диагностирования глаукомы является метод счета дефектов поля зрения у глаукоматозных пациентов. Он основан на обработке данных, полученных в результате тестирования центрального поля зрения пациентов, которое разбивается на концентрические круговые поля, начиная с 5⁰-й эксцентричности (5...10⁰; 10...20⁰; 20...30⁰) [2] (рис. 2). На основе данного метода определяется количество дефектов поля зрения при глаукоме.

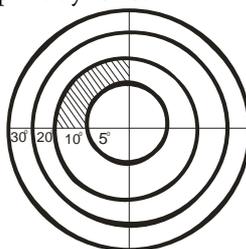


Рис. 2. Поле зрения пациента с концентрическими круговыми полями

В настоящее время пользуются методом, который основан на использовании статистических показателей поля зрения и значений точек светочувствительности (степени дефектов - относительных и абсолютных) глаза в каждом квадранте (верхнем назальном, верхнем височном, нижнем назальном, нижнем височном). Этот метод считается самым эффективным для диагностирования стадий глаукомы.

В последние годы стали применять анализ стадий глаукомы с использованием аппарата нечетких множеств. Он в основном используется в системном анализе заболеваний путем построения иерархической структуры заболеваний (или стадий заболевания), включая в эту структуру подозрение на данное заболевание [3].

Некоторые работы посвящаются обработке данных, полученных при периметрии, и расчету корреляционной связи между глобальными индексами и индексами надежности проведенного теста. Перечисленные методы малоэффективны для проведения диагностики стадий глаукомы.

Целью данной работы является разработка метода автоматической диагностики глаукомы с применением информационной меры признака. В качестве переменной, входящей в признак заболевания, принято среднее значение светочувствительности глаза в каждой зоне глаукомы. В данной работе имеем дело с количественным признаком, т.е. с признаком, выражающимся в численном виде. Количественные признаки разбиваются на диагностические интервалы, при этом простым признаком считается попадание или нет в определенный интервал значения признака [4].

Признаком заболевания (стадий заболевания) в данном методе является значение диагностического интервала ($M \pm 2\sigma$) в *дБ* в данной зоне (Д.И.), где M – среднее из средних светочувствительности глаза в *дБ*, $\pm 2\sigma$ – область, в которую попадает 95% численных значений наблюдений (σ – среднеквадратичное отклонение) [5].

Материалы и методы. По данным картотеки были выбраны 82 пациента (82 глаза) с патологией глаукомы без каких-либо других нарушений зрительной системы. Все пациенты прошли обследование офтальмоскопии и автоматической статической пороговой периметрии.

В качестве информационной меры признака [6] принято следующее выражение:

$$\alpha = \log \frac{P_{V_j}(X_i)}{P(X_i)},$$

где X_i – признак; V_j – стадии глаукомы; $P_{V_j}(X_i)$ – вероятность появления признака X_i при данной стадии; $P(X_i)$ – полная вероятность появления признака X_i в рассматриваемых стадиях глаукомы.

Если наличие признака X_i не изменяет вероятность V_j (стадии заболевания), то его информационная мера равна нулю, так как $P_{V_j}(X_i) = P(X_i)$ и $\alpha_{ij} = \log 1 = 0$. Если X_i увеличивает вероятность заболевания V_j ($P_{V_j}(X_i) > P(X_i)$, значит и $\alpha_{ij} > 0$), то его информационная мера положительна, и он является положительным симптомом. Наконец, если признак X_i уменьшает вероятность заболевания V_j ($P_{V_j}(X_i) < P(X_i)$, значит и $\alpha_{ij} < 0$), т.е. информационная мера этого признака отрицательна, то признак отсутствует. Следовательно, симптом как количественная величина есть информационная мера, которой обладает тот или другой физический признак по отношению к тому или другому заболеванию (стадиям заболевания).

Результаты и обсуждения. Для всех зон глаукомы была рассчитана информационная мера признака (α_{ij}) (i – признак; j – стадии глаукомы). Из всех α самыми значимыми (информативными) были α во второй и третьей зонах в интервале $[-15; -5]$ *дБ* для второй и третьей стадий глаукомы ($\alpha_{22}, \alpha_{23} = 0,24$; $\alpha_{32}, \alpha_{33} = 0,231$). Имелись также отрицательные, что означает отсутствие признака в данном интервале.

Имея в виду, что информативность второй зоны ($\alpha = 0,24$) в интервале $[-15; -5]$ *дБ* во второй и третьей стадиях глаукомы больше информативности в первой зоне ($\alpha = 0,2$), при построении диагностического алгоритма глаукомы для указанных стадий сразу начинаем со второй зоны, не учитывая первую. При диагностике пятая зона исключена, поскольку поражается меньше всех почти во всех стадиях заболевания.

В четвертой стадии все α получаются отрицательными, поскольку здесь все точки светочувствительности поля зрения глаза имеют абсолютные дефекты, и в

ответах пациентов с этой стадией глаукомы проявляется фактор случайности. С учетом этого в данном методе исключается диагностирование четвертой стадии глаукомы.

В таблице показаны диагностические интервалы зон для стадий глаукомы.

Таблица

Диагностические интервалы зон для стадий глаукомы

Стадии глаукомы	Зоны глаукомы			
	1	2	3	4
	диагностический интервал ($M \pm 2\sigma$), <i>дБ</i>			
1	[0,2;-6,00]	[-0,7;-6]	[-0,4;-7]	[0,15;-8]
2		[-2;-13]	[-4;-11]	[-4;-12]
3		[-6;-23]	[-8;-28]	[-7;-28,5]

Предложенный метод имеет следующие преимущества по сравнению с другими:

- в качестве признака для глаукомы вводится значение диагностического интервала ($M \pm 2\sigma$) в *дБ* в данной зоне глаукомы (Д.И.);
- дается количественная оценка признака.

Данный метод применялся также в исследовании разных заболеваний глаза с использованием электроретинографа, где в качестве признаков заболевания представлены амплитудные значения *a*, *b* и *c* волн электроретинограмм [7].

- Таким образом, как показали исследования, метод диагностирования глаукомы с применением информационной меры признака является эффективным и может быть использован при создании автоматизированной системы диагностики глазных заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Visual Field Testing with the Humphrey Field Analyzer / **Neil T.Choplin, Russell P. Edwards**. - England, 1999. – 152 p.
2. Method for quantifying visual field defects in glaucomatous patients / **Dr. Giancarlo Delvecchio**. - Italy, University of Modena, 2001. – P. 32.
3. **Gudrun Zahlmann, Matthias Scherf**. A neuro-fuzzy classifier for a knowledge-based glaucoma monitor / Institute of Medical Informatics, 1999.
4. Биологическая, медицинская кибернетика и бионика: Сб. науч. тр. / АН УкрССР, Ин-т кибернетики им. Глушкова; Под. ред. **Н.М. Амосова** и др. –Киев,1984.– 103 с.
5. Probability and Statistics for Engineering and the Sciences / Third Edition. - California, 1990. – 356 p.
6. **Быховский М.Л., Вишневецкий А.А.** Кибернетические системы в медицине. -М.: Наука, 1971. – 407 с.

7. **Մնացականյան Մ.Հ., Կոսեմյան Ս.Է.** Աչքի հիվանդությունների ախտորոշման ժամանակ ռետինազրի պարամետրերի սիմպտոմատիկության որոշումը // ՀՊՃՀ-ի տարեկան գիտաժողով. – 2001. - էջ 337-339:

ГИУА. Материал поступил в редакцию 22.11.2003.

Ս.Է.ԿՈՍԵՄՅԱՆ

**ՀԱՏԿԱՆԻՇԻ ՏԵՂԵԿԱՏՎԱՅԻՆ ՉԱՓԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՍԲ
ԳԼԱՈՒԿՈՄՍԱՅԻ ԱՆՏՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ**

Առաջարկվում է գլաուկոմայի աստիճանների ախտորոշումը՝ վերջինիս բնորոշ գոտիների հաշվառումով: Վիճակագրական տվյալները վերցվել են կոմպյուտերային տեսադաշտի տեստի արդյունքներից:

S.E. KOSEMYAN

**GLAUCOMA DIAGNOSTIC METHOD BY USING INFORMATION ESTIMATOR
OF SIGN**

A diagnostic method of glaucoma by using specific five zones of glaucoma is given. Information estimator of sign is used to define the most informatic sign of all. The statistic data were taken from computerized perimetry test results.

Գ.Կ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՀԵՏԵՎՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ
ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Մշակվել է ոչ գծային հետևող համակարգի ավտոմատացված պարամետրական սինթեզի եղանակ: Դիտարկվել է հաջորդական գրգռումով հաստատուն հոսանքի շարժիչի օգտագործման դեպքը: Կառուցվել է համակարգի Simulink մոդելը և մշակվել է լավարկման գործընթացի նախնական կետի ընտրության ալգորիթմ:

Առանցքային բառեր. հետևող համակարգ, մոդել, պարամետրական սինթեզ, լավարկում, տեղային նվազագույն:

Աշխատանքի նպատակը ոչ գծային հետևող համակարգի ավտոմատացված նախագծման եղանակի մշակումն է՝ Simulink 4 ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ: Դիտարկվում է ռելեական հետևող համակարգի պարամետրական սինթեզի խնդիրը, որում առկա են էական ոչ գծայնություններ, որոնց գծայնացումը կարող է սխալ արդյունքների հանգեցնել [1]: Այդ պատճառով կարևոր և արդիական խնդիր է այդպիսի համակարգերի նախագծման և ուսումնասիրության համար մշակել մեքենայական եղանակներ՝ թվային մեթոդների կիրառմամբ:

Դիտարկվող համակարգն անհրաժեշտ է մթնոլորտի գազային բաղադրիչների չափող սարքերը [2, 3] Արեգակին ավտոմատ ուղղելու համար: Հետևող համակարգը բաղկացած է հենահարթակից, դրա վրա ամրացված լուսաէլեկտրական տվիչից, նախնական ուժեղացուցիչից, կոմպարատորից և կատարողական մասից, որն իր հերթին բաղկացած է երկու շարժիչներից և երկու ռեդուկտորներից:

Լուսաէլեկտրական տվիչը ձևավորում է անհամաձայնության ազդանշանը, որն ուժեղացվում է նախնական ուժեղացուցչի միջոցով և տրվում կոմպարատորի մուտքին: Կոմպարատորն ունի անզգայնության գոտիով և հիստերեզիսով ռելեական բնութագիր և նախատեսված է շարժիչի էլեկտրասնուցումն ապահովելու համար: Շարժիչը ռեդուկտորի միջոցով պտույտ է հաղորդում հենահարթակին՝ համապատասխան առանցքի շուրջը և այդպիսով այն մշտապես ուղղված պահում դեպի Արեգակը:

Հետևող համակարգի մաթեմատիկական մոդելը բերված է (1)-ում: Հոդվածում դիտարկվում է հաջորդական գրգռումով հաստատուն հոսանքի շարժիչների կիրառման դեպքը, քանի որ ռելեական հետևող համակարգերում դրանց կիրառությունը դինամիկական հատկությունների և էներգետիկայի տեսակետից [1] առավելություններ ունի անկախ գրգռումով շարժիչների նկատմամբ:

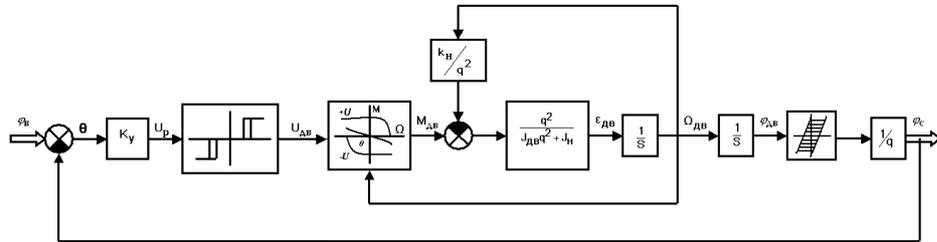
$$\left\{ \begin{array}{l} U_p = k_y \varphi, \\ U_{AB} = F_k(U_p), \\ U_{AB} = (R_a + R_c) i_{AB} + (L_a + L_c) \frac{di_{AB}}{dt} + K_c i_{AB} \varphi_{AB}, \\ M_{AB} = K_B i_{AB}^2, \\ M_{AB} = M_H + \frac{J_{AB} q^2 + J_H}{q^2} \frac{d\varphi_{AB}}{dt}, \\ M_H = \frac{k_H}{q^2} \varphi_{AB}, \\ \varphi_{AB} = \frac{d\varphi_{AB}}{dt}, \\ \varphi_c = F_p(\varphi_{AB}): \end{array} \right. \quad (1)$$

φ -ն անհամաձայնության անկյունն է, k_y -ն՝ գործակից, որը տվիչի փոխանցման գործակցի և նախնական ուժեղացուցչի ուժեղացման գործակցի արտադրյալն է, U_p -ը՝ նախնական ուժեղացուցչի ելքում ձևավորվող լարումը, U_{AB} -ը՝ կոմպարատորի ելքային լարումը, F_k -ն՝ կոմպարատորի ոչ գծային ֆունկցիան, R_a -ն, R_c -ն, L_a -ն, L_c -ն՝ համապատասխանաբար, շարժիչի խարսխի փաթույթի և հաջորդական փաթույթի ակտիվ դիմադրություններն ու ինդուկտիվությունները, i_{AB} -ը՝ շարժիչի հոսանքը, K_c -ը և K_B -ը՝ շարժիչի գործակիցները, φ_{AB} -ը՝ շարժիչի պտտման արագությունը, M_{AB} -ը՝ շարժիչի էլեկտրական մոմենտը, M_H -ը՝ բեռի մոմենտը շարժիչի լիսեռի վրա, J_{AB} -ը և J_H -ը՝ համապատասխանաբար, շարժիչի խարսխի և բեռնի իներցիայի մոմենտները, q -ն՝ ռեդուկտորի փոխանցման թիվը, k_H -ը՝ համեմատականության գործակից, φ_{AB} -ը՝ շարժիչի լիսեռի պտույտի անկյունը, F_p -ը՝ ռեդուկտորի ֆունկցիան, որը ոչ գծային է խաղացքի առկայության պատճառով, φ_c -ը՝ ելքային լիսեռի պտույտի անկյունը:

Նկ. 1-ում ցույց է տրված համակարգի կառուցվածքային սխեման. շարժիչն այստեղ պայմանականորեն ներկայացված է իր մեխանիկական բնութագրի միջոցով:

Պարամետրական սինթեզի եղանակի մշակումն իրականացվել է Simulink 4 ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ, որը, որպես ընդլայնման փաթեթ, մտնում է Matlab 6 համակարգի կազմի մեջ [4, 5]: Ըստ նկ. 1-ում բերված կառուցվածքային սխեմայի՝ մշակվել է հետևող համակարգի մեկ կապուղու Simulink մոդելը: Մինթեզի խնդիրը հետևյալն է. գտնել նախնական ուժեղացուցչի ուժեղացման գործակցի, ռելեական օղակի անգգայունության տիրույթի լայնության, բեռի մոմենտի և ռեդուկտորի փոխանցման թվի այնպիսի արժեքներ, որոնց դեպքում կրավարարվեն կայունության և առաջադրված ճշտության ու արագագործության պայմանները (բեռի մոմենտը

կարելի է արհեստականորեն մեծացնել արգելակային սարքերի միջոցով): Ընդ որում, ռելեական հետևող համակարգերում առաջնահերթ խնդիր է ինքնատատանումների հայտնաբերումը:



Նկ. 1. Ռելեական հետևող համակարգի կառուցվածքային սխեման

Նախագծման համար օգտագործվել է NCD Outport կոչվող բլոկը, որը մտնում է Simulink փաթեթի Nonlinear Control Design բլոկների գրադարանի մեջ [5]: NCD Outport բլոկը թույլ է տալիս գտնել համակարգի պարամետրերի այնպիսի արժեքներ, որոնց դեպքում անցողիկ գործընթացի կորն ունի նախագծողի կողմից տրված ցանկալի տեսքը: Ցանկալի անցողիկ գործընթացը տրվում է սահմանային զծերի (միջանցքի) միջոցով, որոնցից չպետք է դուրս գա անցողիկ գործընթացի կորը: Փնտրվող պարամետրերի լավագույն արժեքների որոնումը բերված է լավարկման խնդրի [6], որն ունի հետևյալ տեսքը.

$$\min_{\bar{x}, \gamma} \mathcal{Y}, \quad (2)$$

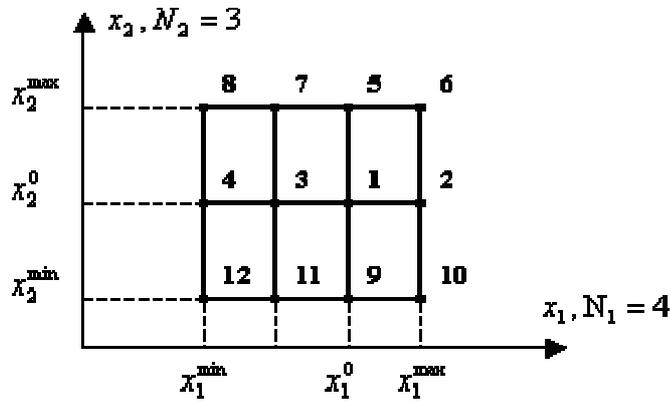
$$\begin{cases} \bar{g}(\bar{x}) - \bar{w} \gamma \leq 0, \\ \bar{x}^{\min} \leq \bar{x} \leq \bar{x}^{\max}, \end{cases} \quad (3)$$

որտեղ \mathcal{Y} -ն սկալյար մեծություն է, որը բնորոշում է ցանկալի բազմությունից համակարգի շարժման շեղման չափը, \bar{x} -ը՝ փնտրվող պարամետրերի վեկտորը, \bar{x}^{\min} -ը և \bar{x}^{\max} -ը, համապատասխանաբար, դրանց նվազագույն և առավելագույն արժեքների վեկտորները, $\bar{g}(\bar{x})$ -ը՝ վեկտոր, որը ձևավորվում է այնպիսի մեծություններից, որոնք բնութագրում են մասնակի սահմանափակումների խախտման չափերը, \bar{w} -ը՝ նշված մեծությունների կշիռների վեկտորը:

Սակայն NCD Outport բլոկը թույլ է տալիս գտնել միայն տեղային նվազագույնը [7], ինչը լուրջ խոչընդոտ է նախագծման համար: Լավարկման գործընթացը կարող է ավարտվել՝ նախքան լավագույն արժեքները գտնելը, և գործողության վերջում անցողիկ գործընթացի կորը մասամբ կամ ամբողջությամբ կարող է դուրս ընկած լինել տրված սահմաններից կամ ունենալ ինքնատատանումներ: Այդ դեպքում անհրաժեշտ է կրկնել գործողությունը՝ փնտրվող պարամետրերի համար ընտրելով այլ նախնական արժեքներ:

Մշակվել է նախնական արժեքների ընտրության ավտոմատացման հետևյալ եղանակը. փնտրվող պարամետրերի տարածության մեջ կառուցվում է ցանց, որի սահմանները կազմում են այդ պարամետրերի թույլատրելի արժեքների տիրույթը: Ցանցի հանգույցներից յուրաքանչյուրին համապատասխանության մեջ է դրվում

լավարկման մեկ գործողություն: Նկ. 2-ում ցույց է տրված այդպիսի ցանցի օրինակ. դիտարկված է երկու պարամետրերի դեպքը, որպեսզի հնարավոր լինի ցանցը պատկերել հարթության վրա: Ցանցի հանգույցներն ինդեքսավորվում են ըստ փորձերի կատարման հաջորդականության:



Նկ. 2. Թույլատրելի տիրույթում ցանցի կառուցման օրինակ

n -չափանի տարածության մեջ (փնտրվող պարամետրերի թիվը հավասար է n -ի) ցանցի կառուցումը և հանգույցների ինդեքսավորումը կատարվում է հետևյալ կերպ:

1. Նախագծողի կողմից փնտրվող պարամետրերից յուրաքանչյուրի համար տրվում են նրա x_i^{\min} նվազագույն և x_i^{\max} առավելագույն արժեքները, x_i^* նախնական գնահատականը և N_i փորձարկվող արժեքների քանակը: Պարամետրերը պետք է դասավորված լինեն ըստ համակարգի վարքի վրա դրանց ունեցած ազդեցության չափի նվազման:

2. Պարամետրերից յուրաքանչյուրի համար հաշվվում է h_i քայլի մեծությունը.

$$h_i = \frac{x_i^{\max} - x_i^{\min}}{N_i - 1}, \quad (4)$$

որից հետո կրկին ճշտվում է նախնական գնահատականը, որը պետք է համընկնի հանգուցային կետերից մեկի համապատասխան կոորդինատի հետ: Վերցվում է ամենամոտ կետը, այսինքն՝

$$x_i^0 = x_i^{\min} + l \cdot h_i, \quad l = 0, 1, 2, \dots, N_i - 1, \quad (5)$$

որտեղ l -ը բավարարում է հետևյալ պայմանը.

$$\min_l \left\{ \left| x_i^* - (x_i^{\min} + l \cdot h_i) \right| \right\}: \quad (6)$$

3. Պարամետրերից յուրաքանչյուրի համար կառուցվում է նրա հանգուցային արժեքների վեկտորը՝

$$\bar{x}_i = [x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{N_i}]: \quad (7)$$

Հանգուցային արժեքների հաջորդականությունն ընտրվում է այնպես, որպեսզի աստիճանաբար հեռանանք նախնական արժեքից՝ տվյալ պարամետրին

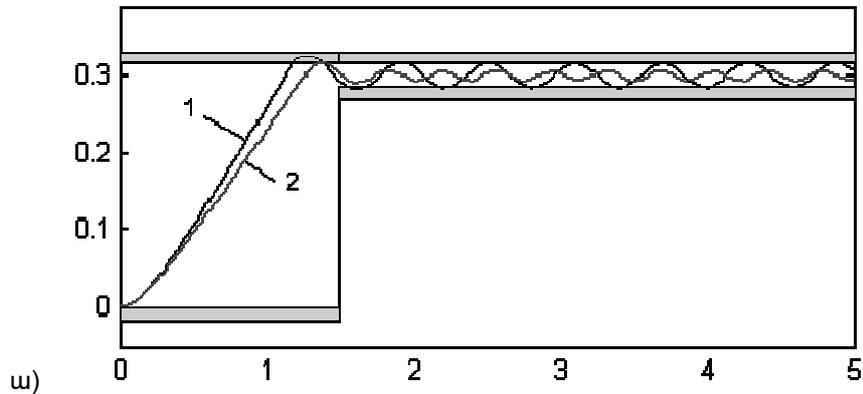
տալով մերթ դրական, մերթ բացասական աճեր՝ h_i քայլով: Եթե հերթական քայլից հետո հասնում ենք ստորին կամ վերին սահմանին, ապա այնուհետև աճերը տրվում են միայն մի ուղղությամբ՝ մինչև մյուս սահմանին հասնելը: Այսպես, նկ. 2-ում ներկայացված դեպքի համար հանգուցային արժեքների վեկտորները կունենան հետևյալ տեսքը.

$$\bar{x}_1^T = \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_1^0 + h_1 \\ x_1^0 - h_1 \\ x_1^0 - 2h_1 \end{bmatrix}, \quad \bar{x}_2^T = \begin{bmatrix} x_2^0 \\ x_2^0 + h_2 \\ x_2^0 - h_2 \end{bmatrix} : \quad (8)$$

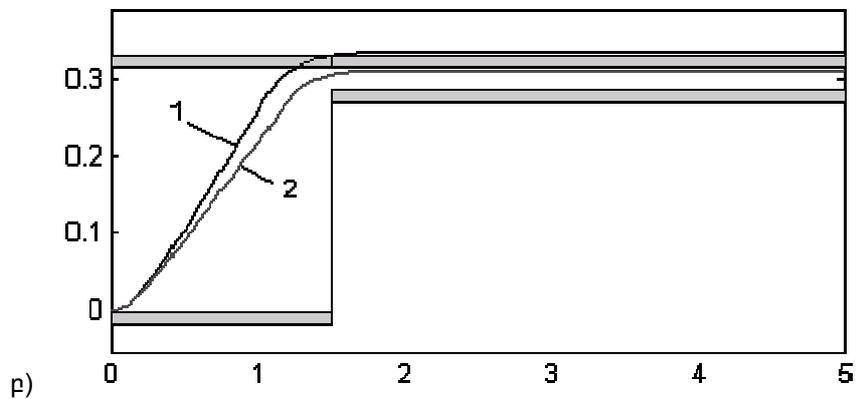
4. Փնտրվող պարամետրերի հանգուցային արժեքները հաշվելուց հետո կառուցվում է աղյուսակ, որի ամեն մի տողում ներկայացվում են ցանցի հերթական ինդեքսն ունեցող հանգույցի կոորդինատները (աղ.):

<i>Աղյուսակ</i>			
Փորձի համարը	\mathbf{X}_1	\mathbf{X}_2	$\cdots \mathbf{X}_n$
1	x_1^1	x_2^1	$\cdots x_n^1$
2	x_1^2	x_2^1	$\cdots x_n^1$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
N_1	$x_1^{N_1}$	x_2^1	$\cdots x_n^1$
$N_1 + 1$	x_1^1	x_2^2	$\cdots x_n^1$
$N_1 + 2$	x_1^2	x_2^2	$\cdots x_n^1$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	x_1^1	$x_2^{N_2}$	$\cdots x_n^{N_n}$
\vdots	x_1^2	$x_2^{N_2}$	$\cdots x_n^{N_n}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$N_1 \cdot N_2 \cdots N_n$	$x_1^{N_1}$	$x_2^{N_2}$	$\cdots x_n^{N_n}$

Ըստ նկարագրված ալգորիթմի՝ Matlab 6 միջավայրի համար ծրագրավորման M-լեզվով մշակվել է ֆունկցիա, որը որպես արգումենտ ստանում է գործողության ինդեքսը և վերադարձնում ցանցի համապատասխան հանգուցային կետի կոորդինատները: Նախագծողն ինքն է որոշում, թե երբ դադարեցնի փորձարկումները՝ ելնելով անցողիկ գործընթացի կորի տեսքից, որը երևում է NCD Outport բլոկի պատուհանի վրա:



ա)



բ)

Նկ. 3. Անցողիկ գործընթացների կորերը գործողության սկզբում (1) և վերջում (2)՝ փնտրվող պարամետրերի տարբեր նախնական արժեքների համար

Նկ. 3-ում ցույց են տրված երկու այդպիսի գործողությունների արդյունքները: Բերված օրինակում մոդելի մեջ օգտագործվել են СЛ-523 տիպի շարժիչի տվյալները: Պահանջում ենք, որպեսզի համակարգի անցողիկ գործընթացը լինի միալար, առանց գերկարգավորումի. ընդ որում, կառավարման ժամանակը պետք է լինի 1,5 վ-ից ոչ ավելի, իսկ ստատիկ սխալը չպետք է գերազանցի հաստատված արժեքի 5%-ը: Պահանջվող արդյունքները ստացվել են չորս հանգուցային կետեր փորձելուց հետո: Նկ. 3-ում ներկայացված է առաջին հանգուցային կետում կատարված լավարկման գործընթացը, որի արդյունքում ստացված կորը թեպետ ընկած է միջանցքի ներսում, սակայն առկա են ինքնաստատանումներ: Նկ. 3 բ-ում ներկայացված է վերջնական, չորրորդ գործողությունը, որը հաջող է ավարտվել: Փնտրվող պարամետրերի համար ստացվել են հետևյալ արժեքները. նախնական ուժեղացուցչի ուժեղացման գործակիցը՝ 5, ռելեական օղակի անգգայնության տիրույթի լայնությունը՝ 1,6 Վ, բեռի մոմենտը շարժիչի լիսեռի վրա՝ 0,032 կգմ, ռեդուկտորի փոխանցման թիվը՝ 1000:

ՉԴՄԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Рабинович Л. В., Петров Б. И. и др.** Проектирование следящих систем.– М.: Машиностроение, 1969. — 499 с.
2. **Кароль И. Л., Розанов В. В., Тимофеев Ю. М.** Газовые примеси в атмосфере. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 192 с.
3. **Вечкасов И. А., Кручинин Н. А., Поляков А. И., Резинкин В. Ф.** Приборы и методы анализа в ближней инфракрасной области. – М.: Химия, 1977.– 280 с.
4. **Мартынов Н. Н.** Введение в Matlab 6. – М.: Кудиц-образ, 2002. – 348 с.
5. **Дьяконов В. П.** Simulink 4. – Санкт-Петербург: Питер, 2002. – 518 с.
6. **Веремей Е. И., Погожев С. В.** Пособие "Nonlinear Control Design Blockset". <http://www.matlab.ru/nonlinecondes/book1/preface.asp>
7. Documentation on Nonlinear Control Design Blockset, Optimization. <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/ncd/trouble3.shtml>

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 15.10.2003:

Г. К. САРКИСЯН

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

Разработан метод автоматизированного параметрического синтеза нелинейной следящей системы. Рассмотрен случай использования двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Создана модель Simulink и разработан алгоритм выбора начальной точки оптимизационного процесса.

G. K. SARGSYAN

DEVELOPMENT OF COMPUTER-AIDED DESIGN METHOD IN NONLINEAR SERVOMECHANISM

The method of computer-aided parametric synthesis of the nonlinear servomechanism is developed. The case of using series excitation dc motor is considered. The Simulink model of the system is worked out and an algorithm for choosing the initial point of the optimization is developed.

С.А. ЭКСУЗЯН

УСЛОВИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ КОРРЕКТНОГО РАСПИСАНИЯ ДЛЯ
ДВУХСТАНОЧНОЙ СИСТЕМЫ РАСКРОЯ ЛЕНТ

Доказана теорема существования корректного расписания раскроя, удовлетворяющего всем строго уменьшенным модифицированным предельным срокам для одномерного раскроя лент в двухстаночной системе.

Ключевые слова: раскрой, многостаночная система, корректное расписание, строго уменьшенные предельные сроки.

Введение. Задачи составления оптимальных расписаний для много-станочных систем одномерного раскроя лент эквивалентны задачам расписаний для многопроцессорных систем. Эти задачи возникают во многих отраслях и представляют большой теоретический и прикладной интерес [1-5].

1. Основные определения и обозначения. Пусть даны: W (множест-во подлежащих раскрою заказов из заготовок, имеющих одинаковые длины; два идентичных станка для одномерного раскроя заказов из W ; отношение частичного порядка \prec на множестве W ; предельный срок d_i для раскроя заказа $J_i \in W$ ($i=1,2,\dots,n$); время раскроя каждого заказа, включая и время установки заготовки на станке, из W равно 1 (все заказы имеют одинаковое время раскроя).

При двухпроцессорной системе даны: W -множество подлежащих выполнению работ; два идентичных процессора, предназначенных для выполнения работ из W ; отношение частичного порядка \prec на множестве W ; предельный срок d_i для выполнения работы $J_i \in W$ ($i=1,2,\dots,n$); время выполнения каждой работы из W равно 1.

Рассматриваемое отношение частичного порядка \prec на W интер-претируется следующим образом: если $J \prec J'$, то заказ J' не может раскраиваться, пока не раскроен заказ J .

Заказ $J_i \in W$ называется предком заказа J_r (а J_r называется потомком J_i), если существует последовательность заказов $J_{i_1}, J_{i_2}, \dots, J_{i_k} \in W$ такая, что $J_{i_1} = J_i$, $J_{i_k} = J_r$ и $J_{i_1} \prec J_{i_2} \prec \dots \prec J_{i_k}$.

Для множества заказов W расписанием называется любая цело-численная функция $f: W \rightarrow \{0, +\infty\}$, где $f(J)$ интерпретируется как начало выполнения раскроя заказа J .

Заказ $J \in W$ в момент времени t назовем свободным при расписании f , если для всех предков J' заказа J выполняется условие $f(J') < t$.

Расписание f назовем корректным, если оно удовлетворяет следующим условиям:

- 1) для $\forall t \in [0, +\infty)$ имеется $|\{J \in W / f(J) = t\}| \leq 2$;

- 2) для $\forall J < J'$ имеется $f(J)+1 \leq f(J')$;
- 3) если $|\{J \in W/f(J)=t\}| = 0$, то $|\{J \in W/f(J)=t'\}| = 0$ для всех $t' > t$;
- 4) если для заказов $J, J' \in W$ существует $t \in [0, +\infty)$ такое, что $f(J) = t$, $|\{J^* \in W/f(J^*)=t\}| = 1$ и $f(J') > t$, то J' является потомком J .

Это значит, расписание будет корректным, если в любой момент времени могут раскраиваться не более чем два заказа, соблюдается от-ношение частичного порядка и раскраивающие станки работают по принципу “немедленного подключения”, сущность которого заключается в том, что если в данный момент времени имеется свободный станок и свободные заказы, то немедленно вставляют заготовку на один из свободных станков и начинают раскрой одного из свободных заказов.

Корректное расписание удовлетворяет всем предельным срокам, если каждый заказ раскраивается до своего предельного срока, т.е. $f(J_i)+1 \leq d_i$ для всех $i=1,2,\dots,n$.

В данной работе исследуется вопрос существования корректного расписания, удовлетворяющего всем строго уменьшенным модифициро-ванным предельным срокам.

Обозначим через $[x]$ наименьшее целое число, превосходящее x .

Множество заказов W с отношением частичного порядка $<$ удобно представить в виде ориентированного графа, вершины которого - элементы множества W , а из вершины J_i имеется дуга к вершине J_r тогда и только тогда, когда $J_i < J_r$. Полученный ациклический граф называется графом зависимости заказов.

2. Основная теорема. В работе [4] предложен алгоритм построения корректного расписания для двухпроцессорной системы, удовлетворяющего всем предельным срокам (если такое расписание существует). Для построения такого алгоритма рассматривается некоторый алгоритм модификации всех предельных сроков и доказывается, что корректное расписание удовлетворяет всем предельным срокам тогда и только тогда, если оно удовлетворяет всем модифицированным предельным срокам. Отсюда следует, что всегда можно ограничиться рассмотрением только модифицированных предельных сроков.

Алгоритм получения модифицированных предельных сроков заключается в следующем:

- M1. Вычислить транзитивное замыкание графа зависимости работ, т. е. каждую вершину соединить дугой со всеми ее потомками.
- M2. Для всех работ, не имеющих потомков, в качестве модифицированных предельных сроков брать их предельные сроки.
- M3. Выбрать такую работу $J_i \in W$, все потомки которой уже имеют модифицированные предельные сроки, а сама работа J_i не имеет.
- M4. Для каждого модифицированного предельного срока d' , приписанного сыну вершины J_i , определить $g(i, d')$ - число сыновей вершины J_i , модифицированные предельные сроки которых не превосходят числа d' , и положить $d'_i \leftarrow \min\{d_i, d' - \lfloor g(i, d')/2 \rfloor\}$ (d'_i - модифицированный предельный срок работы J_i).
- M5. Если не все работы имеют модифицированные предельные сроки, то перейти к

МЗ.

Для построения корректного расписания, удовлетворяющего всем модифицированным предельным срокам, Гэри и Джонсон предлагают следующий алгоритм [4].

Алгоритм GJ. Построить приоритетный список $L=(J_1, J_2, \dots, J_n)$ всех работ таким образом, чтобы работы были упорядочены по неубыванию модифицированных предельных сроков, т. е. $d'_i \leq d'_{i+1}$ для всех $1 \leq i \leq n-1$. Как только один из процессоров освобождается, просмотреть список L слева направо и выбрать первую свободную работу.

Будем предполагать, что граф зависимости работ (заказов) имеет единственную вершину, куда не входит ни одна дуга. Работу (заказ) из W , которая соответствует этой вершине, назовем стартовой работой (заказом). Такое предположение не является существенным ограничением, поскольку если граф зависимости имеет не одну, а несколько стартовых работ (заказов) $J_{i_1}, J_{i_2}, \dots, J_{i_k}$ ($k > 1$), то к данному графу можно добавить фиктивную стартовую работу (заказ) J (и соединить ее с вершинами $J_{i_1}, J_{i_2}, \dots, J_{i_k}$).

Пусть d'_1, d'_2, \dots, d'_n - произвольные модифицированные предельные сроки для работ (заказов) J_1, J_2, \dots, J_n соответственно и J_{i_1} - стартовая работа (заказ). В [1] доказана следующая теорема.

Теорема 1. Для существования корректного расписания, удовлетворяющего всем модифицированным предельным срокам, необходимо и достаточно, чтобы $d'_{i_1} \geq 1$.

В теореме 1 доказано, что корректное расписание, порожденное алгоритмом GJ при $d'_{i_1} \geq 1$, удовлетворяет всем модифицированным предельным срокам.

Обозначим $d_i^* = d_i' - 1$ ($i=1, 2, \dots, n$). $d_1^*, d_2^*, \dots, d_n^*$ назовем уменьшенные модифицированные предельные сроки.

Для двухстаночной системы докажем лемму.

Лемма. Если для стартового заказа J_{i_1} справедливо условие $d'_{i_1} > 1$, то существует корректное расписание, удовлетворяющее уменьшенным модифицированным предельным срокам $d_1^*, d_2^*, \dots, d_n^*$.

Доказательство. Так как $d'_{i_1} > 1$, то, согласно теореме 1, существует корректное расписание, удовлетворяющее всем модифицированным предельным срокам d'_1, d'_2, \dots, d'_n . Пусть f - корректное расписание, полученное алгоритмом GJ. По теореме 1 расписание f удовлетворяет всем модифицированным предельным срокам. Докажем, что корректное расписание f удовлетворяет всем предельным срокам $d_1^*, d_2^*, \dots, d_n^*$.

Очевидно, что $d_1^*, d_2^*, \dots, d_n^*$ являются модифицированными предельными сроками. Это вытекает из алгоритма получения модифицированных предельных сроков, где в качестве входных предельных сроков выбираем начальные предельные сроки, уменьшая каждую на 1.

Пусть f удовлетворяет не всем уменьшенным модифицированным предельным срокам d_i^* ($i=1, 2, \dots, n$). Докажем лемму от противного. Тогда существует

заказ J_i , для которого $f(J_i)+1 > d_i^*$. Так как f удовлетворяет всем модифицированным предельным срокам d'_1, d'_2, \dots, d'_n , то $f(J_i)+1 \leq d'_i$. Из последних двух неравенств получаем $f(J_i)+1 = d'_i$, следовательно, $f(J_i) = d'_i - 1 = d_i^*$. Пусть J_i -первый заказ по расписанию f , для которого выполняется условие $f(J_i)+1 > d_i^*$. Очевидно, что $i \neq i_1$, т. е. J_i - не стартовый заказ. При $i = i_1$ имеем $f(J_{i_1})+1 = 0+1 > d_{i_1}^*$, $d_{i_1}^* < 1$, $2 > d_{i_1}^* + 1 = d'_{i_1}$, $d'_{i_1} \leq 1$, которое противоречит условию $d'_{i_1} > 1$.

Докажем, что для любого t ($0 \leq t < d_i^*$) существует заказ J_r , для которого $f(J_r) = t$ и $d_r^* \leq d_i^*$. Так как $f(J_i) = d_i^*$, то $0 \leq t < f(J_i)$.

Если в момент времени t раскраивается в точности один заказ J_r , то по принципу работы алгоритма GJ следует, что все заказы J_k , для которых $f(J_k) > t$, являются потомками заказа J_r . Поскольку $f(J_i) > t$, то J_i тоже является потомком для J_r , и, следовательно, $d_r^* < d_i^*$.

Если же в момент времени t раскраиваются в точности два заказа - J_k, J_m и d_k^*, d_m^* превосходят d_i^* , то эти заказы не являются потомками для J_i . Тогда по принципу работы алгоритма GJ следует, что $f(J_i) < f(J_k) = f(J_m) = t$, т.е. $f(J_i) < t$. Это противоречит условию $0 \leq t < f(J_i)$.

Таким образом, доказано, что для произвольного t ($0 < t < d_i^*$) существует заказ J_r , для которого $f(J_r) = t$ и $d_r^* < d_i^*$.

Рассмотрим следующие взаимоисключающие случаи:

а) для произвольного t ($0 < t < d_i^*$) в момент времени t раскраиваются в точности два заказа, уменьшенные модифицированные предельные сроки которых не превосходят d_i^* . В этом случае очевидно, что число заказов, которые раскраиваются в интервале времени $(0, d_i^*)$, равно $2d_i^* - 1$, т. е. $|\{J \in W / 0 < f(J) < d_i^*\}| = 2f(J_i) - 1$.

Поскольку все эти заказы являются потомками стартового заказа J_{i_1} , то из алгоритма получения модифицированных предельных сроков (шаг М4) следует, что $d_{i_1}^* \leq d_i^* - \lfloor (2d_i^* - 1) / 2 \rfloor = d_i^* - d_i^* = 0$. Из $d_{i_1}^* \leq 0$ следует, что $d'_{i_1} - 1 \leq 0$, следовательно, $d'_{i_1} \leq 1$, что противоречит условию теоремы;

б) этот случай, в свою очередь, состоит из следующих подслучаев:

б1) существует t ($0 < t < d_i^*$) такое, что в момент времени t раскраивается в точности один заказ;

б2) существует t ($0 < t < d_i^*$) такое, что в момент времени t раскраиваются в точности два заказа и у одного из них уменьшенный модифицированный предельный срок больше, чем d_i^* .

Так как $f(J_i) = d_i^*$, то $0 < t < f(J_i)$. Пусть t - максимальное время, для которого выполняется одно из условий б1 или б2, а J_k - заказ, который раскраивается в момент времени t и $d_k^* < d_i^*$. Из условия максимальности t непосредственно следует, что для произвольного t' ($t < t' < f(J_i)$) в момент времени t' раскроются в точности два заказа и их уменьшенные модифицированные предельные сроки не превосходят d_i^* . Докажем, что все эти заказы являются потомками заказа J_k . Предположим, что существует $J_r \in W$ такое, что $t < f(J_r) < f(J_i)$ и J_r не является потомком заказа J_k . В качестве J_r возьмем первый заказ из интервала $(t, f(J_i))$, который удовлетворяет данному условию.

Если в момент времени t раскраивается один заказ J_k , то получится противоречие с принципом немедленного подключения. Если же в момент времени t , кроме J_k , раскраивается и заказ J_m , то $d_m^* > d_i^*$, согласно принципу выбора t . С другой стороны, поскольку $d_r^* \leq d_i^*$, то получается противоречие с принципом работы алгоритма GJ (в момент времени t заказ J_r был свободным, $d_r^* < d_m^*$, но выбрался заказ J_m). Таким образом, доказано, что если $t < f(J_r) < f(J_i)$, то J_r является потомком для J_k . Поскольку число заказов, которые раскраиваются в интервале $(t, f(J_i))$, равно $2(f(J_i) - t) - 1$, то, согласно шагу M4, имеем $d_k^* \leq d_i^* - \lfloor (2(d_i^* - t) - 1) / 2 \rfloor = d_i^* - d_i^* + t = t = f(J_k)$.

Следовательно, заказ J_k не удовлетворяет своему уменьшенному модифицированному предельному сроку d_k^* и по расписанию f встречается раньше, чем заказ J_i . Это противоречит тому, что по расписанию f заказ J_i является первым, который не удовлетворяет уменьшенному модифицированному предельному сроку. Следовательно, расписание f удовлетворяет всем уменьшенным модифицированным предельным срокам $d_1^*, d_2^*, \dots, d_n^*$. Лемма доказана.

Предельные сроки $d'_1 - d'_{i_1} + 1, d'_2 - d'_{i_1} + 1, \dots, d'_n - d'_{i_1} + 1$ назовем строго уменьшенными модифицированными предельными сроками.

Теорема 2. Если $d'_{i_1} > 1$, то существует корректное расписание, которое удовлетворяет всем строго уменьшенным модифицированным предельным срокам $d'_1 - d'_{i_1} + 1, d'_2 - d'_{i_1} + 1, \dots, d'_n - d'_{i_1} + 1$.

Доказательство. Доказательство теоремы непосредственно вытекает из леммы. Необходимо $d'_{i_1} - 1$ раз применить лемму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрапетян Л.Р., Эксузян С.А. Необходимое и достаточное условие существования корректного расписания для двухпроцессорной системы // Прикладная математика. – Ереван. – Вып. 3. – 1984. – С. 25-31.
2. Burkard R.E., Graz and Hangzhau Y. He. A Note on MULTIFIT Scheduling for Uniform Machines // Computing 61. – 1998. – P. 277-283.
3. Burkard R.E., Graz, Hangzhau Y. He and Kellerer H., Graz. A Linear Compound Algorithm for Uniform Machine Scheduling // Computing 61. – 1998. – С. 1-9.
4. Garey M.R., Johnson D.S. Scheduling tasks with nonuniform deadlines on two processors // Journal of the ACM. – 1976. – N 3. – P. 461-467.
5. He Y. and Zhang G., Hangzhau. Semi On-Line Scheduling on Two Identical Machines. // Computing 62.- 1999.- P. 179-198.

Ванадзорский пед. инст-т. Материал поступил в редакцию 02.02.2004.

Մ.Հ. ԷՔՍՈՒԶՅԱՆ

ԺԱՊԱՎԵՆՆԵՐԻ ՁԵՎՄԱՆ ԵՐԿՈՒ ՀԱՍՏՈՑԻՑ ԿԱԶՄՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՄԱՐ ԿՈՌԵԿՏ ԴԱՍԱՑՈՒՑԱԿԻ ԳՈՑՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆ

Ապացուցված է ժապավենների միաչափ ձևման երկու հաստոցից կազմված համակարգի համար բոլոր խիստ փոքրացված ձևափոխված սահմանային ժամանակներին բավարարող ձևման կոռեկտ դասացուցակի գոյության վերաբերյալ թեորեմ:

S.H. EKSUZYAN

CORRECT SCHEDULING EXISTENCE CONDITION OF THE TWO-MACHINE SYSTEM FOR BAND CUTTING OUT

The theorem of correct scheduling existence of band cutting out satisfying all the conditions of strictly diminished modified limited periods for one-dimensional band cutting out in two-machine system is proved.

В.А. НАГАПЕТЯН, А.А. АХУМЯН

КВАДРАТИЧНАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ В ПРИЕМНИКАХ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Предлагается схема двойного балансного смесителя с синфазным входным сигналом и двойным квадратурным гетеродином для применения в системах с I/Q приемниками прямого преобразования с несколькими несущими. Исследовано влияние нелинейности второго порядка на среднюю ошибку приема цифрового сигнала. Разработана модель системы, показывающая улучшение качества приема при применении предлагаемой схемы.

Ключевые слова: прямое преобразование, I/Q-демодулятор, постоянная составляющая, балансный смеситель, нелинейность второго порядка.

Введение. Приемники прямого преобразования (ППП), в которых принимаемый сигнал преобразуется непосредственно на нулевую промежуточную частоту, в последнее время находят широкое применение в различных системах беспроводных локальных сетей (БЛС), таких как сотовая телефония, пейджинговая связь, IEEE 802.11.a.b.g.

Пристальный интерес к ППП обусловлен их низкой стоимостью, высокой интегрируемостью, исключением внешних фильтрующих цепей и т.д. Вместе с тем ППП присущ ряд недостатков, что ограничивает их более широкое внедрение. К ним относятся известная проблема постоянной составляющей [1] и искажение сигнала, вызванное квадратичной нелинейностью входных активных узлов-усилителей и смесителей [2]. Последнее особенно важно в системах с частотным разделением каналов, так как приводит к сильному паразитному перекрестному сигналу между поднесущими частотами и снижению динамического диапазона.

Снижения влияния нелинейности на качество ППП можно добиться как созданием полупроводниковых элементов с большим линейным диапазоном [3], что приводит к их удорожанию, так и разработкой соответствующих структурных схем приемников [4]. Ниже предлагается и рассматривается вариант такой структуры.

Модель нелинейности в ППП. Для выявления влияния нелинейности на качество ППП и систем связи, в которых он применяется, а также изыскания способов подавления интермодуляционных помех необходимо тщательное исследование нелинейных эффектов в ППП.

Обычно в супергетеродинных радиоприемных системах важна интермодуляция третьего порядка (IP_3), так как частоты ее продуктов находятся в окрестности полезного сигнала. В приемниках же прямого преобразования критической становится нелинейность второго порядка (IP_2) так как возникший нежелательный сигнал попадает в низкочастотный спектр преобразованного полезного сигнала, а большие входные сигналы (как полезный, так и побочные) приводят к появлению постоянной

составляющей (DC) на выходе смесителя, что неприемлемо при применении модулирующего сигнала с собственной постоянной компонентой.

Модель нелинейности можно представить следующим многочленом:

$$y(x) = ax + bx^2 + cx^3, \quad (1)$$

а сигнал-помеху как

$$x(t) = A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(\omega_2 t).$$

После фильтра низких частот сигнал будет иметь следующий вид:

$$y(x) = b \cdot A_1 A_2 \cos(\omega_2 - \omega_1)t + \frac{1}{2} b \cdot (A_1^2 + A_2^2).$$

Первое слагаемое представляет собой помеху, которая попадает в спектр полезного демодулированного сигнала, а второе - постоянное смещение.

Для уменьшения влияния входной нелинейности второго порядка предлагается использовать схему с двойными балансными смесителями, представленную на рис. 1.

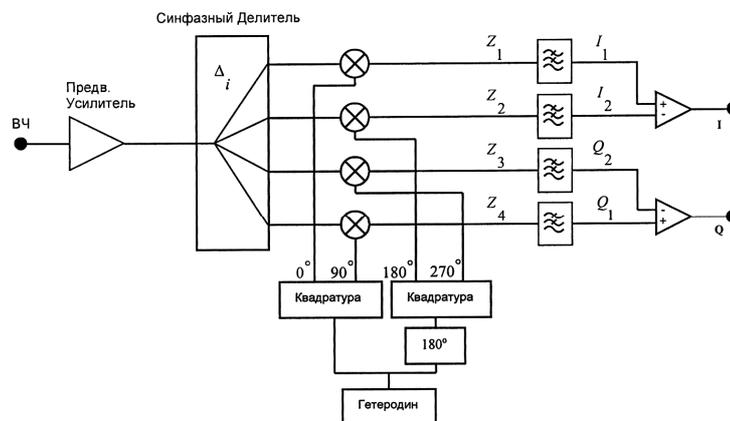


Рис. 1. Двойной балансный приемник

Здесь мы имеем синфазное деление входного высокочастотного сигнала и квадратурно-противофазное деление гетеродина.

Из этой упрощенной схемы видно, что все продукты нелинейностей четного порядка находятся в одинаковой фазе на выходах у всех смесителей. Принимая во внимание, что I, I' и Q, Q' представлены как дифференциальные пары, ожидается подавление вышеупомянутых продуктов. Эффективность же подавления будет зависеть от амплитудного и фазового разбаланса входного синфазного делителя.

Более подробно рассмотрим влияние нелинейности второго порядка на

принятый сигнал при использовании широкоиспользуемой небалансной и предложенной схем при амплитудном разбалансе синфазного делителя.

Допустим, принятый ВЧ-сигнал имеет следующий вид:

$$s(t) = x(t) \cdot \sin(\omega t) + y(t) \cdot \cos(\omega t).$$

После прохождения через неидеальный синфазный делитель с амплитудной погрешностью на первом выходе $\Delta_1 \ll 1$. При этом имеем

$$(1 + \Delta_1) x(t) \cdot \sin(\omega t) + (1 + \Delta_1) y(t) \cdot \cos(\omega t).$$

Принимая во внимание наличие квадратичной нелинейности с коэффициентом b , демодулированный сигнал будет иметь вид

$$z_1(t) = (1 + \Delta_1) x(t) \cdot \sin^2(\omega t) + (1 + \Delta_1) y(t) \cdot \cos(\omega t) \sin(\omega t) + b \cdot [(1 + \Delta_1) x(t) \cdot \sin(\omega t) + (1 + \Delta_1) y(t) \cdot \cos(\omega t)]^2.$$

Пренебрегая малыми величинами второго порядка Δ_1^2 , после фильтра нижних частот будем иметь

$$I_1(t) = \frac{1}{2} (1 + \Delta_1) \cdot x(t) + b(1 + 2\Delta_1) \cdot (x^2(t) + y^2(t)). \quad (2)$$

Это и есть выходной сигнал традиционного приемника. Для предложенной же схемы нужно получить разность противофазных компонент.

$I_2(t)$ рассчитывается аналогичным способом:

$$I_2(t) = \frac{1}{2} (1 + \Delta_3) \cdot x(t) + b(1 + 2\Delta_3) \cdot (x^2(t) + y^2(t)).$$

Таким образом,

$$I(t) = I_1(t) - I_2(t) = \left[1 + \frac{\Delta_1 + \Delta_3}{2} \right] x(t) + 2b(\Delta_1 - \Delta_3) \cdot (x^2(t) + y^2(t)). \quad (3)$$

Аналогичным образом получим

$$Q(t) = Q_1(t) - Q_2(t) = \left[1 + \frac{\Delta_2 + \Delta_4}{2} \right] y(t) + 2b(\Delta_2 - \Delta_4) \cdot (x^2(t) + y^2(t)). \quad (4)$$

Величины $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ характеризуют технологический разброс погрешностей синфазного делителя и обычно имеют нормальное распределение,

дисперсия которого $\sigma_{\Delta} = \sqrt{\sum_i \Delta_i^2}$. Для нашего случая будем иметь $\sigma_{\Delta} = \sqrt{2}\Delta$, где Δ - характеризующий амплитудный разброс погрешности делителя.

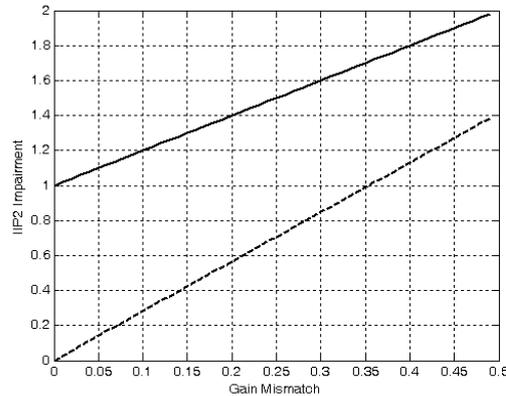


Рис. 2. Зависимость амплитуды паразитных компонент от амплитудного разбаланса синфазного делителя

Итак, выражения (3) и (4) принимают вид

$$I(t) = \left(1 + \frac{\Delta}{\sqrt{2}}\right)x(t) + 2\sqrt{2}b \cdot \Delta \cdot (x^2(t) + y^2(t)), \quad (5)$$

$$Q(t) = \left(1 + \frac{\Delta}{\sqrt{2}}\right)y(t) + 2\sqrt{2}b \cdot \Delta \cdot (x^2(t) + y^2(t)). \quad (6)$$

Из выражения (2) следует, что при наличии квадратичной нелинейности даже при идеальном синфазном делителе ($\Delta_i = 0$) в небалансной схеме возникает паразитный сигнал величиной $b \cdot (x^2(t) + y^2(t))$. В случае же двойного балансного приемника из (5) и (6) видно, что при идеальном делителе ($\Delta = 0$) паразитные компоненты полностью компенсируются.

На рис. 2 приведены зависимости возникших паразитных компонент принятого сигнала от амплитудного разбаланса делителя для традиционной (сплошная линия) и двойной балансной (штриховая линия) схем. Связь фактора ИР₂ с коэффициентом b в формуле (1) приведена в [4].

Моделирование цифрового канала связи с применением ППП. Для выявления потенциальных возможностей схемы ППП в системах цифровой связи разработана модель прием-передатчика в программной среде Matlab 6.5 как для предложенной, так и для традиционной схем с целью исследования поведения обоих приемников при различных внутренних параметрах и внешних условиях помех. В качестве модулирующего цифрового сигнала был применен широкоизвестный QPSK-сигнал.

Четырехуровневый низкочастотный сигнал разделяется на два бинарных потока и подается на соответствующие I и Q входы модулятора. В точке приема имеются три

полосы спектра: сигнал с частотой f_0 и две помехи с несущими частотами f_1 и f_2 ($f_1 < f_2$). Ширина спектра каждого модулированного сигнала равна F . Амплитудный разбаланс входного синфазного делителя взят равным $1,2$ дБ по мощности. Такое значение разбаланса типично для многих широкоиспользуемых делителей.

В результате симуляции для обоих приемников была рассчитана вероятность ошибки приема символа (SER) в зависимости от уровня нелинейности второго порядка (ИП₂). Полученные зависимости приведены на рис. 3.

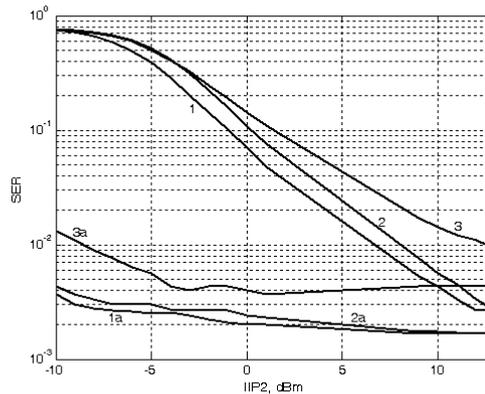


Рис. 3. Зависимость SER от нелинейности второго порядка для традиционного (1-3) и двойного балансного (1а-3а) приемников прямого преобразования

Кривые 1 и 1а описывают случай приема сигнала без помех. Здесь единственной причиной искажения сигнала и, следовательно, увеличения вероятности ошибки является значительная величина DC, порожденная от умножения сигнала на самого себя при достаточно большой нелинейности.

Кривые 2 и 2а описывают сигнал с немодулированными внешними помехами, каждая из которых производит DC, но их разностная частота ($f_1 - f_2$) находится вне полезного спектра.

Кривые 3 и 3а описывают случай принятого сигнала с двумя модулированными источниками помех. В этом случае, помимо постоянных компонент, образуется нежелательное искажение спектра полезного низкочастотного сигнала, который является следствием появления малых разностных частот. Разность частот ($f_2 - F$) и ($F + f_1$) лежит в спектре F сигнала.

Сравнение приведенных данных свидетельствует, что предложенная схема во всех рассмотренных случаях обеспечивает выигрыш по качеству более 30 дБ по сравнению с традиционным построением ППП. Таким образом, в предложенном ППП воздействие нелинейности второго порядка на спектр демодулированного сигнала незначительно и обусловлено в основном погрешностями входного синфазного делителя. В небалансном же ППП спектр принятого сигнала сильно зависит от нелинейности, в результате чего растут постоянная составляющая и величина искажения спектра сигнала.

Заключение. Предложенная схема является хорошим решением основных проблем приемников прямого преобразования. Слабая зависимость качества приема от

фактора IP_2 делает возможным ее применение в сложных системах с множественными несущими частотами (например IEEE 802.11), где помеха от соседнего канала может оказать существенное влияние на спектр сигнала. Предложенная схема проста в реализации, поскольку она может быть исполнена в одной интегральной схеме. Поэтому ожидается практика применения представленной схемы в самых различных отраслях беспроводной связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Razavi B.** RF Microelectronics. Prentice-Hall, 1998. – 335 p.
2. **Kerry Z. Cai and Pengfei Zhang.** The Effects of IP_2 Impairment on an 802.11a OFDM Direct Conversion Radio Systems // Microwave Journal.-February 2004.-V.47, N2.
3. **Stephen Yue.** Linearization techniques for mixers / Analog circuit design Course, 2000. –13 p.
4. **Parssinen Aarno.** Direct Conversion Receivers in Wide-Band Systems. Kluwer Academic Publishers, 2001. – 230 p.

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 16.02.2004.

Վ.Ա. ՆԱՀԱՊԵՏՅԱՆ, Ա.Ա. ՀԱԽՈՒՄՅԱՆ ՔԱՌԱԿՈՒՍԱՅԻՆ ՈՉԳՕՍԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՒՂԻՂ ՁԵՎԱՓՈՒՄԱՆ ՌԱԴԻՈԸՆԴՈՒՆԻԶԱՆՏՆԵՐՈՒՄ

Առաջարկվում է համափող մուտքային ազդանշանով և կրկնակի քառակուսային հետերոդինով երկբալանս խառնիչի սխեմա՝ մի քանի կրողներով I/Q ուղիղ ձևափոխման ռադիոընդունիչներում կիրառելու համար: Հետազոտված է քառակուսային ոչգծայնության ազդեցությունը թվային ազդանշանի ընդունման միջին սխալի վրա: Մշակված է համակարգի մոդել, որի միջոցով ցույց է տրված ընդունման արդյունավետության մեծացումն առաջարկվող սխեմայի կիրառման դեպքում:

V.A. NAHAPETYAN, A.A. HAKHOUMIAN QUADRATIC NONLINEARITY IN DIRECT CONVERSION RECEIVERS

The double balanced mixer scheme in-phase signal input and double-quadrature local oscillator is suggested for application on I/Q multi-carrier direct conversion receivers. An influence of the quadratic nonlinearity on BER of the digital signal is shown. A model of the system illustrating the improvement of the system performance in case of using the suggested scheme is developed.

Г.А. АРУТЮНЯН, Г.Б. БАГДАСАРЯН, В.Г. БАГДАСАРЯН

К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ УДАРЕ В ПРОЦЕССЕ СТРОГАНИЯ

Приведены результаты аналитического определения средней температуры на передней поверхности резца при ударе $Q_{уд}$ в процессе строгания. При этом учитывалось влияние физических свойств инструментального и обрабатываемого материалов на температуру при ударе. Установлено, что на величину $Q_{уд}$ большое влияние оказывают скорость и сила удара.

Ключевые слова: сила удара, скорость удара, номинальная площадь контакта, температура контакта.

Строгание, как один из видов прерывистого резания, всегда сопровождается ударом. Перед тем, как образуется стружка при строгании, резец ударяет по обрабатываемой заготовке. При этом кинематическая энергия упруго-пластической деформации соударяющихся тел является источником контактного теплообразования. Возникающая температура контакта при ударе отрицательно сказывается на стойкости и работоспособности режущего инструмента. В этой связи нами изучена температура контакта при ударе резца об обрабатываемую заготовку при строгании. Поскольку экспериментальное определение температуры контакта при ударе связано с определенными трудностями, было решено определить ее аналитическим способом.

Для аналитического определения температуры при ударе пользовались данными [1]. Приведенная в этой работе формула нами использована для определения средней температуры на передней поверхности резца при ударе:

$$Q_{уд} = \frac{4(1-\alpha)I \cdot P_{уд} \cdot V_{уд} \sqrt{a_1 \Delta\tau}}{3\sqrt{\pi} \cdot A \cdot \lambda} \left(1 - 0,8 \frac{\Delta\tau}{\tau}\right) \frac{\Delta\tau}{\tau}, \quad (1)$$

где I – механический эквивалент теплоты ($I = 427 \text{ кгм/ккал}$); $P_{уд}$ – сила удара, H ; $V_{уд}$ – скорость удара, равная скорости движения ползуна станка, $м/с$; a_1 – температуропроводность инструментального материала резца; λ – коэффициент теплопроводности инструментального материала резца. Для твердого сплава Т5К10, пластинкой которого оснащена режущая часть резца, $a_1 = 0,144 \text{ см}^2/с$ и $\lambda = 38,5 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$. Для обрабатываемого материала (Сталь У8А): $\lambda = 36 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$, A – номинальная площадь контакта при ударе, $мм^2$; $\Delta\tau$ – текущее значение времени удара, $с$; τ – время генерирования теплоты, равное общей продолжительности удара, $с$.

Сила удара $P_{уд}$ и общая продолжительность удара τ нами определены по известным зависимостям Герца:

$$P_{уд} = K^{2/5} \left[\frac{5}{4} M V_{уд}^2 \right]^{3/5}, \quad (2)$$

$$\tau = 3,2 \left(\frac{M^2}{V_{уд} K^2} \right)^{1/5}, \quad (3)$$

где K – коэффициент, зависящий от материалов соударяющихся тел и начальной кривизны их поверхностей в точке контакта (по нашим расчетам, для обрабатываемого материала Сталь У8А $K = 3,67 \cdot 10^3$); M – приведенная масса соударяющихся тел ($M = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$); m_1 – масса ползуна с динамометром; m_2 – масса обрабатываемого материала с приспособлением.

По данным наших расчетов, $M=110$ кг. Площадь контакта A принимаем равной $A=ab$, где a – толщина среза, мм. По данным таблицы, $A=0,5$ мм². Фактически величина A возникает на передней поверхности резца при ударе. Действительно, $A=ab$, поскольку в течение удара стружка еще не образуется, и нельзя эту площадь приравнять площади контакта на передней поверхности резца со стружкой.

Величина $1 - \alpha$ в (1) показывает, какая часть теплоты уходит в инструментальный материал резца, либо в обрабатываемую заготовку. Так как коэффициенты теплопроводности для твердого сплава Т15К10 и обрабатываемого материала Сталь У8А примерно равны, то принимаем: $1 - \alpha = 0,5$. Это означает, что примерно равным тепловым воздействиям подвергаются режущий материал резца Т15К10 и обрабатываемый материал Сталь У8А.

С целью правильной оценки влияния скорости удара на величину $Q_{уд}$ для всех скоростей удара выбираем одну и ту же величину текущего значения времени $\Delta \tau$, которую принимаем равной общей продолжительности удара $V = 0,6$ м/с, поскольку при этой предельной скорости удара должна получиться наибольшая температура $Q_{уд}$.

В таблице приведены расчетные значения температуры при ударе $Q_{уд}$ при различных скоростях удара.

Таблица

Скорость удара $V, \text{ м/с (м/мин)}$	0,05 (3,0)	0,13 (8,0)	0,24 (12)	0,28 (16)	0,33 (20)	0,4 (24)	0,6 (36)
$P_{уд}, \text{ Н}$	410	747	1135	1665	1799	2165	2836
$\Delta \tau, \text{ с}$	0,86						
$\tau, \text{ с}$	1,42	1,39	1,03	1,007	0,97	0,93	0,86
$Q_{уд}, \text{ град}$	18,4	87,1	216,7	362,2	439,8	597,7	976,7

Условия удара: станок – поперечно-строгальный марки 7М36, подача ($S=0,5$ мм/дв.х), глубина резания ($t = 1,0$ мм), главный угол в плане резца ($\phi = 60^\circ$), $a = S \sin \phi$, $b = t / \sin \phi$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Албагачиев А.Ю.** Изнашивание при ударе. - М.: Машиностроение, 1982. – 189 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 28.06.2003.

Հ.Հ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Հ.Բ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Վ.Հ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ

ՌԱՆԴՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ՀԱՐՎԱԾԻ ԴԵՊՔՈՒՄ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՎԵՐԼՈՒԾԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Բերված են ռանդման գործընթացում կտրիչի առջևի մակերևույթի վրա առաջացած հարվածի միջին Q_b ջերմաստիճանի՝ հաշվարկային մեթոդով որոշման արդյունքները: Հաշվի են առնվել Q_b ջերմաստիճանի վրա ազդող, կտրող և մշակվող նյութերի ֆիզիկական հատկությունները: Բացահայտված է, որ Q_b -ի դեպքում ջերմաստիճանի վրա ավելի շատ ազդում են հարվածի արագությունն ու ուժը:

H.H. HAROUTIUNYAN, H.B. BAGHDASARYAN, V.H. BAGHDASARYAN

ON ANALYTICAL STUDY OF IMPACT TEMPERATURE IN PLANING

Results of analytical determination of the mean temperature Q_{imp} developed on the cutting tool face due to impact in planing are presented. Influence of physical properties of tool and work materials on impact temperature is considered. It is stated that impact velocity and force greatly influence the quantity Q_{imp} .

З.А. БАБАЯН

**ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА
ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Дана оценка вероятностного описания процесса производства облицовочных плит (ОП) из природных каменных материалов. Составлено математическое вероятностное описание процесса производства ОП.

Ключевые слова: облицовочная плита, разнотипность технологической операции, неоднородный марковский процесс.

Для оценки вероятности выхода годных облицовочных плит в процессе их производства, а также влияния внешних факторов на технологический процесс, являющихся основными причинами снижения указанной вероятности, составлено математическое вероятностное описание процесса производства ОП, суть которого изложена ниже.

На каждой последовательной технологической операции процесса производства ОП различают два несовместимых события (A, \bar{A}) производственно-технологического характера, где A – годная ОП, \bar{A} – негодная ОП, и четыре состояния выпускаемых ОП (H_1, H_2, H_3, H_4), определяющиеся процессами производства и контроля и являющиеся несовместимыми событиями, где H_1 – качественная и незабракованная ОП, H_2 – некачественная, но незабракованная ОП, H_3 – некачественная и забракованная ОП, H_4 – качественная, но забракованная ложно ОП.

Если на предыдущей операции процесса производства ОП находилась в состоянии H_2, H_3 или H_4 , то будем считать, что на последующих операциях она не может оказаться в состоянии H_1 .

Такое допущение объясняется тем, что при изготовлении неисправной ОП на предыдущей операции или ее браковке на этой же операции исключается возможность ее выхода как годной на следующей операции. Поэтому вероятность изготовления качественной ОП определяется качеством ее поступления на данной операции процесса производства и сохранением ее состояния на H_1 .

Примем, что изменение состояния ОП на рассматриваемой операции процесса производства не зависит от ее состояния на предыдущих операциях. Тогда процесс изменения состояния ОП по операциям процесса производства можно описать неоднородным марковским процессом, что объясняется разнотипностью технологических операций и влиянием на ОП внешнего случайного воздействия на каждой i -й операции.

Учитывая сделанные выше допущения и основываясь на методах расчета надежности, получим выражения для вероятности выхода качественных ОП на каждой i -й последовательной операции технологического процесса производства гранитных, туфовых плит:

- на первой операции :

$$P(H_1,1) = P_1(H_1,0) \cdot P_1(A) \cdot P_1(K); \quad (1)$$

- на второй операции:

$$P(H_1,2) = P(H_1,1) \cdot P_2(H_1,0) \cdot P_2(A) \cdot P_2(K); \quad (2)$$

- на i -й операции:

$$P_i(H_1,i) = \prod_{i=1}^{i^*} P_i(H_1,0) \cdot \prod_{i=1}^{i^*} P_i(A) \cdot \prod_{i=1}^{i^*} P_i(K), \quad (3)$$

где $P_i(H_1,0)$ - вероятность того, что на i -й операции технологического процесса производства ОП поступающие материалы качественные; $P_i(A)$ - вероятность того, что на i -й операции технологического процесса производства ОП гранитные и туфовые плиты изготавливаются качественными; $P_i(K)$ - вероятность контроля на i -й операции технологического процесса производства ОП.

Из выражений (1)- (3) видно, что вероятность выхода качественных ОП в основном зависит от величины произведения вероятностей $P_i(A)$ и $P_i(K)$, так как $P_i(H_1,0) \cong 1$:

$$P_1(i) = \prod_{i=1}^{i^*} P_i(A) \cdot P_i(K), \quad (4)$$

где $P_1(i)$ - вероятность того, что на i -й последовательной операции технологического процесса производства ОП выпускаемая облицовочная плита будет находиться в состоянии H_1 , если $P_i(H_1,0) \cong 1$. Тогда

$$P(H_1,i) = P_1(i), P(H_2,i) = P_2(i), P(H_3,i) = P_3(i), P(H_4,i) = P_4(i). \quad (5)$$

Поскольку состояние выпускаемой ОП на каждой i -й последовательной операции технологического процесса производства будет находиться в одном из состояний $H_1 \dots H_4$, то, в силу полноты групп событий, можно написать

$$P_1(i) + P_2(i) + P_3(i) + P_4(i) = 1, \quad (6)$$

где $P_2(i), P_3(i), P_4(i)$ - соответственно вероятности нахождения выпускаемых ОП в состояниях $H_2 - H_4$ к концу i -й последовательной операции технологического процесса производства ОП, если $P_1(H_1,0) = 1$.

Следовательно, вероятности $P(H_1,i)$ ($i = 1, 2, \dots, i^*$) могут быть рассчитаны на основании значений вероятностей $P_1(i), P_2(i), P_3(i), P_4(i)$.

Вероятности $P_1(i), P_2(i), P_3(i), P_4(i)$ на i -й последовательной операции технологического процесса производства ОП определяются соответственно

вероятностями сохранения или перехода состояний выпускаемых ОП, заложенных в $(i - 1)$ -й операции, т.е.

$$\begin{aligned} P_1(i) &= P_{11}(i) + P_{21}(i) + P_{31}(i) + P_{41}(i), \\ P_2(i) &= P_{12}(i) + P_{22}(i) + P_{32}(i) + P_{42}(i), \\ P_3(i) &= P_{13}(i) + P_{23}(i) + P_{33}(i) + P_{43}(i), \\ P_4(i) &= P_{14}(i) + P_{24}(i) + P_{34}(i) + P_{44}(i). \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая реальные ситуации процесса производства ОП и допуская, что ОП на предыдущей операции ОП находятся в состояниях H_2, H_3 и H_4 , в связи с чем они не могут оказаться в состоянии H_1 на последующей операции производства, получим

$$\begin{aligned} P_{21}(i) &= 0, \quad P_{31}(i) = 0, \quad P_{41}(i) = 0, \\ P_{32}(i) &= 0, \quad P_{42}(i) = 0, \quad P_{43}(i) = 0, \\ P_{24}(i) &= 0, \quad P_{34}(i) = 0, \quad P_{33}(i) = 0, \\ P_{44}(i) &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда

$$\begin{aligned} P_1(i) &= P_{11}(i), \quad P_2(i) = P_{12}(i) + P_{22}(i), \quad P_3(i) = P_{13}(i) + P_{23}(i), \\ P_4(i) &= P_{14}(i). \end{aligned} \quad (9)$$

С целью расчета вероятностей $P_{11}(i), P_{12}(i), P_{13}(i), P_{14}(i), P_{22}(i), P_{23}(i)$ необходимо различать два состояния на i -й последовательной операции технологического процесса производства ОП: H_5, H_6 , где H_5 - внешние случайно-воздействующие факторы, не нарушающие хода нормального функционирования i -й последовательной операции технологического процесса производства ОП; H_6 - внешние случайно-воздействующие факторы, нарушающие ход нормального функционирования i -й последовательной операции технологического процесса производства ОП.

Кроме того, для упрощения расчетов вышеуказанных вероятностей необходимо различать два несовместимых события (B, \bar{B}) , которые могут появиться после i -ых контрольных операций, где B - выпускаемая ОП, которая принята как работоспособная (в состояниях H_1 или H_2); \bar{B} - выпускаемая ОП, которая принята как забракованная (в состояниях H_3 или H_4).

Необходимо отметить, что для Коелгинского мрамора в процессе полировки ОП, имеющих номинальный блеск в выборке (90 %), дисперсия в результате опытов получалась 0,59 [1, 2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9480-98.
2. **Бабаян З.А.** Методы повышения качества облицовочных плит из природного камня с разработкой методов и средств контроля: Дис. канд.техн. наук / Тбилиси, 1990. – 133 с.

ГЗАО “Камень и силикаты”. Материал поступил в редакцию 15.09.2002.

Ջ.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ

ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԵՐԻՑ ՍՏԱՑՎՈՂ ԵՐԵՍՊԱՏՄԱՆ ՍԱԼԻԿԱՆԵՐԻ ԱՐՏԱՊՐՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾՐՆԹԱՑԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅՑԻՆ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Տրված է բնական քարերից ստացվող երեսպատման սալիկների արտադրության գործընթացի հավանականությանին նկարագրության գնահատականը: Կազմված է երեսպատման սալիկների արտադրության գործընթացի մաթեմատիկական հավանականությանին նկարագրությունը:

Z.A. BABAYAN

PROBABILISTIC DESCRIPTION OF FACING SLAB PRODUCTION PROCESS

The probability estimation of process description for facing slab (FS) production from natural stone materials is given. The mathematical probability description of FS production process is produced.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՇԵԿՅԱՆ Հ.Գ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Է.Պ., ՋԱՔԱՐՅԱՆՅ Հ.Վ.
 ՆՅՈՒԹԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱՐՁՐ
 ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ 199

ՋԱՎԱԽՅԱՆ Ռ.Պ., ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ Հ.Ս.
 ԱՐՅԱՆ ԸՆԴՀԱՏՈՒՆ ՀՈՍՔ ԱՊԱՀՈՎՈՂ ՀՈԼՈՎԱԿԱՎՈՐ ՊՈՄՊԻ
 ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ..... 208

ՍՏԱԿՅԱՆ Մ.Գ., ԻՍԱԽԱՆՅԱՆ Կ.Ց.
 ՀԱՐԹ ԵՎ ԱՍՏԻՃԱՆԱՎՈՐ ԼԻՄԵՆՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ
 ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ
 Հաղորդում 1. Հարթ, տեխնոլոգիական և կառուցվածքային նշանակության
 լարումների կուտակիչներ ունեցող լիսեռների սահմանային լարումների
 մակերևույթները 215

ԱՎԱԳՅԱՆ Վ.Ա., ԲԱԲՅԱՆ Կ.Ս., ՄԿՐՏՅԱՆ Վ.Ս.
 ՁԵՎԱՎՈՐՎՈՂ ՄԱԿԵՐԵՄԻ ՍՊԵԿՏՐԱԼ ՄՈՂԵԼԸ ՃԱԿԱՏԱՅԻՆ ՖԲԵԶԵՐՄԱՆ
 ԳՈՐԾՆԹԱՅՈՒՄ 222

ՄԱՍՅԱՆ Ս.Գ., ԱՆԴՐԻՍՅԱՆ Ա.Վ.
 ԴԵՖՈՐՄԱՅՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ԵՎ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ Ու ԱԾԽԱԾՆԻ
 ՊԱՐՈՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՌԱԿԱԼ ՎԱԾ ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾՔ-
 ՆԵՐԻ ԲՋՄՄ ԱՐԴՅՈՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ 227

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Ա.Ն.
 ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅՈՒՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀԵՏԵՐՈՑԻԿԼԻԿ
 ՊՈԼԻՄԵՐՆԵՐԻ ՀԻՄՔՈՎ ԿՈՄՊՈԶԻՏՅԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱՅՈՒՂՎՈՂ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
 ՇՓՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ 233

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Մ.Վ.
 ԼԵԳԻՐՎԱԾ ԿԱՊԱՐԵ ԱՆՈՂՆԵՐԻ ՎԱՐՔԱԳԻԾԸ ՍՈՒԼՖԱՏ-ԹՎԱՅԻՆ
 ԷԼԵԿՏՐՈԼԻՏՈՒՄ 238

ԱՖՐԻԿՅԱՆ Տ.Հ.
 ԱՐՏԱՄՂՎԱԾ ՀՂԿԱՔԱՐԵՐԻ ԾԱՎԱԼՈՒՄ ԱԼՄԱՍՏԵ ՀԱՏԻՎՆԵՐԻ
 ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԵՎ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ 243

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Մ.Գ., ՋԱՔԱՐՅԱՆ Ֆ.Հ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Ս.
 ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԻԿ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՖԵՐՈՍՈԼԻԲԴԵՆԻ ՍՏԱՅՄԱՆ
 ԿԻՆԵՏԻԿԱՆ ԵՎ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ 250

ՀՈՎՍԵԹՅԱՆ Ա.Հ., ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ Գ. Մ., ՄԻՆԱՍՅԱՆ Ս.Հ.
 ԲԱՐՁՐ ՄԱՔՐՈՒԹՅԱՆ ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԵՐԿՍՈՒԼՖԻԴԻ ՓՈՇՈՒ ՍՏԱՅՄԱՆ
 ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ 256

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա. Հ.
 ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՎԱՐԸՆԹԱՑ ՇԵՐՏԵՐԻ ՀԱՆՈՒՄՈՎ ԵՎ ՊԵՐՄԱՆՈՂ ԼՅԱՆՅՈՒԹՈՎ
 ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԵՊՔՈՒՄ ՄԱՔՐԱՀԱՆՈՒՑԹԻ ԿԱՐԳԻ
 ԵՐԿՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ 260

ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ս.Ա.
 ԲԱՑԱՀԱՆՔԻ ԵՆԹԱՀԱՆՔԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐՈՎ ՄՇԱԿՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ
 ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 266

ԽԱԶԱՏՐՅԱՆ Վ.Ս., ԲԱՂԱԼՅԱՆ Ն. Պ., ՄՆԱՅԱԿԱՆՅԱՆ Մ. Ա.
 ՄԵԾ ԷԼԵԿՏՐՈՒԼՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿՅՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ

Դիսկոնդուկտիվություն “Y-Z, P-Q” սաթեմաստիվությունը սոնդերի ԻՐԱՑՈՒՄՆ ԱՆԿԱԽ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ Մ-Մ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԼԿԱՏՄԱՄԲ	271
ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ռ.Ռ., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Գ.Ա., ԴԱԼԼԱՔՅԱՆ Վ.Կ.	
ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՏՆՏԵՍԱՊԵՄ ՇԱՀԱՎԵՏ ԼՈՒՍԱԷԼԵԿՏՐՈՒԿԱՆ ՓՈԽԱԿԵՐՊԻՉՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ	281
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Վ.Գ.	
ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ X18H10T ՉԺԱՆԳՈՏՎՈՂ ՊՈՂՊԱՏԻ ՎՐԱ ԲԱՐՁՐ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ՋՐՈՒՄ ՑԻՐԿՈՆԻՈՒՄԻ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ	287
ԶՈՒԲԻՏԱՇՎԻԼԻ Դ.Վ., ԲԻԶՄԱՆՎ ՅՈՒ.Գ.	
ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱՅԻ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐՈՒՄ ԷՆԵՐԳԱԽՆԱՅՈՂՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇ ԶԵՎԵՐԻ ՄԱՍԻՆ	293
ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ Գ.Շ.	
p-GaSb/n-GaAs ԴԻՈԴՆԵՐԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԶԵՐՄԱԼՈՒՍԱ- ՎՈԼՏԱՅԻՆ ՄԱՐՔԵՐՈՒՄ ԵՎ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐՈՒՄ	300
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ա.Գ.	
ԳԱԶՊԱՐՊՈՒՄԱՅԻՆ ԼԱՄՊԵՐՈՎ ԼՈՒՍԱՎՈՐՄԱՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ	305
ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ Լ.Հ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Վ.Ա.	
ԵՌԱՏԱԶ ՄԱԼՈՒԽԻ ԶՈՒԳԱՀԵՌ ՏԵՂԱԿԱՅՎԱԾ ԶՂԵՐԻ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄ	310
ՄԻՄՈՆՅԱՆ Ս.Հ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Յ.Պ.	
ՑԱՆԿԱԼԻ ՏԱՐՐԱՊԱՏԿԵՐՈՎ ԲԱԶՄԱԶՈՓ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶԸ ԱՎՏՈՄՍՏ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ	316
ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., Դ.Դ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՄՅԱՆ	
ԹՎԱՅԻՆ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՈՐՈՇԻՉ ՃԱՆԱՊԱՐՀՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՀԱՊԱՂՈՒՄՆԵՐԻ ՆՎԱԶԱՐԿՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ	324
ԿՈՍԵՄՅԱՆ Ս.Է.	
ՀԱՏԿԱՆԻՇԻ ՏԵՂԵԿԱՏՎԱՅԻՆ ՉԱՓԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՄԲ ԳԼԱՈՒԿՈՄԱՅԻ ԱԽՏՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ	331
ՄԱՐԳՍՅԱՆ Գ.Կ.	
ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՀԵՏԵՎՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ՄՇԱԿՈՒՄ	336
ԷՔՍՈՒԶՅԱՆ Ս.Հ.	
ԺԱՊԱՎԵՆՆԵՐԻ ԶԵՎՄԱՆ ԵՐԿՈՒ ՀԱՍՏՈՑԻՑ ԿԱԶՄՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՄԱՐ ԿՈՌԵԿՏ ԴԱՍԱՑՈՒՑԱԿԻ ԳՈՅՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆ	343
ՆԱՀԱՊԵՏՅԱՆ Վ.Ա., ՀԱԽՈՒՄՅԱՆ Ա.Ա.	
ՔԱՌԱԿՈՒՄԱՅԻՆ ՈՉԳԾԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՒՂԻՂ ԶԵՎԱՓՈԽՄԱՆ ՌԱԴԻՈԸՆԴՈՒՆԻՉՆԵՐՈՒՄ	348
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Հ.Հ., ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Հ.Բ., ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Վ.Հ.	
ՌԱՆԴՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ՀԱՐՎԱԾԻ ԴԵՊՔՈՒՄ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՎԵՐԼՈՒԾԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ	354
ԲԱԲՅԱՆ Զ.Ա.	
ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԵՐԻՑ ՍՏԱՑՎՈՂ ԵՐԵՄՊԱՏՄԱՆ ՄԱԼԻԿՆԵՐԻ ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՅԻՆ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ..	357

СОДЕРЖАНИЕ

ШЕКЯН Г.Г., ХАЛАТЯН Э.П., ЗАХАРЯНЦ Г.В. ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	199
ДЖАВАХЯН Р.П., АРЗУМАНЯН О.С. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОЛИКОВОГО НАСОСА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПРЕРЫВИСТЫЙ ПОТОК КРОВИ	208
СТАКЯН М.Г., ИСАХАНИЯН К.Ц. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ГЛАДКИХ И СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ Сообщение 1. Поверхности предельных напряжений гладких валов и с кон- центраторами напряжений конструктивного и технологического назначения	215
АВАКЯН В. А., БАБАЯН К. С., МКРТЧЯН В. С. СПЕКТРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ	222
МАМЯН С.Г., АНДРИАСЯН А.В. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВТМО СПЕЧЕННЫХ ЗАГОТОВОК	227
КАРАПЕТЯН А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛЕНОК ПРИ ТРЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЦЕПНЫХ ПОЛИМЕРОВ	233
МАРТИРОСЯН М.В. ПОВЕДЕНИЕ ЛЕГИРОВАННЫХ СВИНЦОВЫХ АНОДОВ В СЕРНОКИСЛОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ	238
АФРИКЯН Т.Г. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОРИЕНТАЦИИ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН В ОБЪЕМЕ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ КРУГОВ	243
АГБАЛЯН С.Г., ЗАКАРЯН Ф.А., ОГАНЕСЯН А.М. КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМОЛИБДЕНА АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ	250
ОВСЕПЯН А.О., АЙРАПЕТЯН Г.М., МИНАСЯН С.А. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКА ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ	256
ОГАНЕСЯН А.Г. ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ ПРИ НИСХОДЯЩЕЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ С ПОСЛОЙНОЙ ВЫЕМКОЙ РУДЫ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ	260
САРКИСЯН С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРОВ ПОДУСТУПНЫМ МЕТОДОМ	266
ХАЧАТРЯН В.С., БАДАЛЯН Н.П., МНАЦАКАНЯН М.А. РЕАЛИЗАЦИЯ "Y-Z, P-Q" ДИАКОПТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ	

МОДЕЛИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА БОЛЬШОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТНОСИТЕЛЬНО U-Ψ ПАРАМЕТРОВ НЕЗАВИСИМЫХ СТАЦИОННЫХ УЗЛОВ	271
<i>ВАРДАНЯН Р.Р., МАРТИРОСЯН Г.А., ДАЛЛАКЯН В.К.</i>	
РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ	281
<i>ПЕТРОСЯН В. Г.</i>	
ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕРЖАВЕЮЩУЮ СТАЛЬ X18N10T В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОДЕ В ПРИСУТСТВИИ СПЛАВА ЦИРКОНИЯ	287
<i>ЗУБИТАШВИЛИ Д.В., БИДЖАМОВ Я.Г.</i>	
О НЕКОТОРЫХ ФОРМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ	293
<i>ШМАВОНЯН Г.Ш.</i>	
ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ p-GaSb/n-GaAs ДИОДОВ В ТЕРМОФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ И СПУТНИКОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ	300
<i>АРУТЮНЯН А.Г.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ	305
<i>КАРАХАНИЯН Л.О., ГРИГОРЯН В.А.</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ЖИЛАМИ ТРЕХФАЗНОГО КАБЕЛЯ	310
<i>СИМОНЯН С.О., ГРИГОРЯН Ф.П.</i>	
СИНТЕЗ МНОГОМЕРНЫХ УПРАВЛЕНИЙ С ЖЕЛАЕМЫМИ СПЕКТРАМИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	316
<i>МЕЛИКЯН В.Ш., ОГАНЕСЯН Д.Д.</i>	
АЛГОРИТМ МИНИМИЗАЦИИ ЗАДЕРЖЕК КРИТИЧЕСКИХ ПУТЕЙ ЦИФРОВЫХ СХЕМ	324
<i>КОСЕМЯН С.Э.</i>	
МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГЛАУКОМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ МЕРЫ ПРИЗНАКА	331
<i>САРКИСЯН Г. К.</i>	
РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ	336
<i>ЭКСУЗЯН С.А.</i>	
УСЛОВИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ КОРРЕКТНОГО РАСПИСАНИЯ ДЛЯ ДВУХСТАНОЧНОЙ СИСТЕМЫ РАСКРОЯ ЛЕНТ	343
<i>НАГАПЕТЯН В.А., АХУМЯН А.А.</i>	
КВАДРАТИЧНАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ В ПРИЕМНИКАХ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	348
<i>АРУТЮНЯН Г.А., БАГДАСАРЯН Г.Б., БАГДАСАРЯН В.Г.</i>	
К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ УДАРЕ В ПРОЦЕССЕ СТРОГАНИЯ	354
<i>БАБАЯН З.А.</i>	
ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	357

CONTENTS

SHEKYAN H.G., KHALATYAN E.P., ZAKHARYANTS G.V.	199
MECHANICAL MATERIAL PROPERTY CHANGES AT DYNAMIC HIGH-FREQUENCY EFFECTS	
JAVAKHYAN R.P., ARZUMANYAN H.C.	208
DESIGNING OF THE ROLLER PUMP PROVIDING PULSATILE BLOOD FLOW.....	
STAKYAN M.G., ISSAKHANYAN K.TS.	215
PROBABILITY ASSESSMENT OF SMOOTH AND STEPPED SHAFT FATIGUE RESISTANCE	
Message 1. Limited stress surfaces of smooth shafts and with constructive and technological purpose stress concentrators	
AVAGYAN V. A., BABAYAN K. S., MKRTCHYAN V. S.	222
SPECTRAL MODEL OF SURFACE FORMING IN FACE MILLING	
MAMYAN S.G., ANDRIASSYAN A.V.	227
THE INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF HTTMT DEPENDING ON THE DEGREE AND TEMPERATURE OF THE DEFORMATION AND CONTENTS OF CARBON IN THE SINTERED BARS	
KARAPETYAN A.N.	233
STUDY OF SURFACE FILMS AT FRICTION OF COMPOSITE SELF-LUBRICATED MATERIALS BASED ON HETEROCHAIN POLYMERS	
MARTIROSYAN M.V.	238
THE BEHAVIOUR OF ALLOYED LEAD ANODES IN THE SULPHURIC ACID ELECTROLITE	
AFRIKYAN T.G.	243
TECHNOLOGY OF OBTAINING AND THE STUDY OF DIAMOND GRAIN ORIENTATION DEGREE IN EXTRUDED GRAINS	
AGHBALYAN S.G., ZAKARYAN F.A., HOVHANNISYAN A.M.	250
KINETICS AND MECHANISM TO OBTAIN FERROMOLYBDENUM BY ALUMINIUM-THERMAL METHOD	
HOVSEPYAN A.H., HAYRAPETYAN G.M., MINASYAN S. H.	256
TECHNOLOGY OF POWDER DISULPHIDE MOLYBDENUM PRODUCTION WITH HIGH CLEANLINESS	
HOVHANESSYAN A.G.	260
GEOMETRICAL GROUNDING OF SEWAGE PIT ORDER IN DOWNWARD LAYER ORE PIT MINING SYSTEM WITH HARDENING FILLING	
SARGSYAN S.A.	266
STUDIES ON OPENCAST MINING KNOW-HOW BY A SUBBENCH METHOD	
KHACHATRYAN V.S., BADALYAN N.P., MNATSAKANYAN M.A.	271
Y-Z, P-Q DIACOPTIC LARGE ELECTRICAL POWER SYSTEM REALIZATION RELATIVE TO U-Ψ PARAMETERS OF INDEPENDENT STATION UNIT	
VARDANYAN R. R., MARTIROSYAN G. A., DALLAKYAN V. K.	281
COST EFFECTIVE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS DEVELOPMENT.....	

PETROSYAN V. G. IRRADIATION INFLUENCE ON X18H10T STAINLESS STEEL IN HIGH TEMPERATURE WATER IN THE PRESENCE OF ZIRCONIUM ALLO	287
ZUBITASHVILI D.V., BIJAMOV Ya.G. SOME WAYS OF ENERGY SAVING ON POWER ENGINEERING ENTERPRISES	293
SHMAVONYAN G.SH. POSSIBLE APPLICATION OF p-GaSb/n-GaAs DIODES IN THERMOPHOTOVOLTAIC DEVICES AND SATELLITE SOLAR CELLS	300
HARUTIUNYAN A.G. LIGHTING GRID EFFICIENCY INCREASE USING GAS DISCHARGE LAMPS	305
KARAKHANYAN L.O., GRIGORYAN V.A. DISTANCE OPTIMIZATION BETWEEN PARALLELLY LOCATED THREE- PHASE	310
SIMONYAN S.H., GRIGORYAN F.P. MULTIDIMENSIONAL CONTROL SYNTHESIS WITH DESIRED SPECTRA IN AUTOMATICALLY REGULATED SYSTEMS	316
MELIKYAN V. SH., HOVHANNISYAN D. D. DIGITAL CIRCUIT MINIMIZATION ALGORITHM OF CRITICAL PATH DELAYS	324
KOSEMYAN S.E. GLAUCOMA DIAGNOSTIC METHOD BY USING INFORMATION ESTIMATOR OF SIGN	331
SARGSYAN G. K. DEVELOPMENT OF COMPUTER-AIDED DESIGN METHOD IN NONLINEAR SERVOMECHANISM	336
EKSUZYAN S.H. CORRECT SCHEDULING EXISTENCE CONDITION OF THE TWO- MACHINE SYSTEM FOR BAND CUTTING OUT	343
NAHAPETYAN V.A., HAKHOUMIAN A.A. QUADRATIC NONLINEARITY IN DIRECT CONVERSION RECEIVER	348
HAROUTIUNYAN H.H., BAGHDASARYAN H.B., BAGHDASARY V.H. ON ANALYTICAL STUDY OF IMPACT TEMPERATURE IN PLANING	354
BABAYAN Z.A. PROBABILISTIC DESCRIPTION OF FACING SLAB PRODUCTION PROCESS	357