Журнал издается с 5.01. 1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ տեղակալ), Ս. Թերզյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Մ. Ղազարյան, Ռ.Մարուխյան, Ն. Մանուկյան, Յ. Սարգսյան, Յու. Սարգսյան, Վ. Սարգսյան, Մ. Ստակյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար), Վ. Խաչատրյան, Ս. Քոչինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. Мартиросян (главный редактор), Р.В. Атоян (зам. глав. редактора), С.М. Казарян, Г.А. Кочинян, Н.В. Манукян, В.З. Марухян, В.С. Саркисян, Ф.Т. Саркисян, Ю.Л. Саркисян, М.Г. Стакян (зам. глав. редактора), З.К. Степанян (ответственный секретарь), А.А. Терзян (зам. глав. редактора), В.С. Хачатрян.

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirossyan (Editor-in-Chief), R.V. Atoyan (Vice-Editor-in-Chief), S.M. Ghazaryan, V.S. Khachatryan, H.J. Kochinyan, N.V. Manoukyan, V.Z. Maroukhyan, F.T. Sarkissyan, V.S. Sarkissyan, Yu.L. Sarkissyan, M.G. Stakyan (Vice-Editor-in-Chief), Z.K. Stepanyan (Secretary-in-Chief), H.A. Terzyan (Vice-Editor-in-Chief).

ՀԱՆԴԵՍԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ Է ԱՄԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆՎԻՐԱՏՎՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԴՐՎԱԾ ՀԱՅԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՒՄ

THE JOURNAL IS PUBLISHED IN THE COMPUTER PUBLISHING CENTER ESTABLISHED BY THE DONATION OF THE ARMENIAN EDUCATIONAL FOUNDATION (USA)

Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук). 1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 1. 1997, с. 3 - 10.

УДК 519.2:621.81.002.22

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М.Г. СТАКЯН

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ВОЗДУХЕ И В КОРРОЗИОННЫХ СРЕДАХ

Մշակված է գործակիցների հաշվարկային մեթոդիկա, որոնք ամրության, երկարակեցությունների և չքայքայման հավանականությունների լայն ընդգրկույթում հաշվի են առնում տարբեր գործոնների ազդեցությունը հոգնածային դիմադրության վրա: Համակարգված են հաշվարկային սխեմաների հնարավոր տարբերակները և այդ հիման կազմված է համալիր հաշվողական ծրագիր՝ այդ գործակիցները համակարգչով հաշվարկելու համար:

Разработана расчетная методика определения коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов на сопротивление усталости в широком диапазоне долговечностей, напряжений и вероятностей неразрушения. Систематизированы возможные варианты расчетных схем. На этой основе составлена комплексная вычислительная программа для расчета этих коэффициентов на ЭВМ.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

The calculation technique is developed for coefficient definition which takes account the influence of different factors on fatigue resistance in wide range of durabilities, stresses and nondestructive probabilities. Possible versions of calculation schemes have been systematized and a complex computing program has been created for computer calculations of these coefficients.

Ill. 3. Table 1. Ref. 10.

Сокращение сроков проектирования новых машин и полное использование резерва несущей способности существующих конструкций с целью повышения их производительности и рабочих скоростей предполагают, наряду с уточнением оценок характеристик сопротивления усталости, применение эффективных расчетных методик, реализуемых на ЭВМ непосредственно на рабочем месте конструктора - расчетчика. Создание банка входных данных при использовании этих методик позволяет выдать оперативную расчетную информацию в виде фиксированных, дискретных или непрерывных значений интересующих параметров, не прибегая к традиционным справочникам и пособиям, возможности которых ограничены, что может стать одним из важных элементов при разработке САПР в машиностроении.

К числу таких параметров относятся коэффициенты [1, 2], учитывающие влияние различных факторов (масштабный эффект, концентрация напряжений, вид напряженного состояния, качество обработки поверхностей, упрочнение, коррозионная среда, режим нагружения и др.) на сопротивление усталости деталей:

$$K_{\sigma\sigma} = \sigma_{R\delta} / \sigma_R, \quad K_\sigma = \sigma_R / \sigma_{R\delta}, \quad K_{\sigma\tau} = \sigma_{R_\tau} / \sigma_R,$$
$$K_{\sigma\sigma} = \sigma_R / \sigma_{R(\delta)}, \quad K_\tau = \sigma_{R_\tau} / \sigma_R, \quad K_{\sigma_{корр}} = \sigma_{R_{корр}} / \sigma_R, \qquad (1)$$

$$a = \sum n_i / N_i, \quad K_N = N / N_k, \qquad (2)$$

которые представляют собой отношение пределов выносливости или циклических долговечностей для исходных образцов и деталей при наличии изучаемого фактора. При этом традиционно сложилась структура этих коэффициентов - параметры, характеризующие влияние факторов, расположены в числителе или знаменателе, в связи с чем $K \geq 1$. Проведенный большой объем испытаний для определения (1) и (2) всесторонне систематизирован в справочной литературе в виде таблиц и номограмм, которые используются в традиционных (детерминированных) расчетах на прочность и долговечность.

Однако эта система информации несовершенна вследствие неполного охвата всего спектра действующих факторов и неучета вероятностного характера изменения характеристик сопротивления усталости, что может привести к ошибкам порядка 20...30 %. Отсутствует также системный подход, который облегчил бы алгоритмизацию задачи и применение вычислительной техники в расчетах на прочность и долговечность.

Естественное рассеяние результатов испытаний, достигающее значительных величин для деталей с выраженной анизотропией или при натурных испытаниях соединений и отдельных узлов машин, диктует необходимость вероятностной оценки указанных коэффициентов, т.к. их значения, приведенные в справочной литературе,фактически соответствуют вероятности неразрушения $P(N) \approx 0.5$ на уровне пределов выносливости $\overline{\sigma}_R$ и $N \geq N_G$ (N_G – абсцисса точки перелома медианной кривой усталости). При фиксированных значениях N и σ согласно [3] можно написать, что

$$\sigma_R = \overline{\sigma}_R (1 + z_p v_{\sigma R}) \text{ и } \lg N = \overline{\lg N} + z_p s_{\lg N},$$

откуда для коэффициентов K_σ и K_N, сгруппированных по критериям прочности и долговечности, в общем случае получаем

$$K_\sigma = (\overline{\sigma}_R / \overline{\sigma}_{Rk})(1 + z_p V_{\sigma R}) / (1 + z_p V_{\sigma Rk}) = \overline{K}_\sigma A_B. \qquad (3)$$

$$\lg K_N = \Delta \overline{\lg N} + \Delta s_{\lg N} z_p, \qquad (4)$$

где $\Delta \overline{\lg N} = \overline{\lg N} - \overline{\lg N_k}$, $\Delta s_{\lg N} = s_{\lg N} - s_{\lg N_k}$, $A_B = (1 + z_p v_{\sigma R}) / (1 + z_p v_{\sigma Rk})$, $v_{\sigma R}$, $v_{\sigma Rk}$ и $S_{\lg N}$, $S_{\lg N_k}$ – вариационные коэффициенты пределов выносливости и с.к.о. $\lg N$ при заданном уровне σ; $\overline{K}_\sigma$ – медианные значения K_σ, соответствующие общепринятым справочным данным этих коэффициентов; z_p – квантиль нормированной функции Лапласа, соответствующий заданному уровню $P(N)$ (остальные параметры общеизвестны).

В общем случае $v_{\sigma R} \neq V_{\sigma RK}$ и $s_{\lg N} \neq s_{\lg N_k}$, в связи с чем коэффициенты K_σ и K_N являются случайными величинами.

Учитывая переменность дисперсии $\lg N$ от уровня $\lg\sigma$, а также вариацию размеров и взаимного расположения областей рассеяния $\lg N$ для сравнительных испытаний, в области многоцикловой усталости переменными являются также медианные значения коэффициентов (1) и

(2), в связи с чем необходимо выявление функциональных связей между ними и N, σ с учетом P(N).

Для унификации расчетных процедур и приведения результатов разнотипных испытаний на усталость к единой форме оценки целесообразно использовать метод сравнения областей рассеяния lgN [3], заключающийся в совместном решении уравнений семейств кривых усталости, представленных для испытаний на воздухе наклонным и горизонтальным участками

$$\lg N=(\overline{\lg N}+z_p s_{\lg N})-(\overline{m}+z_p s_m)(\lg\sigma-\overline{\lg\sigma})=C-m\lg\sigma,\ N\le N_G \qquad (5)$$

$$\sigma_R=\overline{\sigma}_R(1+z_p v_{\sigma R}),\ N>N_G, \qquad (6)$$

а в коррозионных средах - в виде двух ломаных семейств кривых усталости вида (5) с точкой перелома $(\sigma_R,\ N_G)$ [4]. Указанный метод и упрощенный алгоритм расчета для разных случаев оценки сопротивления усталости ранее рассматривались в [5 -8].

Метод обладает определенной универсальностью и может быть использован для случаев, когда изучаемый процесс оценивается относительным коэффициентом, значения которого получаются с помощью параметров, являющихся результатом прямых или косвенных испытаний, следовательно, вероятностными или временными случайными функциями. В итоге, относительный коэффициент описывается параметрической зависимостью типа $K=f(\sigma,\ N,\ z_p,\dots)$.

Метод обладает и другим важным свойством: с его помощью можно с единых позиций производить учет разнородных факторов (упрочняющих или повреждающих), зачастую не поддающихся количественной оценке и описываемых только в эвристической форме.

В основе метода лежит принцип оценки общего характера действия этих факторов - их свойство вызывать изменение размеров и относительного расположения полей рассеяния lgN в области многоцикловой усталости, когда варьирует характеристический параметр фактора (температура, время, геометрические, технологические и эксплуатационные показатели и др.).

Структура коэффициентов (1), (2) указывает на преобладающее использование расчетов по критерию прочности. Однако при проектировании деталей и элементов конструкций, к которым предъявляются ограничения по сроку службы или обеспечению минимальной массы (авиа-, судо- и ракетостроение, морские и речные сооружения, транспортные средства и др.), основными являются расчеты на долговечность с обеспечением заданного уровня P(N). Поэтому учет влияния действующих факторов в этих расчетах целесообразно вести по коэффициентам относительной долговечности $K_{dN}, K_{N\sigma}, K_{FN}, K_{VN}, K_{k_\sigma N}$ и др., аналогичным по структуре с K_N. Кроме того, для кривых усталости с высокими показателями наклона $(m=15\cdots40)$, свойственных упрочненным деталям или второму наклонному участку при коррозионных испытаниях, незначительное изменение уровня напряжений σ (5...7 %) вызывает вариацию циклических долговечностей N на 1...2 порядка. Это не может

быть учтено структурой коэффициентов (1). Предлагаемые коэффициенты пригодны также для оценки чувствительности сталей к перегрузкам.

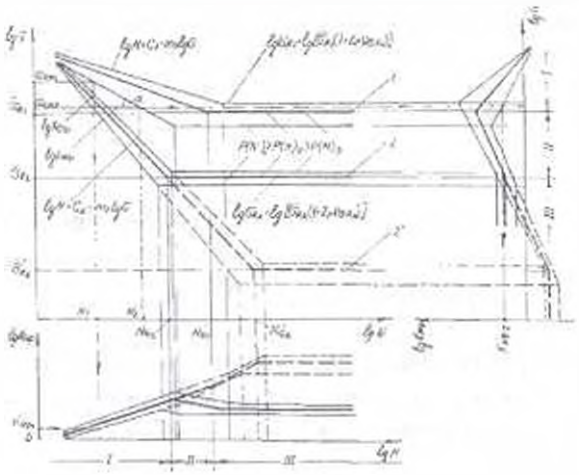


Рис. 1. К определению зависимостей $K_{\sigma\beta} = f_1(N, z_p)$ и $K_{N\beta} = \varphi_1(\sigma, z_p)$ (расчетная схема № 1): I-III зоны N и σ: 1, 2 и 2' - семейства квантильных кривых усталости деталей: исходной и с изучаемым фактором при $N_{G1} > N_{G2}$ и $N_{G1} < N'_{G2}$

Систематизация случаев взаимного расположения областей lgN приводит к следующим расчетным схемам для количественной оценки влияния:

- факторов при испытаниях на воздухе ("воздух-воздух", рис. 1);
- различных коррозионных сред ("воздух-среда", рис. 2);
- факторов при испытаниях в среде ("среда-среда", рис. 3).

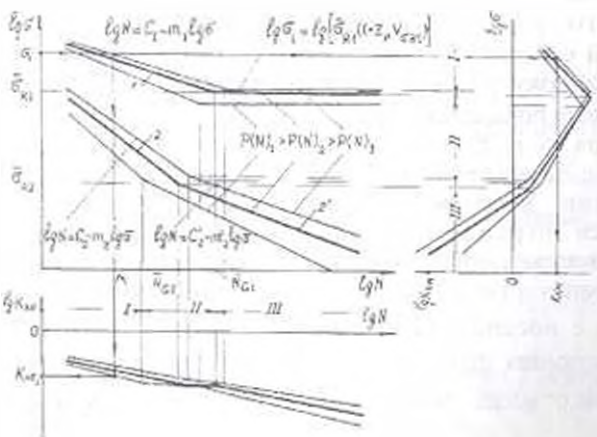


Рис. 2. К определению зависимостей $K_{\sigma\beta} = f_2(N, z_p)$ и $K_{KN} = \varphi_2(\sigma, z_p)$ (расчетная схема № 2): I-III зоны N и σ: 1, 2 и 2' - семейства квантильных кривых усталости деталей, испытанных на воздухе и в коррозионных средах при $N \geq N_{G2}$

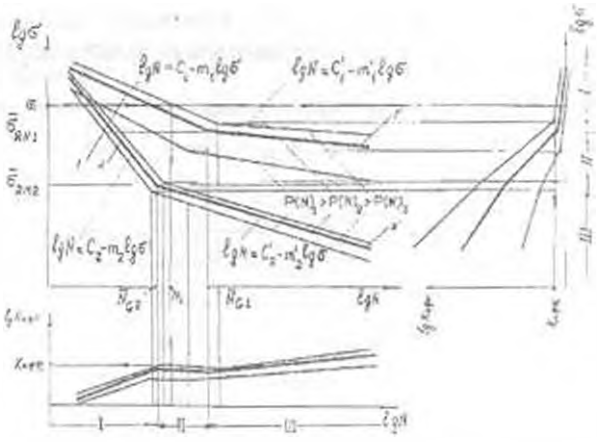


Рис. 3. К определению зависимостей $K_{k\phi\sigma} = f_3(N, z_p)$ и $K_{k\phi N} = \varphi_3(\sigma, z_p)$ (расчетная схема № 3); I-III зоны N и σ; 1, 1' и 2, 2' - семейства квантильных кривых усталости деталей: исходной и с изучаемым фактором при $N < N_{G1,2}$ и $N > N_{G1,2}$

Учитывая, что в общем случае ограниченные пределы выносливости для заданного уровня долговечностей равны $\lg\sigma_{RN} = (C/m1) - (1/m)\lg\sigma$, $N = \text{const}$, а циклические долговечности при за- данном уровне перенапряжений рассчитываются согласно $\lg N = C - m\lg\sigma$, $\sigma = \text{const}$, следовательно (рис.1), $\lg K_\sigma = \lg\sigma_{RN1} - \lg\sigma_{RN2}$ и $\lg K_N = \lg N_1 - \lg N_2$.

Совместным решением уравнений (5) и (6) для сравнительных испытаний получаем виды функции

$$K_{k\sigma},\ K_{\sigma k},\ K_{\sigma\sigma},\ K_{F\sigma},\ K_{v\sigma},\ K_{k\sigma} = f(N,\ z_p), \qquad (7)$$

$$K_{kN},\ K_{Nk},\ K_{N\sigma},\ K_{FN},\ K_{vN},\ K_{kN} = \varphi(\sigma,\ z_p). \qquad (8)$$

Наметим зоны долговечностей и напряжений, в пределах которых согласно построениям на рис. 1-3 вид функций (7), (8) остается неизменным:

$$\begin{aligned}
&\text{I} - N < N_{G\phi} \quad (N < N_G), \qquad \sigma > \sigma_{R\phi} \quad (\sigma > \sigma_R),\\
&\text{II} - N_{G\phi} \le N \le N_G \ (N_G \le N \le N_{G\phi}),\ \sigma_{R\phi} \ge \sigma \ge \sigma_R \ (\sigma_R \ge \sigma \ge \sigma_{R\phi}), \qquad (9)\\
&\text{III} - N > N_G \quad (N > N_{G\phi}), \qquad \sigma < \sigma_R \quad (\sigma < \sigma_{R\phi}).
\end{aligned}$$

Учитывая структуру коэффициентов (7) и (8), взаимное расположение семейств квантильных кривых усталости, а также неравенства $N_G \gtrless N_{G\phi}$, $\sigma_R \gtrless N_{R\phi}$, для расчетных схем № 1 и 3 возможны четыре, а для № 2 - два варианта расчетных процедур (здесь и далее параметры с индексом "ф" относятся к изучаемому фактору). Графическая интерпретация расчетных процедур представлена на рис. 1-3, а вид функций (7), (8) - в таблице.

Таблица

Зависимости $K_{\sigma\phi}$, $K_{k\sigma}$, $K_{k\phi\sigma} = f_{1,2,3}(N, z_p)$ *и* $K_{N\phi}$, K_{kN}, $K_{k\phi N} = \varphi_{1,2,3}(\sigma, z_p)$

Зоны № п		Расчетные схемы		
		№ 1	№ 2	№ 3
N	1.	$\lg K_{\sigma\phi} = S_1 - M_1 \lg N$	$\lg K_{k\sigma} = S_1 - M_1 \lg N$	$\lg K_{k\phi\sigma} = S_1 - M_1 \lg N$
	2.	$\lg K_{\sigma\phi} = S_2 - M_2 \lg N$	$\lg K_{k\sigma} = S_1' - M_1' \lg N$	$\lg K_{k\phi\sigma} = S_1' - M_1' \lg N$
		$(\lg K_{\sigma\phi} = S_2' + M_2' \lg N)$	$(\lg K_{k\sigma} = S_{11} - M_{11} \lg N)$	$(\lg K_{k\phi\sigma} = S_{11}' - M_{11}' \lg N)$
	3.	$\lg K_{\sigma\phi} =$ $= S_1 - \Delta(\lg N_G / m) = \text{const}$	$\lg K_{k\sigma} = S_1'' - M_1'' \lg N$	$\lg K_{k\phi\sigma} = S_1'' - M_1'' \lg N$
σ	1.	$\lg K_{N\phi} = \Delta C_1 - \Delta m \lg\sigma$	$\lg K_{kN} = \Delta C_1 - \Delta m \lg\sigma$	$\lg K_{k\phi N} = \Delta C_1 - \Delta m \lg\sigma$
	2.	$\lg K_{N\phi} = \Delta C_2 - m_{-\phi} \lg\sigma$	$\lg K_{kN} = \Delta C_2 - m_{\phi} \lg\sigma$	$\lg K_{k\phi N} = \Delta C_{11}' - \Delta m \lg\sigma$
	3.	$\lg K_{N\phi} =$ $= \Delta C_2 - \Delta(m \lg\sigma_R) = \text{const}$	$\lg K_{kN} = \Delta C_2' - m_{\phi}' \lg\sigma$	$\lg K_{k\phi N} = \Delta C_1'' - \Delta m'' \lg\sigma$

$$S_1 = \pm(C/m - C_\phi/m_\phi),\ S_1' = \pm(C/m - C_\phi'/m_\phi'),\ S_{11}' = (C'/m' - C_\phi/m_\phi),$$

$$S_1'' = \pm(C'/m' - C_\phi'/m_\phi'),\ S_2 = S_1 + (\lg N_{G\phi,G}/m_{\phi,-}),$$

$$S_2' = S_1' + (\lg N_{G,G\phi}/m_{-\phi}).$$

$$M_1 = \pm(1/m - 1/m_\phi),\ M_1' = \pm(1/m - 1/m_\phi'),\ M_{11}' = \pm(1/m' - 1/m_\phi),$$

$$M_1'' = \pm(1/m' - 1/m_\phi'),\ M_2 = 1/m_{-\phi},\ M_2' = 1/m_{\phi,-},\ M_2'' = 1/m_\phi.$$

$$\Delta(\lg N_{G/m}) = \pm[(\lg N_G)/m - (\lg N_{G\phi})/m_\phi],$$

$$\Delta C_1 = \pm(C - C_\phi),\ \Delta C_1' = -(C - C_\phi'),\ \Delta C_{11}' = \pm(C' - C_\phi).$$

$$\Delta C_1'' = \pm(C' - C_\phi'),\ \Delta C_2 = \Delta C_1 - m_{-\phi} \lg\sigma_{R,R\phi},\ \Delta C_2' = \Delta C_1' + m \lg\sigma_R.$$

$$\Delta m = \pm(m - m_\phi),\ \Delta m' = \pm(m' - m_\phi),\ \Delta m'' = \pm(m' - m_\phi'),$$

$$\Delta(m \lg\sigma_R) = \pm(m_\phi \lg\sigma_{R\phi} - m \lg\sigma_R).$$

Примечания: 1. Знаки "±" и двойная индексация параметров соответствуют случаям $\sigma_{RN} \gtrless \sigma_{RN\phi}$.

2. Указаны случаи, когда $N_{G\phi} > N_G$.

Сравнительная простота расчетных процедур и удобная систематизация возможных вариантов позволили разработать следующий вычислительный алгоритм.

Выбирают расчетную схему, вводят двумерные "массивы" результатов испытаний (σ_i; N_i) и значения $\bar{\sigma}_{R1}$, $\bar{\sigma}_{R2}$, $v_{\sigma R1}$, $v_{\sigma R2}$. Составляют корреляционные таблицы (для расчетной схемы № 1 - две, № 2 - три, а № 3 - четыре) и определяют статистики уравнения (5) для наклонных участков: $\overline{\lg N}$, $\overline{\lg\sigma}$, s_m, $s_{\lg N}$, r, $\bar{m}$ и $\bar{C}$. Проверяют значимость выборочных коэффициентов корреляции (при $n<50$ - по критерия Фишера, а при $n>50$ - по критерию Стьюдента [9]):

$$|u| \geq z_{(1-\alpha/2)} \cdot s_u,\quad u = \ln[(1+r)/(1-r)]/2 + (n-1)r/2,\quad s_u = \sqrt{1/(u-3)}, \qquad (10)$$

$$t_r = |r|\sqrt{(n-2)/(1-r^2)} \geq t_{\alpha,k} \qquad (11)$$

и параметров уравнения (5) (по критерию Стьюдента [9]):

$$t_N = \overline{\lg N}/s_{\lg N} \geq t_{\alpha,k},\quad t_m = \bar{m}/s_m \geq t_{\alpha,k},\quad t_c = \bar{C}/S_c \geq t_{\alpha,k}. \qquad (12)$$

При удовлетворении условий (10) - (12) вычисляют 90%-е доверительные границы этих параметров. Определяют параметры и координаты точек перелома квантильных кривых усталости (5), (6) C, m, $G(N_G; \sigma_R)$ при z_p =1,28, 0, -1,28, -2,33 и -3,09 (P(N)=0,1, 0,5, 0,9, 0,99 и 0,999). Проверяют условие $N_{G1} \gtrless N_{G2}$, $\sigma_{R1} \gtrless \sigma_{R2}$ и уточняют код одного из 10 вариантов расчетов для определения параметров функций (7), (8). Для графического построения функций (7), (8) и их использования в расчетах выводятся на печать:

а) для схемы № 1 — значения коэффициентов (7) при $N=10^5$, 10^6 и коэффициентов (8) при 1,25 σ_{R2}, σ_{R1}, σ_{R2};

б) для схем № 2 и 3 — значения коэффициентов (7) при $N=10^5$, 10^6, N_{G1}, N_{G2}, 10^7, 10^8 и коэффициентов (8) при $\sigma = 1.25\sigma_{R1}$, σ_{R1}, σ_{R2}, $0,75\sigma_{R2}$.

Структура и композиционное построение комплексной вычислительной программы SMJT (Turbo Basic, система ДОС, ПЭВМ IBM PC) [10], составленной для выполнения указанных расчетных процедур, позволяют также использовать ее фрагменты в качестве самостоятельных программ для обработки результатов испытаний на усталость и трещиностойкость, а также в полном объеме реализовать двумерные статистические задачи корреляционного и регрессионного анализа.

Предложенный метод и программа SMJT позволяют в реальном диапазоне N и σ вести системный анализ и количественный учет влияния разнородных по характеру воздействия факторов, группируя их по степени повреждающего или упрочняющего эффекта, который в конечном итоге интегрально проявляется в изменении расположения семейств квантильных кривых усталости для сравнительных испытаний. Доступность расчетного алгоритма и применение в нем общеизвестных статистических параметров двумерной задачи облегчают его применение в уточненных расчетах на прочность и долговечность с использованием вероятностных значений показателей сопротивления усталости и трещиностойкости. Метод пригоден также для сравнительного анализа и выбора оптимальных конструкторских,

технологических и эксплуатационных параметров с целью повышения сопротивления усталости и трещиностойкости ответственных и тяжелонагруженных деталей машин.

(Работа выполнена в рамках финансируемой госбюджетной научной темы РА № 96-362).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П.** Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. - 224 с.
2. **Трощенко В.Т., Сосновский Л.А.** Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справочник. В 2 ч. - Киев: Наукова думка, 1987. - Ч. 1. - 505 с.; Ч. 2. - 1018 с.
3. **Стакян М.Г., Гаспарян С.А., Мак С.Л.** К оценке эффекта концентрации напряжений при стационарном режиме нагружения // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1973. - Т. 26, № 4. - С. 21-28.
4. **Стакян М.Г., Манукян Г.А.** Об уравнении кривой коррозионной усталости конструкционных сталей // ФХММ. - 1990. - Т. 26, № 5. - С. 57-60.
5. **Олейник Н.В., Безер В.В., Стакян М.Г.** Исследование эффекта упрочнения термообработанных сталей // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1976. - Т. 20, № 2. - С. 26-34.
6. **Стакян М.Г., Исаханян Н.С.** Исследование сопротивления усталости шпоночных соединений // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1983. - Т. 36, № 6. - С. 9-16.
7. **Стакян М.Г., Манукян Г.А.** Об одном методе расчетной оценки сопротивления коррозионной усталости валов // Изв. вузов. Машиностроение. - 1990. - № 4. - С. 11-16.
8. **Стакян М.Г., Оганесян Л.Г., Мнацаканян А.С.** Расчетная оценка сопротивления усталости гладких валов при совместном изгибе и кручении // Надежность и долговечность машин и сооружений: Сб. ст. - Киев: Наукова думка, 1992. - Вып. 21. - С. 55-61.
9. **Степнов М.Н.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. - 231 с.
10. **Стакян М.Г., Джрбашян Т.Э., Мнацаканян А.С.** Вероятностные методы расчета относительной прочности и долговечности деталей машин // Алгоритмы и программы: Инф. бюл. Всероссийского науч.-тех. инф. центра. - 1992. - № 3-6. - С. 9

ГИУА 10.09.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. I., № 1, 1997, с. 10-14.

УДК 621.791 МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.М. АРЗУМАНЯН, З.А. МИНАСЯН, А.Ю. АГУЗУМЦЯН

РАСЧЕТ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР В ЗОНЕ КОНТАКТА ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Բերված է լեռնային ապարների հարթ հղկման ժամանակ տեղական ջերմաստիճանների հաշվարկի մեթոդիկան հիմնվելով ջերմահաղորդականության դիֆերենցիալ հավասարումների վրա, գրված հպման մեջ գտնվող մարմիններից յուրաքանչյուրի համար: Տեղական ջերմաստիճանները հնարավորություն են ընձեռում որոշելու վտանգավոր հատվածքների տեղադիրքը և դրանց հիման վրա գնահատել հղկման ունակությունը

Приводится методика расчета локальных температур при плоском шлифовании горных пород, основанная на дифференциальных уравнениях теплопроводности, записанных в отдельности для каждого из контактирующих тел. Локальные температуры позволяют выявить местоположение опасных сечений и на их основе управлять режимами шлифования.
Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

A method of local temperature calculation in rock surface grinding is given. This method is based on differential equations for the conduction of heat written separately for each of the contacting bodies. Local temperatures permit to reveal the location of dangerous sections and to control grinding conditions.
Ill. 2. Ref. 3.

Плоское шлифование горных пород осуществляется в их сравнительно тонких поверхностных слоях, что приводит к возникновению высоких механических и тепловых нагрузок, вызывающих иногда трещины и даже прижоги на обработанных поверхностях.

Значениями температур в зоне контакта с породой, полученных экспериментально с помощью закладных термопар, можно пользоваться лишь для описания явлений, происходящих в сравнительно больших объемах обрабатываемых горных пород, например, для определения средних термических деформации породы или для средней оценки качества обработанной поверхности. Оценивать более тонкие явления, происходящие в зоне контакта круга и породы, например, опасность возникновения трещин и местных прижогов на поверхности породы, можно, ориентируясь только на значения локальных температур.

В данной работе ставится задача расчета локальных температур в круге и горной породе при ее плоском шлифовании.

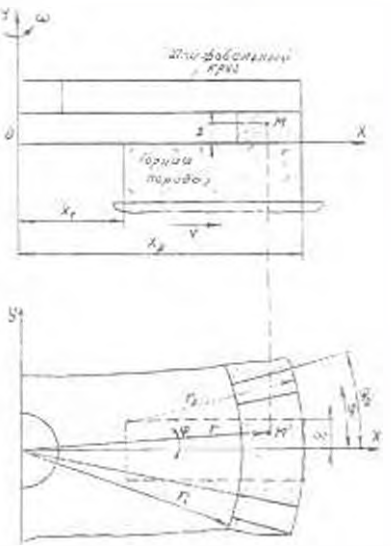


Рис. 1. Схема процесса плоского шлифования горных пород

Уравнения теплопроводности [1] для движущихся шлифовального круга и горной породы при установившемся тепловом режиме запишем в неподвижной системе координат, что сразу же упрощает граничные условия

и позволяет выявить специфические особенности шлифования, связанные со скоростями движения. Для шлифовального круга, вращающегося с угловой скоростью ω, имеем

$$\frac{\partial\theta_1}{\partial y}\omega = a_1\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\theta_1}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\right). \qquad (1)$$

Для обрабатываемой горной породы, движущейся со скоростью V вдоль оси Ox, имеем

$$\frac{\partial\theta}{\partial x}V = a_2\left(\frac{\partial^2\theta_2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta_2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\theta_2}{\partial z^2}\right), \qquad (2)$$

где a — коэффициент теплопроводности; r,φ,x,y,z — переменные координаты; θ — температура; 1, 2 — индексы круга и обрабатываемой горной породы соответственно.

На рис. 1 показаны схема процесса плоского шлифования и расположение осей координат.

Составим граничные условия для рассматриваемой задачи. Исходя из условия равенства теплового баланса, в каждой контактной точке между кругом и обрабатываемой горной породой можно записать

$$\left[\lambda_1\frac{\partial\theta_1}{\partial z}+\lambda_2\frac{\partial\theta_2}{\partial z}+(mc_1+\lambda_k)\theta_k\right]=q_0, \qquad (3)$$

где для шлифовального круга:

$$z=0;\ 0\le\varphi\le\pm\varphi_1;\ r_1\le r\le r_2,$$

для горной породы:

$$z=0;\ x_1\le x\le x_2;\ 0\le y\le\pm y_1,$$

λ — коэффициент теплопроводности; m — масса удаляемых отходов, определяемая по глубине резания t и плотности горной породы ρ_1; C — теплоемкость горной породы; α_k — коэффициент теплопередачи между контактной зоной и охлаждающе-смазывающей средой, определяемый по критериальным уравнениям теории подобия [1]; θ_k — температура на поверхности контакта между шлифовальным кругом и обрабатываемой горной породой; $q_0 = P_z V_1 / F_k$ — удельный тепловой поток; P_z — тангенциальная составляющая силы резания, определяемая в зависимости от режимов резания [2]; F_k — поверхность контакта; $V_1 = \omega r_1$ — линейная скорость вращения шлифовального круга.

Исходя из условия отсутствия температурного скачка в каждой контактной точке между кругом и обрабатываемой горной породой, можно записать

$$\theta_1=\theta_2=\theta_k. \qquad (4)$$

где для шлифовального круга: $z=0;\ 0\le\varphi\le\pm\varphi_1;\ r_1\le r\le r_2$, для горной породы: $z=0;\ x_1\le x\le x_2;\ 0\le y\le\pm y_1$.

Граничные условия во внеконтактной зоне записываются раздельно для шлифовального круга и обрабатываемой горной породы, как условия усиленной теплоотдачи между поверхностями круга и породы с окружающей средой:

$$\lambda_{x_1}\left(\frac{\partial\theta_1}{\partial z}\right)_{\substack{z=0\\ \pm\varphi_1\le\varphi\le\pm\varphi_2}} = \alpha_1(\theta_1-\theta_0). \qquad (5)$$

$$\lambda_{x_2}\left(\frac{\partial\theta_2}{\partial z}\right)_{\substack{z=l\\ \pm m\ge y\ge\pm y_1\\ 0\le x\le x_2}} = \alpha_2(\theta_2-\theta_0). \qquad (6)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплопередачи: θ_0 – температура окружающей среды.

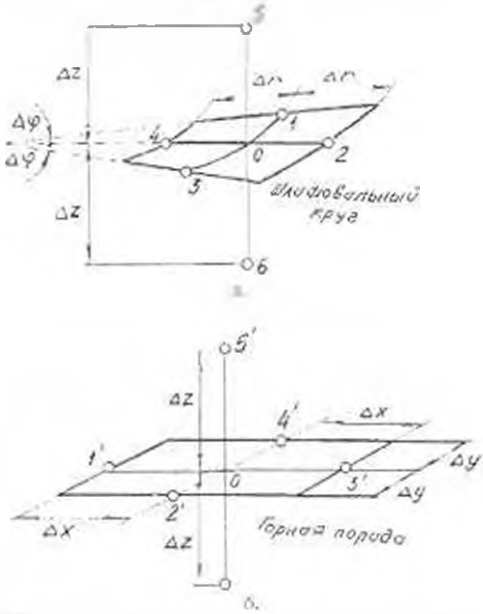


Рис. 2. Ячейки сеток, используемых для разностной аппроксимации

И, наконец, на достаточно большом расстоянии от зоны контакта шлифовальный круг и обрабатываемая горная порода должны иметь температуру, равную температуре окружающей среды:

$$\left(\partial\theta_1/\partial z\right)_{z\to\infty} = 0 \text{ и } \theta_1 = \theta_0. \qquad (7)$$

$$\left(\partial\theta_2/\partial z\right)_{z\to\infty} = 0 \text{ и } \theta_2 = \theta_0 \qquad (8)$$

Заменой дифференциальных операторов системы уравнений (1)-(2) и граничных условий (3)-(8) разностными операторами [3] получим ее дискретный аналог, который представляет собой системы неявных конечно-разностных уравнений. На рис. 2 показаны ячейки сеток в круге (а) и обрабатываемой породе (б), используемые для разностной аппроксимации.

Система конечно-разностных уравнений решалась методом прогонки [3]. Метод численного интегрирования дифференциальных уравнений теплопроводности запрограммирован на алгоритмическом языке PL-1 для ЭВМ ЕС-1045. В результате проведенных расчетов получены значения локальных температур во всех точках как шлифовального круга, так и обрабатываемой горной породы, включая контактную и внеконтактную зоны.

Таким образом, локальные температуры позволяют выявить местоположения опасных сечений и тем самым, управляя режимами шлифования, повысить качество обрабатываемых поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Юдаев Б.Н.** Теплопередача. - М.: Высшая школа, 1991. - 319 с.
2. **Симонян Ф.Г., Варданян А.К.** Аналитический расчет сил резания при шлифовании // Труды института камня и силикатов. - Ереван, 1982. - С. 51-55.
3. **Самарский А.А.** Теория разностных схем. - М.: Наука, 1977. - 656 с.

Гюмрийский ф-л ГИУА

21.06.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. I., № 1, 1997, с. 14 - 17.

УДК 621.38:338

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.Г. ШАГОЯН

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Հիմնական պայման հաջողությունն է, որն արտահայտում է վերջնական ֆինանսական արդյունքը: Հրատապ է դարձնում տնտեսամաթեմատիկական մոդելավորման կիրառումը: Վերլուծվում է հանրապետության մեքենաշինական ձեռնարկությունների գործունեության վերլուծությունը:

Основным условием благополучного функционирования машиностроительных предприятий в настоящее время является достижение рентабельности, как выражения конечного финансового результата. Для выявления объективной картины влияния на этот обобщающий показатель прочих технико-экономических показателей и возможности эффективного его планирования целесообразно применение экономико-математического моделирования. Среди различных направлений развития аналитических систем на предприятиях машиностроения наиболее доступен и практически легко реализуем факторный анализ. Приводится решение указанной задачи для одного из предприятий машиностроения республики.

Табл. 1. Библиогр. 2 назв.

The basic condition of favourable functioning of mechanical engineering enterprises is at present the achievement of rentability as an expression for an end finance result. To reveal an objective pattern of the influence on this generalized index for other technical and economical indices and the possibility of its effective planning, it is advisable to apply economical and mathematical simulation. Among various trends of analytical system development the factor analysis is the most available and practically easily realized in mechanical engineering enterprises. The solution of this problem is given for one of the mechanical engineering enterprises of the Republic.

Table 1. Ref. 2.

Рентабельность фирм машиностроения, как и остальных фирм, при рыночных отношениях является основным условием их существования. Будучи выражением конечного финансового результата деятельности предприятия, она указывает на его возможности: во-первых, удовлетворить требованиям финансистов по оплате процентов, во-вторых, обеспечить воспроизводственный процесс. То есть, проблема рентабельности машиностроительного предприятия в современных условиях состоит в организации производственной деятельности таким образом, чтобы разница между доходами и расходами прежде всего отвечала бы требованиям финансового рынка. Только при этом условии предприятие сможет продолжить свою деятельность [1].

При этом в течение всего производственного цикла необходимо иметь постоянную объективную картину влияния на показатель рентабельности прочих показателей деятельности предприятия.

Среди различных направлений развития аналитических систем на предприятиях машиностроения наиболее доступен и практически легко реализуем факторный анализ. В основе этого направления лежит идея количественной увязки показателей планирования с факторами, влияющими на их уровень [2].

Решение этой задачи может быть осуществлено различными методами, среди которых наиболее предпочтительными являются методы экономико-статистического моделирования. С их помощью можно без особого труда систематизировать исходный статистический материал, который будет отражать как случайные элементы, так и детерминированные составляющие производства. Таким образом, исходная информация, используемая в этом методе моделирования, будет выразителем действительных ситуаций производства. Все дальнейшие операции, связанные с расчетом уравнения связи, позволят в этом множестве фактических событий отыскать и сформировать определенные производственные тенденции и оценить их устойчивость.

Этот подход реализован нами при составлении статистической модели рентабельности на одном из предприятий машиностроения РА.

Было исследовано влияние основных технико-экономических показателей хозяйственной деятельности на рентабельность предприятия. В многофакторном уравнении связи $Y = a_0 + a_1 X_1 + \cdots + a_n X_n$ фактор-аргументами являются: X_1 – прибыль от реализации; X_2 – среднегодовая стоимость основных производственных фондов; X_3 – стоимость оборотных средств; X_4 – реализация; X_5 – производительность труда ППП; X_6 – себестоимость выпускаемой продукции; X_7 – численность ППП; X_8 – товарная продукция.

Для формирования массива исходной информации данные взяты в квартальном разрезе. Это позволяет сохранить необходимую пропорцию между числом наблюдений и количеством факторов в целях обеспечения корректных результатов.

При реализации задачи получены следующие основные и дополнительные статистические коэффициенты: R – множественной корреляции; a_{xi} – регрессии в уравнении связи; K_{xi} – парной корреляции между фактор-аргументами и функцией; V_{xi} – вариации; $Э_{xi}$ – эластичности; β_i – силы влияния i-го фактора на функцию.

В таблице приведены полученные характеристики связи рентабельности.

Таблица

Характеристики связи рентабельности

Факторы	Характеристики				
	a_{xi}	K_{xi}	V_{xi}	β_{xi}	$Э_{xi}$
X_1	0,003000	0,98	50,34	0.780	0.91
X_2	-0,000013	-0,81	15.44	-0,106	-0,41
X_3	-0,000021	-0,79	32,43	-0.108	-0.20
X_4	-0,000001	0,13	28,10	-0,020	-0,004
X_5	0,000076	0,20	21,21	0,150	0,45
X_6	0,000006	0,12	33,78	0,017	0,30
X_7	-0,000173	-0,64	2,63	-0,030	-0,66
X_8	-0,000038	0,14	27,62	-0.100	0,22

$i = 1,2,\cdots,8,\ R = 0,99876,\ a_0 = 1,52$.

При этом (табл.) наибольшее воздействие на рентабельность оказала прибыль ($\beta_1 = 0,78\%$). Соответствующий коэффициент эластичности равен $Э_1 = 0,91\%$. Это означает, что в рассматриваемый период однопроцентному росту прибыли соответствовал 0,91%-ый рост рентабельности.

Отрицательное воздействие на рентабельность оказал рост стоимости основных фондов (X_2) и оборотных средств (X_1). Однопроцентный рост стоимости основных фондов снизил рентабельность на 0,4 %, а оборотных средств - на 0.2%. Сила отрицательного влияния обоих факторов на рентабельность была приблизительно одинаковой ($\beta_2 = -0,106\%,\ \beta_1 = -0,108$).

На первый взгляд, полученные данные по показателям реализации (X_4) и товарной продукции (X_8) достаточно нетипичны. По логике вещей они должны были влиять на рентабельность положительным образом, на что указывают также результаты парной корреляции ($K_4 = 0,14\%,\ K_8 = 0,14$). Однако при совокупном воздействии всех факторов указанные два фактора не смогли возыметь положительного влияния на рентабельность. Данный факт в первую очередь обусловлен опережающим ростом стоимости основных фондов и оборотных средств. Из таблицы видно, что показатель производительности труда явился вторым после прибыли по силе положительного воздействия на рентабельность ($\beta_5 = 0,15\%$).

Незначительным было влияние колебаний численности промышленно-производственного персонала (X_7) на рентабельность ($\beta_7 = -0,03\%$). Увеличение численности ППП на 100 человек сократило рентабельность на 0,02 %. Из подобного результата следует, что непрерывное увеличение численности рабочих и служащих на рассматриваемом предприятии не было

оправдано с точки зрения повышения эффективности хозяйственной деятельности.

В целом данные, полученные в таблице, свидетельствуют о том, что стабильность влияния исследуемых факторов на рентабельность весьма неодинакова. Там, где сила влияния невысока, это означает, что выявленные и отраженные в множественном уравнении связи зависимости могут квалифицироваться не в качестве установившихся тенденций, а как соотношения, присущие данному периоду времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лисичкин В.К.** Рентабельность: зарубежный опыт // Бухгалтерский учет. - 1992. - №3. С. 27-31.
2. **Ефимова М.Р.** Статистические методы в управлении производством. - М.: Финансы и статистика, 1988. - 151 с.

ГИУА 28.08.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1., № 1, 1997, с. 17- 24.

УДК 621.311.1.001.24 ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, Г.А. БАДАЛЯН

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Առաջարկվում է հանգուցային հոսանքի զգայնությունը նվազեցնելու համալիր դիմադրության փոփոխման նկատմամբ հաշվելու նոր մեթոդ: Համատեղելով Թելեջենի տեսությունը տրոհման սկզբունքի հետ՝ ծագում են էլեկտրաէներգետիկական բնույթ կրող խնդիրների լուծման նոր հնարավորություններ:

Предлагается новый метод расчета чувствительности узловых комплексных токов относительно изменения предельных комплексных сопротивлений. Сочетание теории Телледжена с идеей декомпозиции открывает новые возможности для решения задач из области электроэнергетики.
Библиогр.: 6 назв.

A new method of nodal complex current sensitivity calculation relative to ultimate complex resistance changes is proposed. The combination of Tellegen's theory with the idea of decomposition opens up new possibilities for electrical power engineering problem solving.
Ref. 6.

При коррекции установившегося режима электроэнергетических систем (ЭЭС) требуется определить чувствительность узловых комплексных токов относительно изменения продольных и поперечных комплексных сопротивлений.

В настоящей работе рассматривается чувствительность относительно продольных комплексных сопротивлений. Предложенный метод определения указанной чувствительности основывается на теореме Телледжена, которая в последние годы широко применяется для решения задач из области ЭЭС [1-4].

В работе впервые сочетается идея декомпозиции с теорией Телледжена при решении задачи чувствительности. Если рассматриваемая ЭЭС представляется как совокупность n подсистем, каждая из которых состоит соответственно из $N_1, N_2, \cdots, N_n$ ветвей, для двух топологично идентичных схем можно написать следующие выражения:

$$\begin{cases} \sum_{b_1}^{N_1} \dot{U}_{b_1} \dot{I}^{c}_{b_1} + \sum_{b_2}^{N_2} \dot{U}_{b_2} \dot{I}^{c}_{b_2} + \cdots + \sum_{b_n}^{N_n} \dot{U}_{b_n} \dot{I}^{c}_{b_n} = 0; \\ \sum_{b_1}^{N_1} \dot{U}^{c}_{b_1} \dot{I}_{b_1} + \sum_{b_2}^{N_2} \dot{U}^{c}_{b_2} \dot{I}_{b_2} + \cdots + \sum_{b_n}^{N_n} \dot{U}^{c}_{b_n} \dot{I}_{b_1} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Если схема имеет внешние ветви, относительно которых принимается система индексов $i = (i_1, i_2, \cdots, i_n)$, то (1) и (2) необходимо представить в виде

$$\begin{cases} \sum_{i_1} \dot{U}_{i_1} \dot{I}^{c}_{i_1} + \sum_{b_2} \dot{U}_{b_2} \dot{I}^{c}_{b_2} + \cdots + \sum_{i_n} \dot{U}_{i_n} \dot{I}^{c}_{i_n} + \sum_{b_n} \dot{U}_{b_n} \dot{I}^{c}_{b_n} = 0; \\ \sum_{i_1} \dot{U}^{c}_{i_1} \dot{I}_{i_1} + \sum_{b_2} \dot{U}^{c}_{b_2} \dot{I}_{b_2} + \cdots + \sum_{i_n} \dot{U}^{c}_{i_n} \dot{I}_{i_n} + \sum_{b_n} \dot{U}^{c}_{b_n} \dot{I}_{b_n} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку речь идет об определении чувствительности, то необходимо установить зависимость типа

$$\Delta \dot{I} = \Delta \dot{I}(\Delta Z). \quad (3)$$

Предположим, что изменяются по величине продольные комплексные сопротивления, тогда соответственно изменяются также узловые комплексные напряжения и токи, и для α-сопряженной системы можем написать:

$$\begin{cases} \sum_{b_1} \dot{U}'_{b_1} \dot{I}^{\alpha}_{b_1} + \sum_{b_2} \dot{U}'_{b_2} \dot{I}^{\alpha}_{b_2} + \cdots + \sum_{i_n} \dot{U}'_{i_n} \dot{I}^{\alpha}_{i_n} + \sum_{b_n} \dot{U}'_{b_n} \dot{I}^{\alpha}_{b_n} = 0; \\ \sum_{i_1} \dot{U}^{\alpha}_{i_1} \dot{I}'_{i_1} + \sum_{b_2} \dot{U}^{\alpha}_{b_2} \dot{I}'_{b_2} + \cdots + \sum_{i_n} \dot{U}^{\alpha}_{i_n} \dot{I}'_{i_n} + \sum_{b_n} \dot{U}^{\alpha}_{b_n} \dot{I}'_{b_n} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

При этом новые значения узловых комплексных напряжений и токов определяются в виде

$$\begin{cases} \dot{U}'_{i_1} = \dot{U}_{i_1} + \Delta \dot{U}_{i_1}, \cdots, \dot{U}'_{i_n} = \dot{U}_{i_n} + \Delta \dot{U}_{i_n}; \\ \dot{U}'_{b_1} = \dot{U}_{b_1} + \Delta \dot{U}_{b_1}, \cdots, \dot{U}'_{b_n} = \dot{U}_{b_n} + \Delta \dot{U}_{b_n}; \\ \dot{I}'_{i_1} = \dot{I}_{i_1} + \Delta \dot{I}_{i_1}, \cdots, \dot{I}'_{i_n} = \dot{I}_{i_n} + \Delta \dot{I}_{i_n}; \\ \dot{I}'_{b_1} = \dot{I}_{b_1} + \Delta \dot{I}_{b_1}, \cdots, \dot{I}'_{b_n} = \dot{I}_{b_n} + \Delta \dot{I}_{b_n}. \end{cases} \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим

$$\begin{cases} \sum_{i_1} \Delta\dot{U}_{i_1} \dot{I}^{\alpha}_{i_1} + \sum_{b_1} \Delta\dot{U}_{b_1} \dot{I}^{\alpha}_{b_1} + \cdots + \sum_{i_n} \Delta\dot{U}_{i_n} \dot{I}^{\alpha}_{i_n} + \sum_{b_n} \Delta\dot{U}_{b_n} \dot{I}^{\alpha}_{b_n} = 0; \\ \sum_{i_1} \dot{U}^{\alpha}_{i_1} \Delta\dot{I}_{i_1} + \sum_{b_1} \dot{U}^{\alpha}_{b_1} \Delta\dot{I}_{b_1} + \cdots + \sum_{i_n} \dot{U}^{\alpha}_{i_n} \Delta\dot{I}_{i_n} - \sum_{b_n} \dot{U}^{\alpha}_{b_n} \Delta\dot{I}_{b_n} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Аналогично (6), можем написать выражения для комплексно-сопряженных напряжений и токов:

$$\begin{cases} \sum_{i_1} \Delta\dot{U}_{i_1} \dot{I}^{\alpha}_{i_1} + \sum_{b_1} \Delta\dot{U}_{b_1} \dot{I}^{\alpha}_{b_1} + \cdots + \sum_{i_n} \Delta\dot{U}_{i_n} \dot{I}^{\alpha}_{i_n} + \sum_{b_n} \Delta\dot{U}_{b_n} \dot{I}^{\alpha}_{b_n} = 0; \\ \sum_{i_1} \dot{U}^{\alpha}_{i_1} \Delta\dot{I}_{i_1} + \sum_{b_1} \dot{U}^{\alpha}_{b_1} \Delta\dot{I}_{b_1} + \cdots + \sum_{i_n} \dot{U}^{\alpha}_{i_n} \Delta\dot{I}_{i_n} + \sum_{b_n} \dot{U}^{\alpha}_{b_n} \Delta\dot{I}_{b_n} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Представим уравнения продольных ветвей следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{b_1} &= Z_{b_1} \dot{I}_{b_1}; \\ &\cdots\cdots\cdots \\ \dot{U}_{b_n} &= Z_{b_n} \dot{I}_{b_n}. \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнения (8) в приращениях можно представить в виде

$$\begin{cases} \dot{U}_{b_1} + \Delta\dot{U}_{b_1} = (Z_{b_1} + \Delta Z_{b_1})(\dot{I}_{b_1} + \Delta\dot{I}_{b_1}); \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \dot{U}_{b_n} + \Delta\dot{U}_{b_n} = (Z_{b_n} + \Delta Z_{b_n})(\dot{I}_{b_n} + \Delta\dot{I}_{b_n}). \end{cases} \quad (9)$$

Пренебрегая малыми величинами второго порядка, получим

$$\begin{cases} \Delta\dot{U}_{b_1} = Z_{b_1} \Delta\dot{I}_{b_1} + \Delta Z_{b_1} \dot{I}_{b_1}; \\ \Delta\dot{U}_{b_n} = Z_{b_n} \Delta\dot{I}_{b_n} + \Delta Z_{b_n} \dot{I}_{b_n}. \end{cases} \quad (10)$$

Аналогичные выражения можем написать относительно комплексно-сопряженных величин:

$$\begin{cases} \Delta\hat{U}_{b_1} = \hat{Z}_{b_1} \Delta\hat{I}_{b_1} + \Delta\hat{Z}_{b_1} \hat{I}_{b_1}; \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \Delta\hat{U}_{b_n} = \hat{Z}_{b_n} \Delta\hat{I}_{b_n} + \Delta\hat{Z}_{b_n} \hat{I}_{b_n}. \end{cases} \quad (11)$$

Пользуясь выражениями комплексных узловых мощностей отдельных подсистем, можем установить также следующие соотношения:

$$\begin{cases} \Delta\dot{U}_{i_1} = -\dfrac{\dot{U}_{i_1}}{\hat{I}_{i_1}} \cdot \Delta\hat{I}_{i_1}; \\ \cdots\cdots\cdots \\ \Delta\dot{U}_{i_n} = -\dfrac{\dot{U}_{i_n}}{\hat{I}_{i_n}} \cdot \Delta\hat{I}_{i_n} \end{cases} \quad (12)$$

Для комплексно-сопряженных величин получим

$$\begin{cases} \Delta\hat{U}_{i_1} = -\dfrac{\hat{U}_{i_1}}{\hat{I}_{i_1}}\Delta I_{i_1}; \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \Delta\hat{U}_{i_n} = -\dfrac{\hat{U}_{i_n}}{\hat{I}_{i_n}}\cdot\Delta\dot{I}_{i_n}. \end{cases} \tag{13}$$

На основании полученных выражений можно построить следующее обобщенное выражение в приращениях:

$$\begin{aligned} &\sum_{i_1}[(\Delta\dot{U}_{i_1}\dot{I}_{i_1}^{\alpha} - \dot{U}_{i_1}^{\alpha}\Delta\dot{I}_{i_1}) + (\Delta\hat{U}_{i_1}\hat{I}_{i_1}^{\alpha} - \hat{U}_{i_1}^{\alpha}\Delta\dot{I}_{i_1})] + \cdots + \\ &+\sum_{i_n}(\Delta\dot{U}_{i_n}\dot{I}_{i_n}^{\alpha} - \dot{U}_{i_n}^{\alpha}\Delta\dot{I}_{i_n}) + (\Delta\hat{U}_{i_n}\hat{I}_{i_n}^{\alpha} - \hat{U}_{i_n}^{\alpha}\Delta\hat{I}_{i_n})] + \\ &+\sum_{b_1}[(\Delta\dot{U}_{b_1}\dot{I}_{b_1}^{\alpha} - \dot{U}_{b_1}^{\alpha}\Delta\dot{I}_{b_1}) + (\Delta\hat{U}_{b_1}\hat{I}_{b_1}^{\alpha} - \hat{U}_{b_1}^{\alpha}\Delta\hat{I}_{b_1})] + \cdots + \\ &+\sum_{b_n}[(\Delta\dot{U}_{b_n}\dot{I}_{b_n}^{\alpha} - \dot{U}_{b_n}^{\alpha}\Delta\dot{I}_{b_n}) + (\Delta\hat{U}_{b_n}\hat{I}_{b_n}^{\alpha} - \hat{U}_{b_n}^{\alpha}\Delta\hat{I}_{b_n})] = 0. \end{aligned} \tag{14}$$

или

$$\begin{aligned} &-(\sum_{i_1}[\Delta\dot{I}_{i_1}(\dot{U}_{i_1}^{\alpha} + \frac{\hat{U}_{i_1}}{\hat{I}_{i_1}}\dot{I}_{i_1}^{\alpha}) + \Delta\hat{I}_{i_1}(\hat{U}_{i_1}^{\alpha} + \frac{\hat{U}_{i_1}}{\hat{I}_{i_1}}\dot{I}_{i_1}^{\alpha})] + \ldots + \\ &+\sum_{i_n}[\Delta\dot{I}_{i_n}(\dot{U}_{i_n}^{\alpha} + \frac{\hat{U}_{i_n}}{\hat{I}_{i_n}}\dot{I}_{i_n}^{\alpha}) + \Delta\hat{I}_{i_n}(\hat{U}_{i_n}^{\alpha} + \frac{\dot{U}_{i_n}^{\alpha}}{\hat{I}_{i_n}}\dot{I}_{i_n}^{\alpha})]) + \\ &+\sum_{b_1}[\Delta\dot{I}_{b_1}(Z_{b_1}\dot{I}_{b_1}^{\alpha} - \dot{U}_{b_1}^{\alpha}) + \Delta\hat{I}_{b_1}(\hat{Z}_{b_1}\hat{I}_{b_1}^{\alpha} - \dot{U}_{b_1}^{\alpha})] + \ldots + \\ &+\sum_{b_n}[\Delta\dot{I}_{b_n}(Z_{b_n}\dot{I}_{b_n}^{\alpha} - \dot{U}_{b_n}^{\alpha}) + \Delta\hat{I}_{b_n}(\hat{Z}_{b_n}\hat{I}_{b_n}^{\alpha} - \hat{U}_{b_n}^{\alpha})] + \\ &+\sum_{b_1}(\Delta Z_{b_1}I_{b_1}I_{b_1}^{\alpha} + \Delta\hat{Z}_{b_1}\hat{I}_{b_1}\hat{I}_{b_1}^{\alpha}) + \cdots + \sum_{b_n}(\Delta Z_{b_n}I_{b_n}\dot{I}_{b_n}^{\alpha} + \Delta\hat{Z}_{b_n}\hat{I}_{b_n}I_{b_n}^{\alpha}) = 0. \end{aligned} \tag{15}$$

Устанавливая обобщенное выражение (15), необходимо параметры α-сопряженной системы выбрать таким образом, чтобы оно определенно упростилось.

Предположим, что каждая ветвь α-сопряженной ЭЭС идентична относительно исходной и требуется определить приращения комплексного тока $\Delta\dot{I}_{i_1}$ узла i_1, который находится в первой подсистеме. Тогда выражение (15) примет следующий вид:

$$-\{[\Delta I_r(\dot U_r^{\alpha}+\frac{\hat U_r}{\hat I_r}\hat I_r^{\alpha})+\Delta I_r(\hat U_r^{\alpha}+\frac{\hat U_r}{\hat I_r}I_r^{\alpha})]+$$

$$+\sum_{b_1}[\Delta I_{b_1}(\dot U_{b_1}^{\alpha}+\frac{\hat U_{b_1}}{\hat I_{b_1}}\hat I_{b_1}^{\alpha})+\Delta\hat I_{b_1}(\hat U_{b_1}^{\alpha}+\frac{\hat U_{b_1}}{\hat I_{b_1}}I_{b_1}^{\alpha})]+\cdots+$$

$$+\sum_{b_n}[\Delta\hat I_{b_n}(\dot U_{b_n}^{\alpha}+\frac{\hat U_{b_n}}{\hat I_{b_n}}\hat I_{b_n}^{\alpha})+\Delta\hat I_{b_n}(\hat U_{b_n}^{\alpha}+\frac{\hat U_{b_n}}{\hat I_{b_n}}\dot I_{b_n}^{\alpha})]\}+ \quad (16)$$

$$+\sum_{b_1}(\Delta Z_{b_1}\dot I_{b_1}I_{b_1}^{\alpha}+\Delta\hat Z_{b_1}\hat I_{b_1}\hat I_{b_1}^{\alpha})+\cdots+\sum_{b_n}(\Delta Z_{b_n}\dot I_{b_n}I_{b_n}^{\alpha}+\Delta\hat Z_{b_n}\hat I_{b_n}\hat I_{b_n}^{\alpha})=0.$$

Если для α-сопряженной ЭЭС обеспечить условия

$$\begin{cases}\dot U_{b_1}^{\alpha}+\dfrac{\hat U_{b_1}}{\hat I_{b_1}}\dot I_{b_1}^{\alpha}=\hat U_{b_1}^{\alpha}+\dfrac{\hat U_{b_1}}{\hat I_{b_1}}I_{b_1}^{\alpha}=0;\\ \cdots\cdots\cdots\cdots\\ \dot U_{b_n}^{\alpha}+\dfrac{\hat U_{b_n}}{\hat I_{b_n}}\hat I_{b_n}^{\alpha}=\hat U_{b_n}^{\alpha}+\dfrac{\hat U_{b_n}}{\hat I_{b_n}}\dot I_{b_n}^{\alpha}=0.\end{cases} \quad (17)$$

то (16) еще более упрощается и принимает вид

$$\Delta\dot I_r(\dot U_r^{\alpha}+\frac{\hat U_r}{\hat I_r}\hat I_r^{\alpha})+\Delta\hat I_r(\hat U_r^{\alpha}+\frac{\hat U_r}{\hat I_r})=$$

$$=\sum_{b_1}(\Delta Z_{b_1}\dot I_{b_1}I_{b_1}^{\alpha}+\Delta\hat Z_{b_1}\hat I_{b_1}\hat I_{b_1}^{\alpha})+\cdots+\sum_{b_n}(\Delta Z_{b_n}\dot I_{b_n}I_{b_n}^{\alpha}+\Delta\hat Z_{b_n}\hat I_{b_n}\hat I_{b_n}^{\alpha}). \quad (18)$$

Предположим также, что изменяется комплексное сопротивление только одной ветви с индексом λ и для α-сопряженной ЭЭС обеспечивается условие

$$\dot U_r^{\alpha}+\frac{\hat U_r}{\hat I_r}\hat I_r^{\alpha}=\hat U_r^{\alpha}+\frac{\hat U_r}{\hat I_r}\dot I_r^{\alpha}=1. \quad (19)$$

Тогда выражение (18) принимает свой окончательный вид

$$\Delta\dot I_{\lambda}+\Delta\hat I_{\lambda}=\Delta Z_{\lambda}\dot I_{\lambda}I_{\lambda}^{\alpha}+\Delta\hat Z_{\lambda}\hat I_{\lambda}\hat I_{\lambda}^{\alpha}. \quad (20)$$

Относительно β-сопряженной ЭЭС можем получить следующее выражение:

$$\Delta\dot I_{\lambda}-\Delta\hat I_{\lambda}=-(\Delta Z_{\lambda}\dot I_{\lambda}I_{\lambda}^{\beta}-\Delta\hat Z_{\lambda}\hat I_{\lambda}\hat I_{\lambda}^{\beta}). \quad (21)$$

Суммируя (20) и (21), получим

$$2\Delta\dot I_{\lambda}=\Delta Z_{\lambda}\dot I_{\lambda}(\dot I_{\lambda}^{\alpha}-\dot I_{\lambda}^{\beta})+\Delta\hat Z_{\lambda}\hat I_{\lambda}(\hat I_{\lambda}^{\alpha}+\hat I_{\lambda}^{\beta}). \quad (22)$$

Таким образом, чтобы определить чувствительность $\Delta\dot I_{\lambda}$ относительно изменения ΔZ_{λ}, необходимо иметь: $\Delta Z_{\lambda}(\Delta\hat Z_{\lambda})$ — задается согласно постановке задачи; $\dot I_{\lambda}(\hat I_{\lambda})$, что получается на основании расчета

установившегося режима заданной ЭЭС: $\dot{I}_i^{\alpha}(\dot{I}_i^{\beta})$ — получается в результате расчета установившегося режима α-сопряженной ЭЭС; $\dot{I}_i^{\beta}(\dot{I}_i^{\beta})$ — получается в результате расчета установившегося режима β-сопряженной ЭЭС.

Расчет установившегося режима как исходной, так и α- и β-сопряженных ЭЭС осуществляется методом декомпозиции. Поскольку результаты расчета установившегося режима исходной ЭЭС считаются заданными, то остановимся на расчетах α- и β-сопряженных ЭЭС.

Расчет установившегося режима α-сопряженной ЭЭС осуществляется на основании следующих матричных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{U}_{i_1}^{\alpha} = \dot{U}_{Б i_1} + Z_{i_1 i_1} \dot{I}_{i_1}^{\alpha}; \\ \dot{U}_{i_2}^{\alpha} = \dot{U}_{Б i_2} + Z_{i_2 i_2} \dot{I}_{i_2}^{\alpha}; \\ \dots \dots \dots \dots \\ \dot{U}_{i_n}^{\alpha} = \dot{U}_{Б i_n} + Z_{i_n i_n} \dot{I}_{i_n}. \end{cases} \qquad (23)$$

Расчет установившегося режима β-сопряженной ЭЭС осуществляется на основании матричных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{U}_{i_1}^{\beta} = \dot{U}_{Б i_1} - Z_{i_1 i_1} \dot{I}_{i_1}^{\beta}; \\ \dot{U}_{i_2}^{\beta} = \dot{U}_{Б i_2} + Z_{i_2 i_2} \dot{I}_{i_2}^{\beta}; \\ \dots \dots \dots \dots \\ \dot{U}_{i_n}^{\beta} = \dot{U}_{Б i_n} - Z_{i_n i_n} \dot{I}_{i_n}^{\beta}. \end{cases} \qquad (24)$$

В матричных уравнениях (23) и (24) имеем

$$\begin{cases} \dot{U}_{Б i_1} = \dot{U}_{Б} - Z_{i_1 M_1} \cdot \Delta \dot{I}_{M_1} + \Delta Z_{i_1 S_1} \dot{I}_{\gamma}; \\ \dot{U}_{Б i_2} = \dot{U}_{M_2} - Z_{i_2 M_2} \cdot \Delta \dot{I}_{M_2} + \Delta Z_{i_2 S_2} \dot{I}_{\gamma}; \\ \dots \dots \dots \dots \\ \dot{U}_{Б i_n} = \dot{U}_{M,n-1} - Z_{i_n M} \cdot \Delta \dot{I}_{M} + \Delta Z_{i_n S_n} \dot{I}_{\gamma}. \end{cases} \qquad (25)$$

где $\dot{U}_{Б}$ — напряжение единственного базисного (балансирующего) узла для системы в целом; $\dot{U}_{M_1}$ — комплексное напряжение узла M_1 первой подсистемы, с которой стыкуется вторая подсистема; $\dot{U}_{M_2}$ — комплексное напряжение узла M_2 второй подсистемы, с которой стыкуется третья подсистема и т.д.; $\dot{U}_{M,n-1}$ — комплексное напряжение узла $M.n-1$ предпоследней подсистемы, с которой стыкуется последняя подсистема; $Z_{i_1 M_1}; Z_{i_2 M_2}; \dots; Z_{i_n M}$ — последние столбцы соответствующих матриц $Z_{i_1 i_1}; Z_{i_2 i_2}; \dots; Z_{i_n i_n}; \Delta Z_{i_1 S_1}; \Delta Z_{i_2 S_2}; \dots \Delta Z_{i_n S_n}$ — комплексные сопротивления вновь полученных узлов в результате декомпозиции ЭЭС, соответственно

принадлежащих подсистемам I, II,...,N. Комплексный ток $\dot{I}_\gamma$, входящий во все выражения (25), определяется в виде

$$\dot{I}_\gamma = (Z_{\gamma\delta} - Z_{\text{ПЭП}})^{-1} \cdot \Delta\dot{U}_\gamma. \qquad (26)$$

С другой стороны, матрица комплексных сопротивлений $Z_{\gamma\delta}$ определяется в виде

$$Z_{\gamma\delta} = (Z_{\gamma\gamma} - Z_{\gamma S}) - (Z_{\delta\gamma} - Z_{\delta S}). \qquad (27)$$

Матрица $Z_{\text{ПЭП}}$ является диагональной и имеет следующий вид:

$$Z_{\text{ПЭП}} = \begin{bmatrix} Z^1_{\text{ПЭП}} & & \\ & Z^2_{\text{ПЭП}} & \\ & & Z^1_{\text{ПЭП}} \end{bmatrix}. \qquad (28)$$

С другой стороны,

$$\Delta\dot{U}_\gamma = \Delta\dot{U}_{\gamma 1} + \Delta\dot{U}_{\gamma 2} + \cdots + \Delta\dot{U}_{\gamma n} \qquad (29)$$

и представляет собой сумму падений комплексных напряжений, возникающих относительно вновь полученных узлов соответствующих подсистем.

Расчет установившихся режимов α- и β- сопряженных ЭЭС методом декомпозиции можно осуществлять вычислительным алгоритмом, приведенным в [5].

В результате расчета установившихся режимов α- и β- сопряженных ЭЭС определяем те неизвестные величины, которые необходимы в (22) для определения численного значения искомого приращения комплексного тока $\Delta\dot{I}_\ell$ узла ℓ.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Сочетая теорию Телледжена с идеей декомпозиции, можно успешно решить задачу определения чувствительности узлового комплексного тока относительно изменения величины комплексного сопротивления продольной ветви.

2. Решая задачу чувствительности, можно решить задачу коррекции установившегося режима ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Определение чувствительности потерь мощности и энергии при изменении пассивных параметров электрических систем // Пути экономии и повышения эффективности использования электроэнергии в системах электроснабжения промышленности и транспорта: Тез. докл. Всесоюз. научн.-тех. конф. Казань, 1984. - С. 58-59.

2. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Теорема Телледжена в вопросах моделирования электрических систем // Моделирование электроэнергетических систем: Тез. докл. IX Всесоюз. научн. конф. - Рига, 1987. - С. 435-436.

3. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Метод коррекции установившихся режимов электрических систем // Электричество. - 1987. - №3. - С. 45-51.

4. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Бадалян Г.А.** Новый метод коррекции установившегося режима при изменении пассивных параметров электрической системы // Известия НАН Армении и ГИУА. Серия ТН. - 1996. - № 2. - С. 80-84.
5. **Хачатрян В.С.** Решение уравнений установившихся режимов больших электрических систем с применением метода декомпозиции // Электричество. - 1976 - № 6. - С. 12-19.
6. **Лисеев М.С., Шарофидинов Х.Х.** Коррекция режима электроэнергетической системы для устранения перегрузок передающих элементов // Изв. АН СССР Энергетика и транспорт. - 1988. - № 2. С. 71-79.

ГИУА 7.01.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 1, 1997, с. 24 - 29.

УДК 621.311.001.24:002.6 ЭНЕРГЕТИКА

В.П. АРАКЕЛЯН, К.В. ХАЧАТРЯН, Х. ИСЛАМ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕНАБЛЮДАЕМОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Առաջին անգամ կառուցվում է ԷԷՀ-ի անկախ կայանների հանգույցների կայունացված մաթեմատիկական մոդել: Համաձայն անվանական տվյալների դրանք ներկայացվում են որպես համալիր հաղորդականություններ և որպես անկյունագծային տարրեր ընդգրկվում են մատրիցում: Առաջված ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգը լուծելով Նյուտոն-Ռաֆսոնի մեթոդով՝ ստացվում են դիտելի կայունային հանգույցների համալիր լարումներ, այնուհետև որոշվում՝ ոչ դիտելի բեռային հանգույցների համալիր լարումները:

Построена математическая модель установившегося режима относительных независимых станционных узлов ЭЭС. На основании номинальных данных нагрузочных узлов они представлены в виде комплексных проводимостей и в качестве диагональных элементов вводятся в Y-матрицу. Определяются комплексные напряжения наблюдаемых станционных узлов, а также ненаблюдаемых нагрузочных узлов при решении полученной системы нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона-Рафсона.

Библиогр.: 6 назв.

A mathematical model of relative independent stational electric power system units in steady-state conditions has been built. Based on nominal data the loads are represented in the form of complex conductances. As diagonal elements they are introduced into Y-array. Complex voltages of observable stational units as well as nonobservable loading nodes are specified for solving the obtained simultaneous nonlinear algebraic equations by means of the Newton-Rafson method.

Ref. 6.

В связи с появлением современных больших электроэнергетических систем (ЭЭС) резко возрастают границы их расположения. При этом получение необходимой информации для их управления практически становится трудно реализуемым [1 - 4]. Это приводит к тому, что ЭЭС становится не полностью наблюдаемой и, следовательно, не полностью управляемой.

С целью получения необходимой информации требуется осуществление соответствующих измерений и их передачи в диспетчерскую службу для реализации требуемого управления. Данное мероприятие связано не только с техническими затруднениями, но и с большими затратами. Серьезное затруднение также возникает при хранении большого объема исходной информации в памяти цифровых вычислительных машин. При решении задач из области больших ЭЭС применяются методы, минимизирующие объем информации, вводимой в память вычислительной машины для решения соответствующих задач [5]. Исследование показывает, что перспективным направлением для сокращения объема исходной информации является построение соответствующей математической модели, срабатывающей при наличии любого количества информации для решения поставленной задачи [6].

В данной работе рассматривается задача расчета установившегося режима, когда известна структура исследуемой ЭЭС, заданы только два режимных параметра по станционным узлам и необходимо определить ее состояние.

При этом ЭЭС является топологически наблюдаемой, одни районы являются наблюдаемыми (узлы электрических станций), другие районы – ненаблюдаемыми (узлы нагрузок). Необходимо определить состояние ЭЭС, т.е. параметры установившегося режима.

Состояние ЭЭС можно установить на основании Y-формы уравнения установившегося режима, представленной в матричной записи:

$$\dot{I} = Y\dot{U}, \qquad (1)$$

где $\dot{I}$ – многомерный вектор комплексных токов независимых узлов; $\dot{U}$ – многомерный вектор комплексных напряжений независимых узлов относительно напряжения базисного узла; Y – несобственная квадратная матрица узловых комплексных проводимостей независимых узлов относительно базисного узла.

Выберем следующую систему индексов: для станционных узлов $m(n)=0,\ldots,2,\ldots,\Gamma$; для нагрузочных узлов $K(\Gamma)=\Gamma+1,\Gamma+2,\ldots,\Gamma+H=M$. Можно заметить, что исследуемая ЭЭС состоит из $(\Gamma+1)$ станционных и K нагрузочных узлов, т.е. из $(M+1)$ узлов, и после выбора в качестве базисного станционного узла с индексом "0" она будет состоять из M независимых узлов.

При этом матричное уравнение (1) в развернутой форме имеет вид

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{m} \\ \dot{I}_{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{mn} & Y_{mk} \\ Y_{rn} & Y_{rk} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{n0} \\ \dot{U}_{k0} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

Здесь $\dot{I}_{m}$, $\dot{I}_{r}$ – многомерные векторы комплексных токов наблюдаемых независимых станционных и ненаблюдаемых нагрузочных узлов соответственно; $\dot{U}_{n0}$, $\dot{U}_{k0}$ – многомерные векторы комплексных напряжений тех же узлов относительно напряжения наблюдаемого станционного узла; Y_{mn}, Y_{rk} – квадратные подматрицы собственных и взаимных комплексных сопротивлений между станционными и нагрузочными узлами соответственно; Y_{mk}, Y_{rn} – взаимные комплексные сопротивления между станционными и нагрузочными узлами. Поскольку

ЭЭС принимает топологическую наблюдаемость, это означает, что указанные четыре подматрицы являются известными.

Для получения математической модели, характеризующей состояние наблюдаемой части ЭЭС, необходимо из (2) исключить режимные параметры ненаблюдаемых нагрузочных узлов. Пользуясь номинальными данными нагрузок, их можно представить в виде комплексных проводимостей:

$$Y_{HK} = \frac{\tilde{S}_{HK}}{U^2_{HK}} = \frac{P_{HK} - jQ_{HK}}{U^2_{HK}}, \qquad (3)$$

где индекс "Н" — от слова "нагрузка", а "К" — номер данной нагрузки. Если ввести выражение (3) в матрицу узловых проводимостей уравнения (2), получим

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{m} \\ \dot{I}_{HK} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{mm} & Y_{mk} \\ Y_{km} & Y^{H}_{kk} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{m0} \\ \dot{U}^{H}_{K0} \end{bmatrix}, \qquad (4)$$

где

$$Y^{H}_{kk} = Y_{kK} + \mathrm{diag}(Y_{HK}). \qquad (5)$$

Представим матричное уравнение (4) в гибридной форме:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{m} \\ \dot{U}^{H}_{K0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{mm} - Y_{mk} Z^{H}_{kk} Y_{km} & Y_{mk} Z^{H}_{kk} \\ -Z^{H}_{kk} Y_{km} & Z^{H}_{kk} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{m0} \\ \dot{I}_{HK} \end{bmatrix}. \qquad (6)$$

Если ввести обозначения

$$Y_{m.n} = Y_{mk} Z^{H}_{kk} Y_{km},$$

$$\dot{A}_{m.k} = Y_{mk} Z^{H}_{kk},$$

$$\dot{B}_{k.m} = -Z^{H}_{kk} Y_{km}, \quad Z^{H}_{k.k} = Z^{H}_{kk},$$

то матричное уравнение (6) примет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{m} \\ \dot{U}^{H}_{K0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{mm} & \dot{A}_{m.k} \\ \dot{B}_{k.m} & Z^{H}_{k.k} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{m0} \\ \dot{I}^{H}_{K} \end{bmatrix}. \qquad (7)$$

Предположим, что Y^{H}_{kK} были подсчитаны при строгом существовании установившегося режима, но не на основании номинальных величин. Тогда после введения комплексных проводимостей в Y-матрицу узловых проводимостей в качестве диагональных элементов нагрузочные узлы превратятся в пассивные, и матричное уравнение (7) примет вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{m} \\ \dot{U}^{H}_{K0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{m.n} & \dot{A}_{m.k} \\ \dot{B}_{k.m} & Z^{H}_{k.k} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{m0} \\ 0 \end{bmatrix}. \qquad (8)$$

Из (8) можем написать

$$\dot{I}_{m} = Y_{m.n} \dot{U}_{n0}, \qquad (9)$$

$$\dot{U}^{H}_{K0} = \dot{B}_{k.m} \dot{U}_{m0}. \qquad (10)$$

Если определить столбцевую матрицу $\dot{U}_{m0}$, то с помощью матричного выражения (10) можно определить искомый вектор $\dot{U}^{H}_{K0}$.

Представим матричное уравнение (9) в алгебраической форме:

$$\dot{I}_m = \dot{I}_{Бm} + \sum_{n=1}^{r} Y_{m,n}\dot{U}_n. \qquad (11)$$

где

$$\dot{I}_{Бm} = -\sum_{n=1}^{r} Y_{m,n}\dot{U}_n. \qquad (12)$$

При переходе из узловых комплексных токов к узловым комплексным мощностям уравнение (11) принимает вид

$$P_m - jQ_m = \dot{I}_{Бm}\hat{U}_m + \sum_{n=1}^{r} Y_{m,n}\dot{U}_n\hat{U}_m. \qquad (13)$$

или

$$\begin{cases} P_m = P_{Бm} + \sum_{n=1}^{r}[g_{m,n}(U'_mU'_n + U''_mU''_n) + b_{m,n}(U''_mU'_n - U'_mU''_n)]; \\ Q_m = Q_{Бm} + \sum_{n=1}^{r}[g_{m,n}(U''_mU'_n - U'_mU''_n) - b_{m,n}(U'_mU'_n + U''_mU''_n)]. \end{cases} \qquad (14)$$

где

$$\begin{cases} P_{Бm} = -\sum_{n=1}^{r}(g_{m,n}U'_m + b_{m,n}U''_m)U_0; \\ Q_{Бm} = -\sum_{n=1}^{r}(g_{m,n}U''_m - b_{m,n})U_0. \end{cases} \qquad (15)$$

Представим систему уравнений (14) в следующей компактной форме:

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Бm} + \varphi_{pm}(U'_n, U''_n)] = 0; \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Бm} + \varphi_{qm}(U'_n, U''_n)] = 0, \end{cases} \qquad (16)$$

где

$$\begin{cases} \varphi_{pm}(U'_n, U''_n) = \sum_{n=1}^{r}[g_{m,n}(U'_mU'_n + U''_mU''_n) + b_{m,n}(U''_mU'_n - U'_mU''_n)]. \\ \varphi_{qm}(U'_n, U''_n) = \sum_{n=1}^{r}[g_{m,n}(U''_mU'_n - U'_mU''_n) - b_{m,n}(U'_mU'_n + U''_mU''_n)]. \end{cases} \qquad (17)$$

Систему уравнений (16) представим в виде системы неявных векторных уравнений:

$$\begin{cases} \Phi_{pm}(U'_n, U''_n) = 0, \\ \Phi_{qm}(U'_n, U''_n) = 0. \end{cases} \qquad (18)$$

Система (18) получена впервые и является системой нелинейных алгебраических уравнений наблюдаемой части ЭЭС, написанной относительно независимых стационных узлов.

Система уравнений (18) имеет порядок $2r$ и ее целесообразно решить методом Ньютона-Рафсона. Если предположим, что независимые стационные узлы являются узлами типа P-Q, то рекуррентное выражение для решения системы нелинейных алгебраических уравнений (18)

относительно составляющих U'_m, U''_m, вытекающее из метода Ньютона-Рафсона, имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} U'_m \\ U''_m \end{bmatrix}^{И+1} = \begin{bmatrix} U'_m \\ U''_m \end{bmatrix}^{И} - \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U'_n} & \dfrac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U''_n} \\ \dfrac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U'_n} & \dfrac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U''_n} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pm}(U'_n, U''_n) \\ \Phi_{qm}(U'_n, U''_n) \end{bmatrix}, \qquad (19)$$

где И — номер итерации.

Как видно, для решения поставленной задачи согласно выражению (19) необходимо на каждой итерации лишь обратить матрицу Якоби порядка 2Г, что не вызывает никаких затруднений. Это обстоятельство вызвано тем, что нагрузки в виде комплексных проводимостей введены в диагональные элементы Y-матрицы. При этом пренебрегаются уравнительные токи нагрузочных узлов.

Для организации соответствующего итерационного процесса необходимо получить аналитические выражения частных производных, входящих в матрицу Якоби.

При одинаковых индексах, т.е. когда n=m, имеем

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U'_m} = -\left[-\sum_{n=1}^{\Gamma} g_{m,n} U'_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma} (g_{m,n} U'_n - b_{m,n} U''_n) \right];$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U''_m} = -\left[-\sum_{n=1}^{\Gamma} b_{m,n} U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma} (g_{m,n} U''_n + b_{m,n} U'_n) \right];$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U'_m} = -\left[\sum_{n=1}^{\Gamma} b_{m,n} U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma} (g_{m,n} U''_n + b_{m,n} U'_n) \right]; \qquad (20)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U''_m} = -\left[-\sum_{n=1}^{\Gamma} g_{m,n} U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma} (g_{m,n} U'_n + b_{m,n} U''_n) \right].$$

При разных индексах, т.е. когда n≠m, имеем

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U'_n} = -(g_{m,n} U'_m + b_{m,n} U''_m),$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U''_n} = -(g_{m,n} U''_m - b_{m,n} U'_n),$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U'_n} = -(g_{m,n} U''_m - b_{m,n} U'_m), \qquad (21)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U''_n} = -(-g_{m,n} U'_m - b_{m,n} U''_m).$$

Имея аналитические выражения частных производных, входящих в матрицу Якоби рекуррентного выражения (19), можно перейти к описанию вычислительного алгоритма для организации итерационного процесса с целью решения численных примеров.

1. Устанавливая предварительное численное значение Y_{ii}^{II}, строится численная (Y-Z)-матрица.

2. Принимая $U_1' = U_2' = \ldots = U_\Gamma' = U_0$ и $U_1'' = U_2'' = \ldots U_\Gamma'' = 0$, вычисляются численные значения частных производных, входящих в матрицу Якоби выражения (19).

3. Осуществляется первая итерация и определяются новые значения U_n' и U_n'' и, следовательно, $\dot{U}_m = U_m' + jU_m''$ или $\dot{U}_n = U_n' + jU_n''$.

4. На основе выражения (10) определяется $\dot{U}_{нк}$, т.е. комплексные напряжения ненаблюдаемых нагрузочных узлов.

5. Вычисляются новые численные значения Y_{ik}^{II}. Вводя их в подматрицу, снова строится (Y-Z)-матрица с численными элементами.

6. Повторяются пункты 2-4, и итерационный процесс считается завершенным, если обеспечиваются следующие условия:

$$\Phi_{pm} = P_m - [P_m + \varphi_{pm}(U_n', U_n'')] \le \Delta\Phi_{pm},$$
$$\Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Бm} + \varphi_{qm}(U_n', U_n'')] \le \Delta\Phi_{qm}, \qquad (22)$$

где $\Delta\Phi_{pm}$ и $\Delta\Phi_{qm}$ — заданные положительные величины, которые характеризуют точность установления текущих значений активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Богданов В.А.** Информационная модель электрической сети автоматизированной системы диспетчерского управления // Электричество. - 1973. - № 5. - С. 1 - 7.

2. **Гамм А. З., Голуб И.И., Кесельман Д.Я.** Наблюдаемость электроэнергетических систем // Электричество. - 1975. - № 1. - С. 1-7.

3. **Гамм А.З.** Статические методы оценивания состояния электроэнергетической системы. - М.: Наука. 1976. - 219 с.

4. **Clements K.A., Krumpholz G.R., Dewis P.W.** Power System Observability: a practical algorithm using network topology // IEEE Trans. PAS. - 1980. № 4. - p. 1534 - 1542.

5. **Хачатрян В.С., Балабекян М.А.** Автоматизация разбивки больших систем на радиально связанные оптимальные подсистемы // Электричество. - 1977. - № 9. - С. 15 - 20.

6. **Мельников Н.А., Молохия И.М.** Возможности сокращения объема информации для определения рабочего режима электрической сети // Изв. АН СССР. Энергетики и транспорт. - 1969. - № 1. - С. 143 - 147.

ГИУА

10.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 1, 1997, с. 30 - 36.

УДК 620.91

ЭНЕРГЕТИКА

Ж.Р. ПАНОСЯН, А.О. АРАКЕЛЯН, Е.В. ЕНГИБАРЯН, Г.Г. ТОРОСЯН

ПОВЫШЕНИЕ КПД И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Մշակվել է արևային ֆոտոտարրերի և ֆոտոէլեկտրական վահանակների պարամետրերի չափման ավտոմատ սարք: Բերված է սարքի նկարագրությունը, որի օգնությամբ չափվել են արևային էներգիայի վերափոխիչների լուսային վոլտամպերային բնութագրերը և ՕԳԳ-ները: Այդ չափումների հիման վրա առեղծվել է մեթոդ ըստ հզորությունների ֆոտոտարրերի ընտրության համար: Այդ մեթոդի օգնությամբ մշակվել է ֆոտոէլեկտրական վահանակների պատրաստման տեխնոլոգիա, որն ապահովում է համապատասխանաբար ՕԳԳ-ի և երկարակեցության մեծացում մինչև 12.5 % և 30 տարի: Կատարվել է ստացված տվյալների գնահատում:

Разработана автоматическая установка для измерения параметров солнечных фотоэлементов (ФЭ) и фотоэлектрических панелей (ФЭП). Приведено описание установки, с помощью которой были получены световые ВАХ и КПД преобразователей солнечной энергии. Создана методика выбора ФЭ и ФЭП по величине максимальной развиваемой мощности, на основе чего разработана технология изготовления ФЭП, обеспечивающая увеличение значения КПД до 12.5%, и долговечности до 30 лет. Произведена оценка полученных данных.

Ил. 3. Библиогр.: 9 назв.

An automatic installation for measuring the parameters of photovoltaic cells (PVC) and photovoltaic panels (PVP) was developed. The installation utilized for obtaining light volt-ampere characteristics and efficiency of solar energy conversion was described. The method of PVC and PVP selection by peak power value was worked out. The PVP production technology providing the increase of efficiency up to 12.5% and longevity up to 30 years was developed. The results obtained were evaluated.

Ill. 3, Ref. 9.

Ограниченность запасов ископаемых источников энергии в недрах Земли и глобальные экологические проблемы диктуют необходимость разработать такие источники энергии, которые бы имели практически неисчерпаемый запас или являлись возобновляемыми, а их использование не наносило ущерб природе. В странах, имеющих высокий технический уровень, уже несколько десятков лет ведутся интенсивные работы по разработке возобновляемых и экологически чистых источников энергии, таких как Солнца, ветра, воды, биомассы и т.д. Использование возобновляемых источников энергии в общем энергетическом балансе в различных странах колеблется от 5 до 20 %. Солнце - источник гигантских и практически неисчерпаемых запасов энергии: ежегодно от него Земля получает 10^{21} *ккал* (для сравнения: тепловая энергия, освобождающаяся при сжигании запасов ископаемого топлива нашей планеты, оценивается $7 \cdot 10^{18}$ *ккал*). Даже сотая доля солнечной энергии, падающей на поверхность Земли и одновременно являющейся экологически чистой, достаточна для удовлетворения энергетических потребностей человечества [1]. Армения не имеющая собственного ископаемого топлива, имеет большие ресурсы

солнечной радиации, за счет которых может полностью удовлетворить свои энергетические нужды [2, 3]. Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую осуществляется с помощью полупроводниковых фотопреобразователей [4]. Однако солнечные фотоэлектростанции (СФЭС) наземной энергетики в настоящее время не получили широкого применения по сравнению с тепловыми электростанциями ввиду высокой стоимости производимой ими 1 *кВт·ч* электроэнергии [2]. Основная и наиболее дорогостоящая часть СФЭС - это полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии, базовой ячейкой которой является фотоэлектрическая панель (ФЭП).

Повышение КПД и долговечности ФЭП, создаваемых на основе поликристаллических полупроводниковых солнечных фотоэлементов (ФЭ), очевидно, приведет к уменьшению стоимости производимой ими 1 *кВт·ч* электроэнергии. В настоящей работе описывается разработанная нами технология изготовления ФЭП из поликристаллических кремниевых ФЭ, приводящая к повышению КПД ФЭП и долговечности, а также предложена установка для измерения фотоэлектрических параметров ФЭ и их выбора по мощности в качестве основного звена технологии.

В каждую ФЭП входят 36 последовательно соединенных поликристаллических кремниевых фотоэлементов площадью 10×10 $см^2$. Такое соединение обусловлено обеспечением напряжения заряда аккумулятора на 12 *В*. Последовательное соединение ФЭ требует, чтобы фотоэлектрические параметры ФЭ были одинаковыми. В этом случае схемные потери будут минимальными [4]. Отметим, что при изготовлении промышленностью одной партии ФЭ величины их максимальной развиваемой мощности и тока могут быть довольно разные. Поэтому для измерения параметров (напряжение, ток и мощность) ФЭ, а также для их сравнения и выбора была создана установка, блок-схема которой приведена на рис. 1.

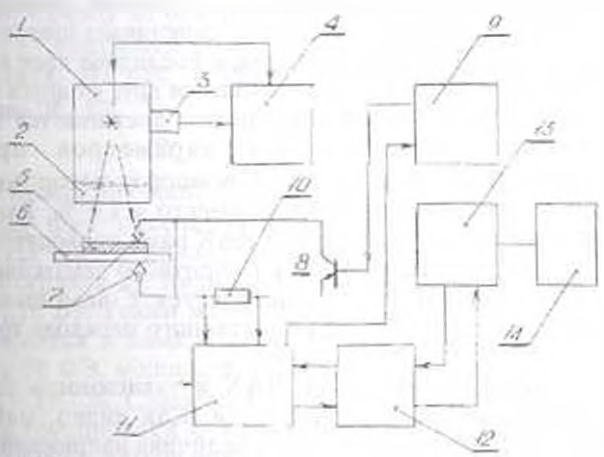


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения фотоэлектрических параметров солнечных фотоэлементов и фотопанелей.
1 - источник света; 2 - водяной фильтр; 3 - датчик интенсивности света; 4 - стабилизатор мощности источника света; 5 - ФЭ; 6 - контактная площадка; 7 - токосъемные контакты; 8 - транзистор; 9 - генератор пилообразного сигнала; 10 - датчик тока; 11 - АЦП-ЦАП (CR 10WP); 12 - интерфейс (RS 232); 13 - компьютер (IBM-586); 14 - принтер.

Установка работает следующим образом. Световое излучение от источника света 1 (была использована лампа накаливания мощностью 500 *Вт*), проходя через водяной фильтр 2, который срезает инфракрасную область спектра света $\lambda > 1$ *мкм*, падает на исследуемый ФЭ 5, помещенный на контактной площадке 6. Интенсивность излучения источника света 1 во время измерения остается постоянной, для чего был использован датчик интенсивности излучения света 3, который входит в состав стабилизатора мощности 4. Через токосъемные контакты 7 устанавливается связь между исследуемым ФЭ и измерительной системой. Транзистор 8 в цепи ФЭ служит переменной нагрузкой (сопротивлением), величина которой изменяется с помощью пилообразного генератора 9. Для измерения тока в цепь ФЭ введен датчик тока 10 (величина сопротивления 0,01 *Ом*). Напряжение от датчика тока 10 и от токосъемных контактов 7 подается на преобразователь данных 11, где аналоговый сигнал преобразуется на цифровой, и через интерфейс 12 данные вводятся в компьютер 13. С помощью компьютера в предварительно заданные интервалы нагрузки ФЭ производится измерение и набор параметров. Таким образом, во всем рабочем диапазоне ФЭ (от режима короткого замыкания до режима холостого хода) получается полный набор параметров (величины тока и напряжения). Отметим, что в каждой точке измерение параметров производится 10 раз, затем берется усредненное значение. Полученные данные компьютер обрабатывает и на их основании получает световую ВАХ данного ФЭ. Исходя из этой световой ВАХ, получается также зависимость развиваемой мощности ФЭ от напряжения. Указанным методом для определенной группы ФЭ получаются зависимости мощности от напряжения. При этом по максимальным значениям развиваемой мощности компьютер выбирате одинаковые ФЭ. Область выбираемой мощности задается предварительно. В конце работы компьютер предлагает список групп, однотипных по параметрам ФЭ. На основании полученного списка для ФЭП группируются 36 ФЭ. Управление и контроль всего процесса осуществляются с помощью специально разработанной программы. Преимущество данной установки перед существующими [5] состоит в том, что она обеспечивает широкий диапазон и высокую точность измерений параметров, а последнее дает возможность выбора группировки для ФЭП ФЭ, отличающихся друг от друга по величине мощности не более 20 *мВт*. Такие преимущества достигаются тем, что для управления процессами измерения параметров применяется быстродействующий компьютер PC 586, с помощью которого параметры ВАХ измеряются с точностью до ± 0,5 % вместо ± 1,0 %. Вместо узкого диапазона измерения параметров световой ВАХ нами проводятся измерения во всех рабочих точках, начиная с режима короткого замыкания и кончая режимом холостого хода ФЭ, что достигается с помощью плавного измерения сопротивления коллекторно-эмиттерного перехода транзистора в цепи ФЭ (рис.1).

На рис. 2 приведены световая ВАХ и зависимость развиваемой мощности кремниевого ФЭ от напряжения. Как видно, максимальная мощность ФЭ развивается при 0,47 *В*, когда величина напряжения холостого хода составляет 0,58 *В*. КПД данного ФЭ составляет 13,2% и рассчитывается согласно формуле [6]

$$\eta = (I_{опт} U_{опт} / W_c) \cdot 100\%. \qquad (1)$$

где W_i – мощность солнечного излучения, падающего на поверхность ФЭ, значения $I_{опт}$ и $U_{опт}$ берутся из световой ВАХ, соответствующей вписанному прямоугольнику (рис. 2).

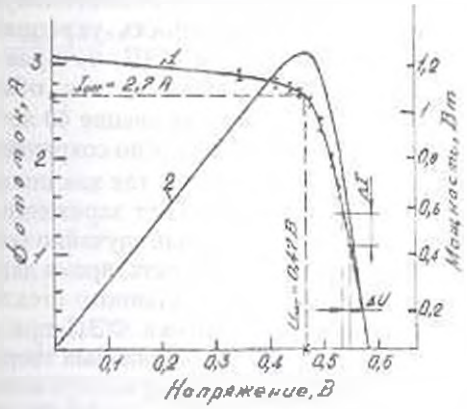


Рис. 2. Зависимости световой ВАХ (кр. 1) и мощности (кр. 2) поликристаллического кремниевого фотоэлемента от напряжения

Отношение

$$\beta=(I_{опт}U_{опт})/(I_{кз}U_{хх}) \qquad (2)$$

определяет коэффициент заполнения ФЭ, величина которого составляет 0,7 для приведенной ВАХ (рис. 2). Значения тока короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжения холостого хода $U_{хх}$ соответствуют значениям, получаемым при пересечении кривой световой ВАХ с соответствующими координатными осями. КПД рассчитан в условиях освещенности, соответствующей однократному Солнцу на поверхности Земли АМ 1,5, при которой $I_{кз}$ не меняется от напряжения и отсутствуют потери мощности на сопротивлениях. Из рис. 2 было также определено последовательное сопротивление $R_п$ [7]

$$R_п=\Delta U/\Delta I=0{,}03\ Ом. \qquad (3)$$

Такое низкое значение $R_п$ означает, что эти ФЭ и технология пайки токосъемных шин обеспечивают получение максимальной выходной мощности. На рис. 2 приведена также зависимость мощности ФЭ от напряжения (кривая 2). Видно, что максимальная мощность данного ФЭ составляет 1,16 *Вт*. Таким же способом определяются мощности всех ФЭ, которые вносятся в память компьютера. Из этого массива компьютер выбирает те 36 ФЭ, мощности которых находятся между 1,16 и 1,18 *Вт* и имеют КПД – 13,2 %. Следующие 36 ФЭ имеют мощности от 1,181 до 1,2 *Вт* и т.д. После группировки ФЭ составляется последовательно соединенная цепочка. Цепочка, помещенная между двумя полимерными пленками из этиленвинилацетата (ЭВА), размещается на термообработанное стекло толщиной 3,5 *мм*, имеющее высокую механическую прочность, специальный химический состав и оптическую пропускаемость (~95%) в видимой области спектра. С тыльной стороны ФЭ покрывается электроизоляционным слоем, имеющим также высокую механическую прочность. Эта многослойная система ламинируется в ламинаторе, в результате получается слитая со

стеклом герметично закрытая цепочка из последовательно соединенных 36 ФЭ. Данная система полностью защищена от вредных климатических воздействий, что способствует повышению долговечности ФЭП. После ламинации полученная многослойная система помещается в алюминиевую рамку, которая придает этой системе дополнительную механическую прочность и, кроме этого, дает возможность укреплять ее к несущей конструкции. Таким образом, получается ФЭП, которая является базовой ячейкой генератора тока СФЭС. Известно, что обычные диоды из кристаллического Si надежно работают уже свыше 40 лет. Использованное нами защитное стекло толщиной 3.5 *мм* надежно сохраняет кремниевые ФЭ (также являющиеся диодом с *p-n*-переходом), так как полностью поглощает ультрафиолетовое излучение и не пропускает заряженные элементарные частицы - электроны, протоны и т.п., которые случайно могли бы попасть на поверхность ФЭП (см., например, [4,6]). То есть, время деградации ФЭ ФЭП составляет более 30 лет. Замена термозакаленного стекла менее прочным стеклом могла бы стать причиной поломки ФЭП при попадании на ее поверхность градов больших размеров или случайных твердых тел.

Исследование воздействия ультрафиолетового излучения и температуры на полимерные пленки ЭВА, специально разработанные промышленностью для ФЭП, показало, что они имеют высокое оптическое пропускание (~95%) в области спектральной чувствительности ФЭ, устойчивы по отношению к ультрафиолетовому излучению и при рабочих температурах $t < 85^{\circ}C$ не меняют свои характеристики на протяжении 30 лет [8]. Следовательно, использованные нами компоненты и технология для изготовления ФЭП дают возможность увеличить долговечность ФЭП не менее, чем на 30 лет. При использовании вместо специального стекла и ЭВА других полимерных покрытий (например, поливинилбутерал) долговечность ФЭП ограничивается 10-15 годами. Для получения необходимой мощности СФЭС из этих ячеек составляются модули, которые с помощью соответствующих (параллельных или последовательных) соединений образуют генераторы тока. Для повышения напряжения генератора тока необходимо в модулях использовать последовательно соединенные ФЭП. Следовательно, возникает необходимость произвести группировку ФЭП по их электрическим параметрам, как описано для ФЭ, что приведет к уменьшению потерь мощности модулей. С этой целью с помощью вышеописанной установки (рис. 1) была произведена выборка ФЭП по величине их развиваемой максимальной мощности. Измерение параметров ФЭП произведено как в натурных (излучение Солнца составляло 900 $Вт/м^2$), так и в лабораторных условиях. В последнем случае в качестве источника света были использованы ксеноновые лампы мощностью 1 *кВт*. На рис.3 приведена световая ВАХ ФЭП. Как видно, ФЭП площадью 3492 $см^2$ развивала максимальную мощность величиной 43.7 Вт. КПД которой составил 12,53 %, а для ФЭП, в состав которой входили не отобранные вышеописанный способом 36 ФЭ, максимальная развиваемая мощность достигла не более 35 *Вт*. Коэффициент заполнения для ФЭП из отобранных ФЭ составляет 0,65. Это значение в основном определяется коэффициентом заполнения ФЭ. Здесь отметим также, что КПД ФЭП был всего на 5 % меньше по сравнению с КПД ФЭ. Это означает, что при изготовлении ФЭП с помощью вышеописанной технологии мы достигли минимальной потери мощности. Таким образом, используя вышеописанную технологию изготовления ФЭП, дальнейшее увеличение КПД ФЭП станет возможным

только при применении ФЭ с высоким КПД. В настоящее время КПД из поликристаллического Si достигает 21,5% [9].

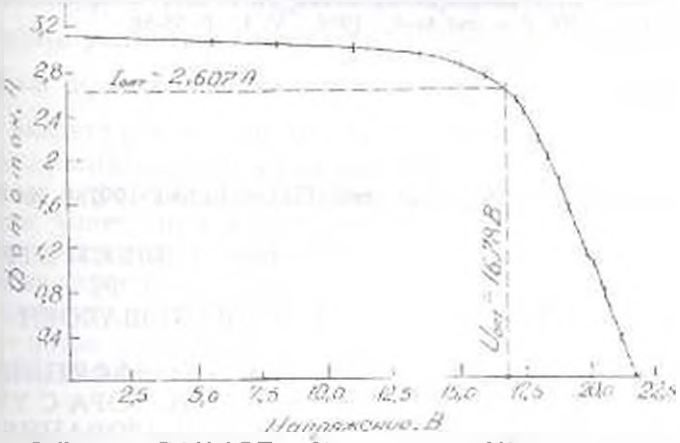


Рис. 3. Световая ВАХ ФЭП из 36 кремниевых ФЭ при температуре 20°С и мощности освещения 1 кВт/м²

В заключение отметим, что разработанная технология и используемые компоненты, включая тщательное измерение параметров каждого ФЭ и метод их группировки, обеспечили минимальные потери мощности и получение КПД 12,5 % для ФЭП, долговечность которых не менее 30 лет. Уже несколько лет действующие в Армении СФЭС, изготовленные в Государственном инженерном университете Армении на основе изготовленных нами ФЭП, имеют эффективные и надежные эксплуатационные характеристики. Отметим также некоторые их существенные преимущества по отношению к другим видам станций, производящих электрическую энергию. Установка СФЭС сравнительно проста и менее трудоемка. В довольно короткий срок их можно установить в любом месте: в горах, в пустынях, на крыше любого сооружения, на дорогах, т.е. везде, где есть потребность электрической энергии и где не требуется особое обслуживание.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Замараев К.Н., Пармон В.Н.** Возможные пути и перспективы создания фотокаталитических преобразователей солнечной энергии // Успехи химии АН СССР. - 1980. - Т. 49, № 8. - С. 1457 - 1497.

2. **Touryan K.J.** Toward energy independence for Armenia: Renewable energy and conservation // Proceedings of symp. 91 "The economic restructuring of Armenia". - Los-Angeles, 1991. - P. 185-195.

3. **Panossian J.R.** Solar energy research and utilization in Armenia // Proc. of symp. 91 "The economic restructuring of Armenia". - Los-Angeles, 1991. - P. 195-196.

4. **Васильев А.М., Ландсман А.П.** Полупроводниковые фотопреобразователи. - М.: Советское радио, 1971. - 246 с.

5. Установка для измерения электрических параметров и сортировки по КПД фотопреобразователей // Инф. листок № 198 - 91. Краснодарский межотр. тер. центр науч.-тех. инф. и проп. - 1991. - 4с.

6. **Фаренбрух А., Бьюб Р.** Солнечные элементы. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 278 с.

7. **Колтун М.М.** Солнечные элементы. - М.: Наука, 1987. - 190 с.

8. Pern F.J. Luminescence and absorption characterization of the structural effects of thermal processing and weathering degradation on Ethylene Vinil Acetate (EVA) encapsulant for PV modules // Polymer degradation and stability. - 1993. - V. 41. - P. 125-139.
9. Wang A., Zhao J., Wenham S.R., Green M.A. 21.5 % efficient thin Silicon solar cell // Progress in PV: Res. and Appl. - 1996. - V. 4. - P. 55-58.

ГИУА 28.11.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). т. L. № 1. 1997. с. 36-40.

УДК 621.382.017.7 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г.Г. КИРАКОСЯН, Г.А. МАКАРЯН, А.С. ШАБОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПО ТОКУ СИЛОВОГО ТРАНЗИСТОРА С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ВЫСОКОГО УРОВНЯ ЛЕГИРОВАНИЯ

Կատարվել են ուժային տրանզիստորների դիֆուզային խորությունների տեսական և փորձարարական հետազոտություններ. Նկատվում է էմիտերային անցման խորությունների հաշվարկային և փորձնական արժեքների լավ համընկնում. Կոլեկտորային անցման խորությունների արժեքների տարբերությունը պայմանավորված է ակցեպտորային խառնաուկների սահմանափակ դիֆուզային մեխանիզմի առանձնահատկությամբ: Ստացվել են ըստ հոսանքի մաքսիմալային ուժեղացման գործակցի $h_{21\,\max}$-ի և ուժային տրանզիստորի դիֆուզային պարամետրերի առնչությունը: Արտահայտությունում էքսպոնենտային արտադրիչի առկայությունը $h_{21\,\max}$-ի համար պայմանավորված է ելեկտրաբաշման բարձր մակարդակով:

Приведены теоретические и экспериментальные исследования диффузионных глубин силовых транзисторов. Наблюдается хорошее совпадение расчетных и экспериментальных значений глубины эмиттерного перехода. Отличие значений глубин коллекторного перехода обусловлено ограниченностью данного механизма диффузии акцепторных примесей. Получены зависимости максимального коэффициента усиления по току $h_{21\,\max}$ от диффузионных параметров силового транзистора. Наличие экспоненциального множителя в выражении для $h_{21\,\max}$ обусловлено эффектом ВУЛ.

Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Theoretical and experimental studies of power transistor diffusion depths are performed. A good coincidence of design and experimental values for emitter junction depth is observed. The value difference of collector junction depths is due to the limitation of the acceptor impurity diffusion mechanism. Dependencies of maximum current gain $h_{21\,\max}$ are obtained from diffusion parameters of a power transistor. The availability of an exponential factor for $h_{21\,\max}$ is conditioned by a high doping effect.

Table 1. Ref. 5.

Исследование зависимости максимального коэффициента усиления по току силового транзистора от диффузионных параметров, в частности, от глубин залегания эмиттерных и коллекторных переходов, представляет определенный научный и практический интерес. Рассмотрению этого вопроса посвящены работы [1, 2], в которых дается качественный анализ

уменьшения $h_{21э0}$ при увеличении глубин переходов, однако не приводятся количественные исследования для выявления степени влияния диффузионных параметров на $h_{21э0}$ силового транзистора.

В работе рассчитываются глубины залегания эмиттерных $x_{jэ}$ и коллекторных $x_{jк}$ переходов при заданных условиях диффузии, а также получены аналитические зависимости $h_{21э0}$ от диффузионных глубин транзистора с учетом эффекта высокого уровня легирования (ВУЛ).

Расчет диффузионных глубин силового транзистора. При образовании эмиттерных и базовых областей силового транзистора проводится двухстадийная диффузия донорных и акцепторных примесей. Первая стадия диффузии происходит из бесконечного источника примеси в полупроводниковую пластину, вторая стадия - из конечного источника, т.е отсутствует поток через поверхность (x=0). Решая одномерное уравнение второго закона Фика, имеем

$$N(x,t)=\frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}}\exp\left[-\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)^2\right], \qquad (1)$$

где D – коэффициент диффузии примеси; Q – общее количество примеси в полупроводниковой пластине; x – расстояние от поверхности; t – время диффузии.

Для формирования базовой области p-типа в n^--подложку исходной кремниевой эпитаксиальной пластины типа n^-/n^+ проводится односторонняя двухстадийная диффузия галлия. При этом глубина коллекторного перехода с учетом формулы (1) принимает вид

$$x_{jк}=2\sqrt{D_{Ga}t_{Ga}}\sqrt{\ln(N^{(0)}_{Ga}/N_n)}, \qquad (2)$$

где $N^{(0)}_{Ga}=Q_{Ga}/\sqrt{\pi D_{Ga}t_{Ga}}$ – поверхностная концентрация акцепторных примесей после второй стадии; N_n – концентрация доноров в однородно легированной подложке.

Для подложки с удельным сопротивлением $\rho=20$ Ом·см и при экспериментально установленных режимах диффузии ($t'_{Ga}=15$ *мин*, $t_{Ga}=6.67$ *ч*), используя формулу (2), получим $x^{расч}_{jк}=15.68$ *мкм*. Заметим, что в этом случае межузловой механизм диффузии исключается ввиду того, что диаметр атома галлия ($1.36\cdot10^{-4}$ *мкм*) намного превышает диаметр атома кремния ($1.17\cdot10^{-4}$ *мкм*). Поэтому после диффузии галлия образуется твердый раствор замещения, для которого D_{Ga} и диффузионная глубина $x_{jк}$ относительно малы. При аналогичных условиях диффузии экспериментальное значение глубины коллекторного перехода равно $x^{эксп}_{jк}=24$ *мкм*. Большая разница между расчетными и экспериментальными значениями обусловлена тем, что подложка содержит разного рода неравновесные дефекты (изолированные дислокации, дислокационные стенки, малоугловые границы зерен и др.), которые ускоряют диффузионный процесс.

Для формирования эмиттерной области n^+-типа силового транзистора проводится односторонняя двухстадийная диффузия фосфора в область p-типа. Аналогично с учетом формулы (1) для глубины эмиттерного перехода получим

$$x_{j\vartheta} = 2\sqrt{D_p t_p}\sqrt{\ln[N_p^{\Pi}/N_{GA}(x_{j\vartheta})]}. \qquad (3)$$

Совместно решая (1) и (3), после преобразований для глубины эмиттерного перехода получим

$$x_{j\vartheta} = \left\{\frac{4D_p t_p \ln(N_p^{\Pi}/N_{Ga}^0)}{1-[(D_p t_p)/(D_{Ga} t_{Ga})]}\right\}^{1/2} \qquad (4)$$

При экспериментально установленных режимах диффузии фосфора ($t_p' = 45$ *мин*, $t_p = 1.5$ *ч*) имеем $x_{j\vartheta}^{\text{расч}} = 6.34$ *мкм*. При аналогичных условиях диффузии экспериментальное значение глубины эмиттерного перехода равно $x_{j\vartheta}^{\text{эксп}} = 7$ *мкм*. Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных значений глубины эмиттерного перехода объясняется тем, что диффузия фосфора происходит по межузловому механизму. Так, например, коэффициент диффузии фосфора в кремнии очень велик: $D_p = 3\cdot10^{-12}$ см^2/с при температуре $T' = 1150$°C, поэтому значительная доля атомов фосфора находится в межузловой решетке кремния, хотя диаметры их близки (у фосфора - $1.1\cdot10^{-4}$ *мкм*, а у кремния - $1.17\cdot10^{-4}$ *мкм*). Поскольку коэффициент диффузии в твердом растворе внедрения гораздо больше, чем коэффициент замещения, то именно диффузия определяет большое значение D_p. Этот механизм адекватно описывается уравнением второго закона Фика.

Определение числа Гуммеля силового транзистора. Для расчета максимального коэффициента усиления по току $h_{21\vartheta}$ силового транзистора пользуются моделью контролируемого заряда Гуммеля-Пуна [3]. При условии равенства единицы коэффициента переноса базы $h_{21\vartheta}$ определяется как [4]: $h_{21\vartheta} = (Q_\vartheta / D_\vartheta)/(Q_{bA}/D_b)$, где D_ϑ и D_b – эффективные коэффициенты диффузии неосновных носителей заряда в эмиттере и базе; Q_ϑ и Q_{bA} – так называемые эффективные числа Гуммеля для эмиттера и базы. Число Гуммеля Q_ϑ для эмиттера с учетом эффекта ВУЛ определяется выражением

$$Q_\vartheta = \int_0^{x_{j\vartheta}} N_\vartheta(x)\exp[-\Delta\varepsilon_G/(kT)]dx, \qquad (5)$$

где

$$N_\vartheta(x) = \frac{Q_p}{\sqrt{\pi D_p t_p}}\exp\left(-\frac{x^2}{4D_p t_p}\right) + \frac{Q_{Ga}}{\sqrt{\pi D_{Ga} t_{Ga}}}\exp\left(-\frac{x^2}{4D_{Ga} t_{Ga}}\right) \qquad (6)$$

В практических расчетах используют эмпирические аппроксимации зависимости сужения запрещенной зоны $\Delta\varepsilon_G$ от суммарной концентрации легирующей примеси $N_\vartheta(x)$. Одна из таких аппроксимаций для кремния вблизи комнатной температуры $250\ \text{K} \le T \le 350\text{K}$ имеет вид [5]

$$\Delta\varepsilon_G = V_1 \ln(N_+ / N_G), \qquad (7)$$

где сужение ширины запрещенной зоны $\Delta\varepsilon_G$ измеряется в $эВ$; V_1=0,025·10^{-14}=$эрг$, а эмпирическая постоянная $N_G \approx 10^{17}$ см$^{-3}$.

Совместно решив (5)-(7), разложив подинтегральную экспоненту по малому параметру

$$z = \frac{V_1}{kT}\frac{Q_{Ga}}{Q_p}\sqrt{\frac{D_p t_p}{D_{Ga} t_{Ga}}}\exp\left[\frac{x_{jp}^2}{4}\left(\frac{1}{D_p t_p} - \frac{1}{D_{Ga} t_{Ga}}\right)\right] \qquad (8)$$

и ограничившись линейным членом разложения, после интегрирования для Q_+ получим

$$Q_+ = \left\{Q_p \operatorname{erf}\left[\frac{x_{jp}\sqrt{1-V_1/(kT)}}{2\sqrt{D_p t_p}}\right] - Q_{Ga}\operatorname{erf}\left[\frac{x_{jp}\sqrt{1-V_1(kT)}}{2\sqrt{D_{Ga} t_{Ga}}}\right]\right\} \times$$

$$\times \frac{\exp\left[-\dfrac{V_1}{(kT)}\ln\left(\dfrac{Q_1}{N_G\sqrt{\pi D_p t_p}}\right)\right]}{\sqrt{1-V_1/(kT)}} \qquad (9)$$

Число Гуммеля $Q_{БА}$ для активной базы определяется в виде

$$Q_{БА} = \int_{x_{jk}}^{x_{jp}} N_+(x)dx. \qquad (10)$$

Подставив в (10) выражение (6), после простого интегрирования для $Q_{БА}$ получим

$$Q_{БА} = Q_p\left[\operatorname{erf}\left(\frac{x_{jk}}{2\sqrt{D_p t_p}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x_{jp}}{2\sqrt{D_p t_p}}\right)\right] -$$

$$-Q_{Ga}\left[\operatorname{erf}\left(\frac{x_{jk}}{2\sqrt{D_{Ga} t_{Ga}}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x_{jp}}{2\sqrt{D_{Ga} t_{Ga}}}\right)\right] \qquad (11)$$

Таблица

$h_{21э0}$	x_{jp}, *мкм*	x_{jk}, *мкм*	t_p, *ч*	t_{Ga}, *ч*
10.24	6	16	1.3	6,94
15.51	7	17	1.7	7,94
26,00	8	18	2.2	8,94
34,57	9	19	2.6	10,00
55,91	10	20	3.2	11.10

Согласно определению $h_{21э0}$, с учетом выражений (9) и (11) для максимального коэффициента усиления по току $h_{21э0}$ получим

$$h_{21э0}=\frac{D_Б}{D_э}\cdot\frac{\exp\left[-\frac{V_1}{kT}\ln\left(\frac{Q_p}{N_G\sqrt{\pi D_p t_p}}\right)\right]}{\sqrt{1-V_1/(kT)}}\times$$

$$\times\frac{\left\{Q_p\operatorname{erf}\left[\frac{x_{jэ}\sqrt{1-V_1/(kT)}}{2\sqrt{D_p t_p}}\right]-Q_{Ga}\operatorname{erf}\left[\frac{x_{jэ}\sqrt{1-V_1/(kT)}}{2\sqrt{D_{Ga}t_{Ga}}}\right]\right\}}{\left\{Q_p\left[\operatorname{erf}\left(\frac{x_{jk}}{2\sqrt{D_p t_p}}\right)-\operatorname{erf}\left(\frac{x_{jэ}}{2\sqrt{D_p t_p}}\right)\right]-Q_{Ga}\left[\operatorname{erf}\left(\frac{x_{jk}}{2\sqrt{D_{Ga}t_{Ga}}}\right)-\operatorname{erf}\left(\frac{x_{jэ}}{2\sqrt{D_{Ga}t_{Ga}}}\right)\right]\right\}}, \quad (12)$$

Согласно формуле (12), рассчитывается $h_{21э0}$ в зависимости от $x_{jэ}$ и x_{jk} при фиксированной толщине активной базы $x_{jk}-x_{jэ}=W_{БА}$. Полученные значения представлены в таблице.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Варданян А.А., Авагян Р.В., Малышева Л.И.** Исследование влияния глубины залегания эмиттерного перехода на коэффициент инжекции эмиттера силовых транзисторов серии ТК // Технология быстродействующих силовых полупроводниковых приборов: Сб. науч. ст. - Таллин: Валгус, 1984. - С. 112-116.
2. **Авагян Р.В. Варданян А.А., Киракосян Г.Г., Шагоян А.С.** Силовые твердотельные транзисторные ключи с многокаскадным усилением // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1990. - Т. 43, № 5. - С. 220 - 225.
3. **Киракосян Г.Г., Макарян Г.А., Шабоян А.С.** Определение условий надежной работы составного транзистора в режиме насыщения // Изв. НАН Армении. Сер. ТН - 1994. - Т. 37, № 1-2. - С. 49-52.
4. **Блихер А.** Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. - М.: Энергоатомиздат. 1986. - 265 с.
5. **Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А.** Полупроводниковые приборы. - М.: Энергоатомиздат. 1990. - 387 с.

НПП "Транзистор"

14.05.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). т. L. № 1. 1997. с. 40 - 45.

УДК 681.325.5

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Х.В. КЕРОПЯН. Э.А. КАЗАРЯН. Т.Ю. БАРОЯН

СТАЦИОНАРНОЕ УКРУПНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПОЛУМАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ղեկավարվող կիսամարկովյան գործընթացի լավարկման խնդրի չափի փոքրացման համար առաջարկվում է օգտագործել բարդ հավակարգերի հաստատուն խոշորացման մեթոդը: Ձևակերպվում են լեմմաներ, որոնք հաստատում են սկզբնական և խոշորացված դինամարկովյան կիսամարկովյան գործընթացների՝ միավոր ժամանակում միջին հաստատուն չահույթների և ղեկավարման լավարկված ռազմավարության հավասարությունը:

Предлагается использовать методы стационарного фазового укрупнения сложных систем для уменьшения размерности задач оптимизации управляемых полумарковских процессов. Формулируются леммы, утверждающие равенство средних стационарных доходов за единицу времени и оптимальных стратегий управления для исходного и укрупненного управляемых полумарковских процессов.
Библиогр.: 6 назв.

A stationary phase enlargement method of complex systems is proposed to decrease the dimensionality of controlled semimarkoff processes optimization tasks. Some lemmas affirming the equality between average stationary returns per unit of time and optimal control strategies for initial and enlarged controlled semimarkoff processes are formulated.
Ref. 6.

Модели управляемых полумарковских процессов (УПМП) нашли широкое применение в задачах надежности, технического обслуживания, структурной и параметрической оптимизации сетей ЭВМ и систем передачи данных [1, 2].

Особенностью задач оптимизации систем данного класса является большая размерность моделирующего функционирования исследуемой системы УПМП и соответствующей задачи математического программирования. Для решения проблемы больших размерностей задач оптимизации в настоящее время разработаны различные методы точного и приближенного агрегирования, декомпозиции и укрупнения [1-5]. В предлагаемой работе для задач оптимизации УПМП используются разработанные в [2, 5] алгоритмы и методы точного (стационарного) фазового укрупнения сложных систем. Перейдем к формулированию задачи.

Пусть $x(t, f)=(E, F, P^f(t), R^f)$ – эргодичный УПМП, определенный на конечном множестве состояний E: $E=(1, n)$; F – конечное множество стратегий управления: $F=(f)$; $F=\bigcup_{i\in E} F_i, F_i=(f_i^1,\cdots,f_{k_i}^i)$, F_i – множество, а k_i – количество управлений в i-ом состоянии УПМП; $P^f(t)$ - полумарковская матрица УПМП: $P^f(t)=\|P_{ij}^f(t)\|$ при f стратегии управления; R^f – вектор доходов за единицу времени пребывания УПМП в состояниях E при f стратегии управления: $R^f=(r_i^f;\ i\in E)$.

В качестве целевой функции оптимизации $x(t, f)$ используем средний стационарный доход за единицу времени, получаемый процессом при f стратегии управления g^f, $f\in F$. Тогда, согласно [3], задача оптимизации $x(t, f)$ может быть сформулирована следующим образом:

$$\max_{f\in F}\left(g^f=\sum_{i\in E}\eta_i^f r_i^f\rho_i^f \Big/ \sum_{i\in E}\eta_i^f\rho_i^f\right),\ \rho^f=\rho^f P^f,\ \sum_{i\in E}\rho_i^f=1,\ \rho_i\ge 0\ \ i\in E. \qquad (1)$$

где η_i^f – среднее время пребывания $x^f(t, f)$ в i-ом состоянии $i\in E$, равное $\eta_i^f=\sum_{i\in E}\int_0^\infty t dP_{ii}(t)$; P^f – матрица переходных вероятностей, вложенная в

x(t, f) цепи Маркова: $P^t = \lim_{t\to\infty} P^t$ (1); $P^t = \|P^t_{ij}\|$; ρ^t – вектор стационарного распределения, вложенный в x(t, f) цепи Маркова: $\rho^t = (\rho^t_i;\ i \in E)$

Основная трудность решения задачи (1) обусловлена большой размерностью P^t. Для уменьшения размерности задачи (1) воспользуемся алгоритмами точного фазового укрупнения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [2, 5]. Вначале рассмотрим алгоритм укрупнения однородных СЛАУ. Пусть задана СЛАУ

$$\rho = \rho P,$$

где $\rho = (\rho_1, \rho_2, \cdots, \rho_n)$ – левый собственный вектор матрицы P:

$$0 \le \rho_i \le 1,\ \ i = \overline{1,n},\ \ \sum_{i=1}^{n} \rho_i = 1;$$

$P = \|P_{ij}\|$ – стохастическая матрица с элементами $\sum_{j=1}^{n} P_{ij} = 1,\ \ 0 \le P_{ij} \le 1,$

$i, j = \overline{1,n}$.

Пусть n переменных разбиты на m групп, при этом в первую группу входят $\overline{1,n_1}$ переменные, во вторую - $\overline{n_1+1,\ n_2}$ и т.д., в m-ю группу - $\overline{n_{m-1}+1,\ n_m}$. Для построения укрупненной СЛАУ матрицы укрупнения C и C^{-1} определяются следующим образом:

$$C = \begin{pmatrix} \bar{\rho}_{(1)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \bar{\rho}_{(2)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \bar{\rho}_{(m)} \end{pmatrix};\quad C^{-1} = \begin{pmatrix} l_{(1)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & l_{(2)} & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & l_{(m)} \end{pmatrix},$$

где $\bar{\rho}_{(i)}$ и $l_{(i)}$ – соответственно левые и правые собственные векторы i-й "разреженной" системы с матрицей $\bar{P}_{(i)}$, $i = \overline{1,m}$:

$$\bar{\rho}_{(i)} = \bar{P}_{(i)},\ \ l_{(i)} = \bar{P}_{(i)} l_{(i)},$$

$$\sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} \bar{\rho}_{(i)j} = 1,\ \ 0 \le \bar{\rho}_{(i)j} \le 1,\ \ l_{(i)j} = 1,\ \ i = \overline{1,m},\ \ j = \overline{n_{i-1}+1,\ n_i}.$$

$P_{(i)}$ матрицы определяются из P с помощью обобщенного алгоритма Гаусса [6]. В частности, при m=2 для $\bar{P}_{(1)}$ и $\bar{P}_{(2)}$ имеем

$$\bar{P}_{(1)} = P_{11} + P_{12}(1 - P_{22})^{-1} P_{21},\ \ \bar{P}_{(2)} = P_{22} + P_{21}(1 - P_{11})^{-1} P_{12},$$

где P_{ij}, $i, j = \overline{1,2}$ – соответствующие подматрицы P. Укрупненная СЛАУ определяется в виде

$$\bar{\rho} = \bar{\rho}\bar{P},\ \ \sum_{i=1}^{m} \bar{\rho}_i = 1,\ \ 0 \le \bar{\rho}_i \le 1,\ \ i = \overline{1,m},\ \ \bar{P} = CPC^{-1}.$$

Для решения "разреженной", укрупненной и первоначальной СЛАУ справедливы соотношения

$$\hat{\rho}_i = \sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} \rho_j, \quad \bar{\rho}_{ij} = \rho_j / \hat{\rho}_i; \quad \rho_j = \hat{\rho}_i \bar{\rho}_{ij}; \quad i = \overline{1,m}, \quad j = \overline{n_{i-1}+1, n_i}.$$

Рассмотренный алгоритм можно использовать и для укрупнения неоднородных СЛАУ. Пусть задана СЛАУ:

$$x = xA + y. \qquad (2)$$

где $x = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$, $y = (y_1, y_2, \cdots y_n)$, $0 \le x_i$, $0 \le y_i$, $i = \overline{1,n}$, а элементы матрицы $A = \|a_{ij}\|$ удовлетворяют условиям

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \le 1, \quad 0 \le a_{ij} \le 1, \quad i,j = \overline{1,n}.$$

Для укрупнения (2) аналогично [2] построим вспомогательную однородную СЛАУ

$$\alpha = \alpha P; \quad \sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1, \quad 0 \le \alpha_i \le 1, \quad i = \overline{1,n}, \qquad (3)$$

где P – стохастическая матрица с элементами

$$P_{ij} = a_{ij} + r_i t_j, \quad r_i = y_i / \sum_{j=1}^{n} y_j, \quad t_j = 1 - \sum_{i=1}^{n} a_{ij}, \quad i,j = \overline{1,n}.$$

Для решений (2) и (3) справедливо соотношение $x_i = \alpha_i x$, $i = \overline{1,n}$, где

$$x = \sum_{j=1}^{n} y_j \Big/ \sum_{j=1}^{n} \alpha_j t_j.$$

Для укрупнения (2) на m групп воспользуемся рассмотренным для однородных СЛАУ алгоритмом укрупнения, откуда для решения (2) получаем

$$x_{ij} = x\alpha_{ij} = x\hat{\alpha}_i \bar{\alpha}_{ij} = \hat{x}_i \bar{x}_{ij}, \quad i = \overline{1,m}, \quad j = \overline{n_{i-1}+1, n_i},$$

где $\hat{x}_i = x\hat{\alpha}_i = x \sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} \alpha_j = \sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} x_j$, $\bar{x}_{ij} = \bar{\alpha}_{ij} = x_j / \hat{x}_i$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{n_{i-1}+1, n_i}$.

Из анализа полученных соотношений следует, что укрупнение (3) эквивалентно укрупнению (2) с теми же матрицами C и C^+. Для построения стационарно укрупненного УПММП $\hat{x}(t, \hat{\alpha}) = (\hat{E}, \hat{F}, \hat{R}^a, \hat{P}^a(t))$ предположим, что множество состояний $x(t, f)$ E расщеплено на m $(m < n)$ непересекающихся подмножеств E_i, $i = (1, m)$, $\bigcup_{i}^{m} E_i = E$.

Тогда $\hat{E}$ определяется укрупнением E_i, $i = (1, m)$ в одно состояние i, $i \in \hat{E}$; $\hat{E} = (1, m)$. Множество стратегии $\hat{F} = (\alpha)$ определяется следующим образом: $\hat{F} \bigcup_{i \in \hat{E}} F_i$, $F_i = \bigcup_{i \in I_i} F_i$, $i \in \hat{E}$, $|\hat{F}| = |F|$. Отметим, что каждой стратегии α, $\alpha \in \hat{F}$ однозначно соответствует стратегия Γ из F

Для построения вектора $\hat{R}^{\alpha}$ и матрицы $\hat{P}^{\alpha}(t)$ определим соответствующие матрицы укрупнения C^{α} и $C^{-\alpha}$:

$$C^{\alpha} = \begin{pmatrix} \bar{\rho}^{\alpha}_{(1)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \bar{\rho}^{\alpha}_{(2)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \bar{\rho}^{\alpha}_{(m)} \end{pmatrix}; \quad C^{-\alpha} = \begin{pmatrix} l_{(1)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & l_{(2)} & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & l_{(m)} \end{pmatrix},$$

где $\bar{\rho}^{\alpha}_{(i)}$ и $l_{(i)}$ – соответственно левые и правые собственные векторы, построенные на основе P^{α} на подмножествах E_i, $i \in \hat{E}$ "разреженных" матриц $\bar{P}^{\alpha}_{(i)}$, $i \in \hat{E}$:

$$\bar{\rho}^{\alpha}_{(i)} = \bar{\rho}^{\alpha}_{(i)} \bar{P}^{\alpha}_{(i)}; \quad \sum_{j \in E_i} \bar{\rho}^{\alpha}_{(ij)} = 1, \ i \in \hat{E}; \quad l_{(i)} = \bar{P}^{\alpha}_{(i)} l_{(i)}, \quad l_{(i)} = 1, \ j \in E_i, \ i \in \hat{E}.$$

Тогда $\hat{R}^{\alpha}$ и $\hat{P}^{\alpha}(t)$ определяются в виде

$$\hat{R}^{\alpha} = C^{\alpha} R^{1}; \quad \hat{P}^{\alpha}(t) = C^{\alpha} P^{1}(t) C^{-\alpha}.$$

Задача оптимизации $\hat{x}(t, \alpha)$ формулируется аналогично (1) следующим образом:

$$\max_{\alpha \in I} \left(\hat{g}^{\alpha} = \frac{\sum_{i \in \hat{E}} \hat{\eta}^{\alpha}_i \hat{r}^{\alpha}_i \hat{\rho}^{\alpha}_i}{\sum_{i \in \hat{E}} \eta^{\alpha}_i \bar{\rho}^{\alpha}_i} \right), \tag{4}$$

$$\hat{\rho}^{\alpha} = \hat{\rho}^{\alpha} \hat{P}^{\alpha}; \quad \sum_{i \in \hat{E}} \hat{\rho}^{\alpha}_i = 1, \ \hat{\rho}^{\alpha}_i \geq 0, \ i \in \hat{E}.$$

где

$$\hat{\eta}^{\alpha}_i = \sum_{j \in E_i} \int_0^{\infty} t \, dP^{\alpha}_{ij}(t); \quad \hat{P}^{\alpha} = \lim_{t \to \infty} \hat{P}^{\alpha}(t); \quad \hat{P}^{\alpha} = C^{\alpha} P^{t} C^{-\alpha}.$$

Для рассматриваемых УПМП $\hat{x}(t, \alpha)$ и $x(t, f)$ справедливы нижеследующие леммы.

Лемма 1. Средние стационарные доходы для исходного $x(t, f)$ и укрупненного $\hat{x}(t, \alpha)$ УПМП за единицу времени при условии $f = \alpha$ равны $\hat{g}^{t} = g^{t}$.

Доказательство:

$$g^{t} = \sum_{i \in E} \eta^{t}_i r^{t}_i \rho^{t}_i \Big/ \sum_{i \in E} \eta^{t}_i \rho^{t}_i = \sum_{i \in E} d^{t}_i r^{t}_i = \sum_{j \in \hat{E}} \sum_{i \in E_j} \hat{d}^{t}_j \bar{d}^{t}_i r^{t}_i = \sum_{j \in \hat{E}} \hat{d}^{t}_j \hat{r}^{t}_j = \hat{g}^{t},$$

где d^{t}, $\hat{d}^{t}$, $\bar{d}^{t}_i$ – векторы стационарных распределений исходного, укрупненного и j-го "разреженного" УПМП.

$$d^{t}_i = \frac{\rho^{t}_i \eta^{t}_i}{\sum_{i \in E} \rho^{t}_i \eta^{t}_i} = \frac{\bar{\rho}^{t}_i \bar{\rho}^{t}_i \eta^{t}_i}{\sum_{j \in \hat{E}} \sum_{i \in E_j} \hat{\rho}^{t}_j \bar{\rho}^{t}_i \eta^{t}_i} = \frac{\bar{\rho}^{t}_i \bar{\eta}^{t}_i}{\sum_{j \in \hat{E}} \hat{\rho}^{t}_j \hat{\eta}^{t}_j} \cdot \frac{\bar{\rho}^{t}_i \eta^{t}_i}{\bar{\eta}^{t}_i} = \hat{d}^{t}_j \bar{d}^{t}_i \quad \text{при} \ i \in E_j, \ j \in \hat{E}.$$

где

$$\rho_{ij}^{l} = \hat{\rho}_{i}^{l}\bar{\rho}_{ij} \text{ при } i \in E_{il},\ j \in \hat{E}.\ \hat{\eta}_{i} = \sum_{i \in E_{il}} \bar{\rho}_{ij}^{l}\eta^{l},\ j \in \hat{E}.$$

Лемма 2. Если $\alpha^{*} \in \bar{F}$ —оптимальная стационарная стратегия для укрупненного УПМП $\hat{x}(t,\ \alpha)$, то она оптимальна и для исходного УПМП $x(t,\ f)$. Доказательство леммы аналогично приведенному в [2] результату для цепей Маркова .

Таким образом, задача оптимизации $x(t,\ f)$ (1) размерности n сведена к аналогичной задаче оптимизации $\hat{x}(t,\ \alpha)$ (2) меньшей (желаемой) размерности m $(m < n)$. Основная сложность при построении $\hat{x}(t,\ \alpha)$ обусловлена процедурой определения матриц укрупнения C^{l} и C^{+l}. Соответствующие рекомендации по их построению для различного класса систем представлены в [2, 5]. Заметим, что при $\eta_{i}^{l} = 1,\ i \in E$ из представленных результатов можно получить результаты, приведенные в [2] для управляемых цепей Маркова.

Предложенная выше методика была применена для оптимизации структуры локальной десятиузловой сети с потоком из 15 задач. Сравнение результатов оптимизации первоначальной и укрупненной до двух узлов сети показало выигрыш времени в 3,7 раза при одинаковых величинах критерия оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Надежность и эффективность в технике**: Справочник /Под ред. Б.В. Гнеденко. - М.: Машиностроение, - Т. 2, 1987, - 267 с.
2. **Керопян Х.В., Керопян С.А., Асратян М.А.** Декомпозиция и укрупнение сетей массового обслуживания. - Деп. в Арм. НИИНИТИ 41 Ар. - 89, Деп. 1989, - 80 с.
3. **Мани Х., Осаки С.** Марковские процессы принятия решения. - М., 1977, - 223 с.
4. **Бабаджанян А.А.** Методы агрегирования. - Препринт ВЦ АН АрмССР. 82-3 - Ереван, 1982, - 42 с.
5. **Королюк В.С., Турбин А.Ф.** Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. - Киев: Наукова думка, 1982, - 376 с.
6. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. - М.: Наука, 1988, - 550 с.

ГИУА

10.10.1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 1, 1997, с. 46 - 51.

УДК 621.36. 338 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Р.И. ГЕВОРКЯН, К.М. БАБАЯН

ОБОСНОВАННОСТЬ ВЫБОРА ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА

Ցանկացած ճանաչման գործընթացի առաջին քայլն, առավել տեղեկատու ցուցանիշների ընտրությունն է. Այդ նպատակի իրագործման համար օգտագործված է հարցաթերթիկային մեթոդը՝ հիմնվելով անմիջական համեմատման միջոցով ցուցանիշներին հանձնապատվության տալուն, իսկ արդյունքները ստուգվել են վեց վարկածների օգնությամբ:

Первым шагом всякого процесса распознавания является выбор наиболее информативных признаков. Для этой цели использован метод анкетирования, основанный на предпочтении объектов путем их непосредственного сравнения. Результаты исследований проверялись с помощью шести гипотез.
Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

The first step for any recognition process is the choice of the most informative criteria. The questionary method based on the preference of the objects by their direct comparison was applied. The results of the studies were checked by means of six hypotheses.
Table 1. Ref. 4.

Любой объект или образ, подлежащий распознаванию и классификации, обладает рядом различительных качеств или признаков. Первым шагом всякого процесса распознавания является задача выбора различительных признаков и определения способа их выделения [3].

Данная задача усложняется, так как наиболее важные признаки не всегда можно легко измерить. Вынужденный компромисс при выборе признаков может привести к падению достоверности распознавания, а повышение размерности признакового пространства - к увеличению времени на обучение и принятию решений, материальных и трудовых затрат на измерение характеристик объектов. Поэтому необходимо, чтобы выбранная совокупность признаков была оптимальной и отражала те свойства объектов, которые важны для их распознавания.

Из сказанного очевидно, что выбор и выделение признаков играют в распознавании образов основополагающую роль. Выбор наиболее эффективных признаков позволяет снизить размерность вектора измерений.

Определенные трудности как в выборе системы наиболее информативных признаков, так и при решении задач распознавания вызывает наличие в исходной системе признаков наряду с количественными также и качественных признаков. Это привело к необходимости исследования и разработки специальных алгоритмов, работающих со смешанными системами признаков, либо переводящих качественные признаки в количественные. Нами было решено провести классификацию деталей, основанную на разделении некоего множества деталей на определенные подмножества, с учетом признаков отличия одной детали от другой по какому-либо критерию. Как показывает изучение специальной литературы, единого мнения в вопросе выбора состава признаков отличия деталей не сложилось. Однако, по мнению многих авторов, группировка

деталей должна производиться по технологическим признакам с учетом требований организации производства и управления [1, 2]. Авторы этих книг предлагают использовать следующие признаки: габариты деталей, форму основных обрабатываемых поверхностей, основной технологический маршрут обработки, массу деталей, показатель трудоемкости обработки деталей, объем производственного задания. Из предложенных признаков для классификации деталей, выпускаемых в механическом цехе одного из электротехнических заводов, был использован метод анкетирования, основанный на предпочтении объектов путем их непосредственного сравнения [3]. По мнению экспертов, основными признаками являются: масса детали, чистота обработки, число щеек, коэффициент ритмичности выпуска продукции, производственная программа выпуска детали, точность обработки, технологическая трудоемкость единицы продукции, длина вала, диаметр заготовки.

Для того, чтобы полнее использовать информацию, содержащуюся в анкетах, а также выяснить однородность состава опрашиваемых и выделить наиболее существенные факторы, перейдем к последовательной проверке результатов экспертных оценок с помощью шести гипотез. Гипотезы построены таким образом, что отрицательный ответ означает продолжение исследования, а положительный - окончание [4].

1. Гипотеза H_0^1. Первоначальная матрица рангов не адекватна матрице переформированных рангов. Адекватность перехода от матрицы первоначальных рангов к матрице переформированных рангов можно проверить по коэффициенту ранговой корреляции ρ (Спирмена)

$$\rho = 1 - 6\sum_{j=1}^{n} d_j^2 / (n^3 - n), \quad d_j = t_j^{(1)} - t_j^{(2)},$$

где $t_j^{(1)} = \sum_{i=1}^{m} x_{ij}^{(1)}$ — сумма рангов, поставленных i-ым экспертом j-му фактору в матрице первоначальных рангов; $t_j^{(2)} = \sum_{i=1}^{m} x_{ij}^{(2)}$ — сумма рангов, поставленных i-ым экспертом i-му фактору в матрице переформированных рангов; m — число опрошенных экспертов; n — число исследуемых факторов.

Если коэффициент ρ мало отличен от единицы, то матрица переформированных рангов адекватна первоначальной матрице. Принято считать, что коэффициент ρ мало отличен от 1, если его величина больше 0,90, и значительно отличается от 1, если его величина меньше 0,90.

Если гипотеза H_0^1 отвергается, переходим к проверке гипотезы H_0^2.

2. Гипотеза H_0^2. Нет согласованности во мнениях специалистов. Эта проверка гипотезы проводится с помощью коэффициента конкордации W, который рассматривается как отношение фактически полученной величины S к ее максимальному значению для данной группы экспертов m и числа факторов n, то есть

$$W = S/S_{max}, \; S_{max} = \frac{1}{2} nm^2(n^2 - 1), \quad S = \sum_{i=1}^{n} \left| \sum_{j=1}^{m} x_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right|^2.$$

Для того чтобы убедиться, что убывание не носит случайный характер, используем критерий χ^2 для проверки гипотезы:

$$\chi^2 = S\left|\frac{1}{12}mn(n+1) - \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{m} T_i\right|, \quad T_i = \frac{1}{12}\sum_{t_i}(t_i^3 - t_i),$$

где t_i — число одинаковых рангов в i-ом ряду.

Для оценки значимости коэффициента конкордации необходимо и достаточно, чтобы найденное значение $\chi^2_\infty = (n-1)m,W$ было больше табличного χ^2, определяемого числом степеней свободы $\lambda = n-1$, уровнем доверительной вероятности $P = 0{,}95 \cdots 0{,}99$.

Если χ^2_∞ больше табличного значения, то гипотезу H_0^2 о случайности в несовпадении мнений опрашиваемых следует считать отвергнутой. Если гипотеза H_0^2 отвергается, переходим к проверке гипотез H_0^3 и H_0^4.

3. Гипотеза H_0^3. Различие в оценках опрошенных специалистов по вопросу о степени влияния отобранных факторов на изучаемый процесс несущественно.

4. Гипотеза H_0^4. Различие во влиянии исследуемых факторов на изучаемый процесс несущественно. Гипотезы H_0^3 и H_0^4 проверяются одновременно с помощью дисперсионного анализа. Если гипотезы H_0^3 и H_0^4 подтверждаются, то необходимо заново произвести анкетирование и перейти к проверке гипотезы H_0^1.

Таблица

Дисперсионный анализ

Вариация	Степень свободы	Сумма квадратов	Дисперсия
Между специалистами	m - 1	$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\bar{x}_i - \bar{x}_{ij})^2$	S_1^2
Между факторами	n - 1	$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\bar{x}_j - \bar{x}_{ij})^2$	S_2^2
Остаточная	(m - 1)(n - 1)	$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + x_{ij})^2$	S_0^2
И Т О Г О	mn - 1	$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2$	-

Проверка гипотез H_0^3 и H_0^4 проводится по критерию F (критерий Фишера). Если $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$ для заданного уровня значимости, то гипотеза

H_0^3 отвергается, если же $F_{факт} > F_{табл}$, то гипотеза H_0^4 отвергается и можно перейти к проверке гипотезы H_0^5.

Гипотеза H_0^5. Нет определенной структуры влияния факторов. Под "структурой" понимается наличие таких влияний факторов, из которых: а) хотя бы одно влияние не равно нулю; б) хотя бы одно влияние отличается от других при проверке по некоторому критерию. Гипотеза H_0^5 подтверждается, если при некотором принятом уровне значимости α средние ранги по отдельным выборкам равны. В противном случае гипотеза отвергается и проводится поиск групп факторов, для которых данное предположение выполняется. Значимость отличия средних проверяется по критерию t (Стьюдента):

$$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \sqrt{(S_1^2 + S_2^2)/(n+1)},$$

где r, $g = 1,2,\cdots,n$.

При $t_{факт} > t_{табл}$ для заданного уровня значимости α и числа степеней свободы $(n-1)$ можно с вероятностью $P \geq 1-\alpha$ утверждать, что различие во влиянии факторов не случайно и эти факторы относятся к различным группам.

Если гипотеза H_0^5 отвергается, то переходим к проверке гипотезы H_0^6.

Гипотеза H_0^6. Влияние всех факторов подчиняется равномерному распределению. Гипотеза H_0^6 проверяется по критерию χ^2 (Пирсона). Величина χ^2 рассчитывается по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{m} (n_i - \hat{n}_i)^2 / \hat{n}_i,$$

где n_i – фактическое число попавших в интервал значений; $\hat{n}_i$ – математическое ожидание числа значений в этом интервале при равномерной плотности распределения вероятностей.

Критерий χ^2 рассчитывается по различному числу интервалов. Полученные результаты сравниваются. Если они устойчивы и хотя бы по некоторым факторам значение χ^2 больше табличного, то именно эти факторы в первую очередь должны учитываться при построении модели.

Если гипотеза H_0^6 отвергается, то анализ априорной информации считается законченным.

Для решения этой задачи был использован экспертный метод. Данные разосланных анкет были сведены в матрицу первоначальных рангов, после чего адекватность перехода этой матрицы к матрице переформированных рангов проверялась по коэффициенту ρ. Так как для данного случая коэффициент $\rho_{расч}$ равен 1,25 (т.е. мало отличен от 1), то гипотеза H_0^5 отвергается. Следовательно, можно проводить проверку гипотезы H_0^2 по коэффициенту конкордации $(W = 0,72)$. Значимость отличия W от нуля

проверялась по критерию Пирсона: $\chi^2_{расч} = 63.5$. Для степеней свободы $\lambda = n - 1 = 8$ и 5-процентного уровня значимости $\chi^2_{табл} = 10$. Отсюда гипотеза H_0^2 о случайности в согласованности мнений опрашиваемых отвергается.

Гипотезы H_0^3 и H_0^4 проверялись одновременно по критерию Фишера. Для этого значения S_1^2 и S_2^2 сравнивались со значением S_0^2. В числителе для расчета F_1 и F_2 всегда вставляется большая из сравниваемых дисперсий.

Сравнение расчетных значений критерия F ($F_{1расч} = 12.2$, $F_{2расч} = 9,86$, $m = 10$, $n = 8$) с табличными позволило сделать вывод о том, что полученные в результате анкетирования данные нельзя считать разнородными, т.е гипотезы H_0^3 и H_0^4 также отвергаются.

Переходим к проверке гипотезы H_0^5. Проверка осуществлялась с помощью критерия t. Сравнив расчетные значения критерия t ($t_{расч} = 1.2$) с табличными, для уровня значимости $P = 0.827$ можно утверждать, что имеется неслучайное различие между факторами в их влиянии на классификации объектов, т.е гипотеза H_0^5 также отвергается.

Гипотеза H_0^6 проверялась по критерию t. Проверка осуществлялась для группировки по трем интервалам и группировки по двум интервалам. Результаты, полученные для обоих вариантов, совпали.

Таким образом, анализ априорной информации можно считать законченным, а классификацию деталей, выпускаемых в механическом цехе одного из электротехнических заводов, по мнению опрошенных специалистов, можно осуществлять по вышеотмеченным признакам.

Резюмируя полученные результаты, были выделены важнейшие признаки для классификации валов, обрабатываемых в механическом цехе. С точки зрения опрошенных специалистов, кроме технических признаков, необходимо уделить особое внимание и признакам, характеризующим уровень организации труда и производства.

Так как конечной целью технологической классификации деталей является формирование производственных участков с предметной специализацией цехов, то практическое внедрение результатов исследования даст большой экономический эффект по ряду показателей предприятия:

– повысится производительность труда;

– сократятся сроки технической подготовки производства;

– уменьшатся затраты подготовительно-заключительного времени на настройку и переналадку станка;

– уменьшатся затраты на проектирование и изготовление специальной оснастки;

– повысится общий коэффициент использования станка по времени;

– снизится трудоемкость изготовления изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Варданян Л.Е.** Пути и методы совершенствования организации машиностроительного производства. - Ереван: Айастан, 1985. - 160 с.
2. **Петров В.А., Масленников А.Н.** Программно-целевая организация производства и оперативного управления. - Л.: Лениздат, 1984. - 176 с.
3. **Фомин Я.А., Тарловский Г.Р.** Статистическая теория распознавания образов. - М.: Радио и связь, 1986. - 263 с.
4. **Уотерман Д.** Руководство по экспертным системам. - М.: Мир, 1989. - 318 с.

ГИУА 20.10.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 1, 1997, с. 51 - 56.

УДК 62.529

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

С.Ш. БАЛАСАНЯН, Т.Ж. ПОГОСЯН

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕНЕЖНОГО ОБРАЩЕНИЯ

Մշակված է ՀՀ դրամաշրջանառության քոմփյութերային մոդել, որը հաշվի է առնում չուկայական տնտեսության անցման շրջանին բնորոշ պատահական գործոնների ազդեցությունը և հնարավորություն է ընձեռում նմանակային գիտափորձերի միջոցով քննարկել դրամավարկային քաղաքականության հնարավոր ուղղություններ:

Разработана имитационная модель обращения РА, которая учитывает влияние случайных факторов, характерных переходному периоду к рыночной экономике, и дает возможность с помощью имитационных экспериментов обсуждать возможные варианты денежно-кредитной политики .

Библиогр.: 4 назв.

A computer simulation model of money circulation has been developed. The model accounts various random factors influencing economics in transition and enables to exercise monetary policy by means of simulation experiments.

Ref. 4.

Учитывая, что банковская система РА, являющаяся одним из центральных звеньев системы финансовых структур, еще находится в процессе формирования и вместе с развитием рыночной экономики будет динамически развиваться, возникает острая необходимость в разработке математической модели денежного обращения РА, что дает возможность рассматривать альтернативные варианты денежно-кредитной политики (ДКП) и выбрать из них наилучший, не прибегая к нежелательным натурным экспериментам с непредсказуемыми последствиями.

Очевидно, переход экономики РА к свободной рыночной системе происходит под влиянием многочисленных случайных факторов и непредсказуемых явлений, характерных переходному периоду и обусловленных нынешним состоянием республики. Кроме того, реальные рыночные процессы носят вероятностный характер. Указанные обстоятельства препятствуют построению математической модели денежного обращения в аналитическом виде. Исходя из этого, в данной

работе разработана имитационная модель денежного обращения РА, базирующаяся на эконометрической модели денежного сектора [1, 2]. Разработанная модель, в отличие от базовой, учитывает реальное влияние на процесс денежного обращения случайных факторов и предоставляет возможность исследовать воздействие различных вариантов ДКП Центрального банка РА, реализуемой через коммерческую банковскую систему на следующие эндогенные переменные, характеризующие кратковременные и промежуточные цели ЦБ: средства обращения (находящиеся в обращении наличные деньги) y_1, бессрочные и срочные вклады y_2, y_3, объем закладных на недвижимость y_4, процентные ставки на государственные облигации и на закладные y_5, y_6.

Экзогенные переменные модели подразделяются на две группы.

Первая группа включает следующие средства воздействия ЦБ (управляющие переменные): долгосрочный долг бюджета по ценным бумагам g_1, правительственные депозиты g_2, суммарный объем средств обращения и собственных средств банков g_3, процентные ставки обязательных резервов по отношению к бессрочным вкладам и срочным вкладам g_4, g_5, учетная ставка ЦБ g_6.

Вторая группа включает следующие неденежные переменные, характеризующие состояние других секторов экономики и учитывающие влияние сезонных колебаний: общественное благосостояние (валовой внутренний продукт) x_1, личный доход, остающийся после уплаты налогов x_2, финансовые инвестиции x_3, суммарная стоимость недвижимости x_4, квартальные логические переменные ($L_{i=1,\dots,4}$) (L_i принимает значение 1 для рассматриваемого i-го квартала и 0- для остальных кварталов).

В качестве переменных состояния, которые позволяют описывать механизм воздействия ДКП на эндогенные переменные, выбраны следующие величины: объемы коммерческих ссуд и государственных ценных бумаг z_1, z_2, заимствованные и избыточные резервы z_3, z_4, свободные средства z_5, обязательные и полные резервы z_6, z_7, процентные ставки на коммерческие ссуды, государственные ценные бумаги, облигации казначейства и на срочные вклады z_8, z_9, z_{10}, z_{11}, показатель ликвидности активов банков (отношение объема коммерческих ссуд к суммарному объему вкладов) z_{12}.

Математическая модель денежного обращения включает следующие функциональные уравнения и тождества, описывающие зависимости между приведенными выше переменными:

$$z_1(t) = a_{10} + a_{11}z_1(t-1) + a_{12}\Delta(z_6(t)z_{10}(t)) + a_{13}\Delta(z_7(t)z_{11}(t)) + a_{14}x_1(t) - \sum_{i=1}^{4} d_{1i}L_i, \quad (1)$$

$$z_2(t) = a_{20} + a_{21}z_2(t-1) + a_{22}z_8(t) + a_{23}z_9(t)z_{11}(t) + a_{24}x_1(t), \quad (2)$$

$$z_3(t) = a_{30} + a_{31}z_3(t-1) + a_{32}z_8(t) + a_{33}z_9(t) + a_{34}z_6(t)g_6(t), \quad (3)$$

$$z_4(t) = z_5(t) + z_7(t), \quad (4)$$

$$z_5(t) = g_3(t) - y_1(t-1) - z_6(t). \quad (5)$$

$$z_6(t)=g_4(t)(y_2(t-1)+g_2(t))+y_3(t-1)g_5(t), \quad (6)$$

$$z_7(t)=z_4(t)+z_6(t). \quad (7)$$

$$z_8(t)=a_{8,0}+a_{8,1}z_8(t-1)+a_{8,2}\Delta g_5(t)+a_{8,3}z_{12}(t-1). \quad (8)$$

$$z_9(t)=a_{9,0}+a_{9,1}z_9(t-1)+a_{9,2}\Delta g_6(t). \quad (9)$$

$$z_{10}(t)=a_{10,0}+a_{10,1}z_{10}(t-1)+a_{10,2}\Delta g_5(t)+a_{10,3}\Delta(z_5(t)/z_6(t)). \quad (10)$$

$$z_{11}(t)=a_{11,0}+a_{11,1}z_{11}(t-1)+a_{11,2}z_{12}(t-1). \quad (11)$$

$$z_{12}(t)=z_1(t)/(y_1(t)+y_2(t)). \quad (12)$$

$$\hat{y}_1(t)=b_{1,0}+b_{1,1}y_1(t-1)+b_{1,2}y_2(t)+b_{1,3}z_{11}(t)x_1(t)+$$
$$+b_{1,4}+g_3(t)+\sum_{i=1}^{4}d_{2,i}l_i+u_1, \quad (13)$$

$$\hat{y}_2(t)=b_{2,0}+b_{2,1}y_2(t-1)+x_1(t)(b_{2,2}z_{11}(t)+b_{2,3}z_{10}(t))+b_{2,4}x_2(t)+$$
$$+b_{2,5}g_3(t)+\sum_{i=1}^{4}d_{3,i}l_i+u_2, \quad (14)$$

$$\hat{y}_3(t)=b_{3,0}+b_{3,1}y_3(t-1)+x_1(t)(b_{3,2}z_{10}(t)+$$
$$+b_{3,3}z_{11}(t))+b_{3,4}g_3(t)+\sum_{i=1}^{4}d_{4,i}x_{5,i}+u_3, \quad (15)$$

$$\hat{y}_4(t)=b_{4,0}+b_{4,1}y_4(t-1)+x_1(t)(b_{4,2}y_6(t)+$$
$$+b_{4,3}z_8(t))+b_{4,4}x_1(t)x_2(t)+\sum_{i=1}^{4}d_{5,i}l_i+u_4, \quad (16)$$

$$\hat{y}_5(t)=b_{5,0}+b_{5,1}y_5(t-1)+b_{5,2}\Delta z_{10}(t)+b_{5,3}z_{12}(t-1)+$$
$$+b_{5,4}\Delta g_1(t)+\sum_{i=1}^{4}d_{6,i}l_i+u_5, \quad (17)$$

$$\hat{y}_6(t)=b_{6,0}+b_{6,1}y_6(t-1)+b_{6,2}\Delta z_{10}(t)+u_6. \quad (18)$$

где t, $(t-1)$ — текущий и предыдущий кварталы; $\Delta(\bullet)$ — приращение значения переменной за текущий квартал; a_{ij}, b_{ij}, d_{ij} — константы (коэффициенты уравнений), $u_j, j=\overline{1,6}$ — случайные величины, с помощью которых формализуется воздействие случайных факторов на процесс денежного обращения.

Центральной частью модели является подмодель банковских резервов, включающая уравнения (3), (5) и (6). Эта модель описывает распределение суммарного объема собственных средств и средств обращения (переменной g_3, описывающей операции ЦБ на открытом рынке) между ее компонентами: средствами обращения y_1, обязательными резервами z_6 и свободными средствами z_5. Разбиение полных резервов на составляющие z_5, z_6, z_7 обусловлено различными способами их определения.

Обязательные резервы определяются тождеством (6) и уравнениями вкладов (14) и (15), где важную роль играет основное средство воздействия ЦБ на открытом рынке (переменная g_1).

Свободные средства z_4 определяются тождеством (5), как разность между переменной g_1 и суммарным объемом спроса на средства обращения и обязательные резервы.

Заимствованные резервы z_3 определяются потребностью банков (3), зависящей от явных и неявных ограничений, налагаемых ЦБ на переменные g_2,g_3,g_5 и на другие переменные.

Уравнения (3) - (7) и (13) описывают следующий механизм воздействия переменной g_1 на процесс установления уровня резервов: уменьшение g_1 приводит к уменьшению объемов вкладов и средств обращения, т.е. к уменьшению величины обязательных резервов, и банковская система с целью восстановления желаемого уровня свободных средств стремится к равновесию. Таким образом, при неизменном уровне свободных средств банковская система вынуждена сделать выбор между увеличением объема резервов и коэффициента использования существующих резервов.

Функционирование кредитных рынков описывается тремя подмоделями, каждая из которых включает по два уравнения.

Рынок коммерческих ссуд описывается уравнениями (11) и (8). Входящая в состав (8) переменная z_{12} учитывает внутреннее ограничение, наложенное на расширение активов банка. Уравнения (17) и (18) описывают рынок закладных на недвижимость. Включение этих уравнений в состав модели денежного обращения обосновывается тем, что поддержание нормальных потоков фондов в упомянутом рынке является одной из основных целей ЦБ. Рынок государственных ценных бумаг описывается уравнениями (2) и (9) соответственно краткосрочных и долгосрочных процентных ставок на эти активы. Включение указанной подмодели в состав модели денежного обращения обусловлено тем, что основным средством воздействия ЦБ на банковскую систему являются ценные бумаги казначейства.

Уравнение (11) описывает изменение процентной ставки на срочные вклады z_{11} в зависимости от изменения давления на банковскую систему, осуществляемого через ограничение на расширение активов z_{12}.

Рассмотренные выше подмодели позволяют совместно с уравнениями (13)-(18) имитировать на компьютере процесс денежного обращения как дискретный вероятностный процесс.

Переменная y_2, включенная в состав уравнения (13), наряду со средствами обращения является компонентой денежной массы, а процентная ставка срочных вкладов z_{11} умножается на благосостояние x_1, чтобы оно имело денежную размерность и отражало изменение цен. Наличие в (13) переменной g_1 отражает существенную связь между политикой ЦБ и объемом средств обращения, а учет квартальных переменных позволяет рассматривать сезонные колебания в спросе на средства обращения. Структура (14) аналогична структуре предыдущего уравнения. Здесь также включены произведение $z_{11} \cdot x_1$ и переменная g_5. С помощью переменной

x_2 учитывается влияние изменения личных доходов на объемы бессрочных вкладов. Включенное в уравнение (14) произведение $z_{10} \cdot x_1$ отражает влияние минфина (казначейства) на объемы бессрочных вкладов. Структура уравнений (15) - (18) проста и в особом пояснении не нуждается. Присутствующие в (15)-(18) произведения, содержащие переменную x_1, включены с той же целью, что и в уравнении (13).

С помощью переменной z_{12}, включенной в уравнение (17), учитывается влияние внутренних ограничений, налагаемых на расширение активов банка, процентную ставку ценных бумаг минфина (казначейства). На эту ставку влияет также изменение процентной ставки на облигации казначейства, которая, в свою очередь, оказывает существенное влияние на процентную ставку срочных вкладов (см. уравнение (18)).

Аддитивное влияние различных внутренних и внешних случайных факторов на эндогенные переменные учитывается с помощью коррелированных между собой нормально распределенных случайных величин u_j, $j=1,6$ с математическими ожиданиями 0 и дисперсиями σ_j^2, $j=1,6$.

На основании статистических данных, полученных в процессе функционирования банковской системы РА за 1994-1996 гг. и применения эконометрического пакета программ Eviews (WINDOWS) произведена оценка коэффициентов уравнений (1) - (18). Оценены также среднеквадратические отклонения эндогенных переменных, коэффициент детерминации R^2 и D – статистика Дербина-Уотсона для каждого уравнения, которые характеризуют их адекватность и пригодность.

С учетом статистических данных и уравнений (13)-(18) произведена также оценка ковариационной матрицы $\|cov(u_i, u_j)\|$ и дисперсий случайных величин u_j, $j=1,6$, которые необходимы для имитации их возможных реализаций на компьютере. В соответствии с соотношениями (1) - (18) разработана блок-схема моделирующего алгоритма процесса денежного обращения и составлена имитационная программа на языке C^{++} (WINDOWS). Модель обладает удобством проведения машинных экспериментов и необходимыми программными средствами обработки и отображения их результатов.

Кроме оценки адекватности отдельных подмоделей, с помощью коэффициента R^2 и D-статистики с применением прагматического подхода [1, 3] оценивались адекватность и пригодность разработанной имитационной модели в целом. В соответствии с этим подходом статистические данные о реальном процессе денежного обращения сравнивались с результатами машинных экспериментов. Сравнение фактических и имитированных временных зависимостей эндогенных переменных позволило визуально убедиться в их довольно хорошем совпадении. Применению более точных методов (спектральный анализ и т.п. [1, 3, 4]) для оценки адекватности разработанной модели препятствует малый объем статистических данных, использованных при построении модели, что обусловлено кратковременной деятельностью банковской системы РА, созданной в 1994 г.

С целью оценки чувствительности имитационной модели к различным вариантам ДКП и определения направлений изменения эндогенных

переменных, проводились следующие машинные эксперименты. При первом эксперименте рассматривался вариант ДКП, предполагающий уменьшение суммарного объема средств обращения и собственных средств банков (переменная g_3) на 0,25%. При втором и третьем экспериментах были увеличены процентные ставки на бессрочные g_4 и срочные g_5 вклады на 0,5%. Четвертый эксперимент осуществлялся при увеличении учетной ставки ЦБ на 0.5%.

На основании анализа результатов машинных экспериментов сделаны следующие основные выводы.

1. Во всех экспериментах наблюдаемые изменения эндогенных переменных и переменных состояния вследствие изменения управляющих переменных в основном подтверждают предположения об ожидаемых последствиях рассматриваемых вариантов ДКП и соответствуют логике и закономерностям реального процесса денежного обращения. Это свидетельствует о соответствии поведения разработанной модели и реального процесса денежного обращения.

2. Имитационная модель достаточно чувствительна к различным вариантам ДКП, что позволяет использовать ее для выбора наилучшего варианта ДКП.

3. Сравнительно низкая чувствительность некоторых эндогенных переменных связана с отсутствием в составе модели других секторов экономики.

С целью дальнейшего усовершенствования разработанной модели предусматривается включить в ее состав подмодели производственного и тех других неденежных секторов, которые взаимодействуют с процессом денежного обращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нейлор Т.** Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. - М.: Мир. 1975. - 500 с.

2. **Ford J.L.** Current Issues in Open Economy Macroeconomics. Paradoxes, Policies and Problems. - Aldershot, Hants: Edward Elgar, 1990. - 223 p.

3. **Шеннон Р.** Имитационное моделирование систем - Искусство и наука. - М.: Мир. 1978. - 418 с.

4. **Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C.** Time Series Analysis. Forecasting and Control. - Prentice-hall: Englewood Cliffs, N.J., 1994. - 598 p.

ГИУА

20.11.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 1, 1997, с. 57 - 61.

УДК 532.5.072.12

ГИДРАВЛИКА

С.М. КАЗАРЯН, А.В. АЙРАПЕТЯН, С.С. КАЗАРЯН

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРНЫХ РЕК И ИХ КРЕПЛЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ

Տրված են գետերի հուների և ափերի ողողման ու ամրացնող կառուցվածքների տեսակները, հիդրավլիկական մոդելավորման սկզբունքները և փորձարկման ծրագիրը. Տեղական ողողման դեմ պայքարելու համար որպես լավագույն տարրերակ առաջարկված է, երկու շեղ ջրանցքներով միջանցիկ խթան, որն ապահովում է նվազագույն ողողման խորության և առավելագույն տնտեսական արդյունավետություն:

Даны принципы гидравлического моделирования размыва русла и берегов горных рек и выбор типов сооружений крепления. Представлена программа проведения опытов в общих и конкретных случаях русловых отложений. В качестве укрепляющих сооружений для местного размыва предложены сквозные шпоры с двумя косоугольными каналами, обеспечивающими минимальный размыв и максимальный экономический эффект.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Hydraulic simulation principles of mountain river-bed and bank scours as well as selection of protection structures are given. A program for experiments both in common and particular cases of channel sediments is presented. Two oblique-angled canals providing minimum scour and maximum economical efficiency are proposed as protecting structures for scours.

Il. 2. Ref. 3.

Крепление русла и берегов горных рек производится с целью предотвращения их размывов, распространение которых может вызвать подтопления и размывы прибрежных земель и объектов.

Размещение в естественном или искусственном водотоке различных сооружений (водосбросов, мостовых опор, перемычек, подпорных стен и т.д.) приводит к возникновению областей повышенного воздействия на дно водотока. Это связано главным образом с наличием крупномасштабных "вихрей" и повышенной турбулентностью, определяемыми поверхностями раздела в потоке. Если дно русла в указанных областях не закреплено и грунт, находящийся на дне, не может противостоять этим воздействиям, то возникает локальный размыв дна и берегов, развивающийся до тех пор, пока гидродинамические силы и силы, препятствующие размыву, не уравновешиваются. Положение осложняется, если дно и берега потока в натуре сложены из мелкозернистого материала.

Изучение указанного явления в основном базируется на экспериментальных исследованиях с применением принципа гидравлического моделирования.

Целью исследования является изучение явления местного размыва русла реки Ардон (Северный Кавказ) на участке возведенной железобетонной стенки, ограждающей хвостохранилище Мизурской обогатительной фабрики. Разработаны мероприятия для укрепления участка

русла протяженностью в 1.0 км с целью предотвращения местного размыва и обеспечения безаварийной эксплуатации хвостохранилища.

При сооружении железобетонной подпорной стенки (длина 1 км, глубина фундамента 3 м и высота 4,5 м) с целью складывания за ней хвостов обогатительной фабрики русло реки Ардон сужается от 350 м до 60 м (в среднем). При этом поток реки приобретает избыточную энергию за счет увеличения удельного расхода воды на сравнительно коротком участке, которая приводит к размыву как в самом русле, так и непосредственно у подпорной стенки, то есть к местному размыву.

Большого внимания заслуживают экспериментальные и теоретические исследования [1 - 3]. Ввиду отсутствия общепринятой теории расчета местных размывов решение поставленных задач проводится методом модельных исследований.

Русло реки Ардон на участке подпорной стенки имеет три уклона:

$$i_1 = 0{,}011(\text{ГКО} - \text{ГК5+13}),$$

$$i_2 = 0{,}0199(\text{ГК5+13} - \text{ГК8}),$$

$$i_3 = 0{,}013(\text{ГК8} - \text{ГК9+99}).$$

По гранулометрическим составам установлен средний диаметр речных отложений $d_{ср} = 81{,}8$ мм. Максимальные расходы составляют 650 м^3/с при обеспеченности 0,5%. Средние скорости течения находятся в пределах 1,5...4,5 м/с, твердый сток составляет 281,10^3 м^3/г. Максимальная глубина размыва достигает 5 м, считая от ∇ ГВВ. Исходя из условий размыва русла р. Ардон, проектным институтом АрмНИИПроцветмет установлена глубина залегания фундамента подпорной ограничивающей стенки, равная 3 м.

На основе вышеизложенного, нами принято следующее направление исследования: изготовление модели русла и сооружений, изучение и установление экспериментальным путем глубины размыва в стесненной части русла и разработка мероприятий для его крепления.

Выбор переходных масштабов соответствующих параметров произведен по следующим соображениям: динамическая скорость потока v_{0*}, соответствующая началу размыва, согласно современным воззрениям, пропорциональна корню квадратному из диаметра d и относительной плотности $\rho^* = (\rho_1 - \rho)/\rho$ твердых частиц, где ρ_1 и ρ - плотности твердых частиц и воды соответственно.

Согласно [1],

$$v_{0*} = a\sqrt{\rho^* g d}. \qquad (1)$$

где $a = f(\mathrm{Re})$.

Исходя из теории моделирования русловых процессов, для автомодельной области получим

$$\alpha_{v_{0*}} = \sqrt{\alpha_\rho \alpha_d} \qquad (2)$$

Минимальный масштаб крупности частиц из условия автомодельности равен

$$\alpha_d \geq \frac{1}{\sqrt{\alpha_{\rho^*}}}\left(\frac{75}{\mathrm{Re}}\right)^{2/3}. \qquad (3)$$

Так как $\alpha_{v_0} = \alpha_v$ и $v_0 = v\sqrt{2/\lambda}$ [3], получим

$$\alpha_{v_0}^2 = \alpha_h = \alpha_d \cdot \alpha_{\rho_*} \alpha_\lambda^{-1}. \quad (4)$$

где λ – коэффициент сопротивления русла; α_h – масштаб глубины.

$\alpha_\lambda = 1$ только в том случае, если $\alpha_d = \alpha_h$. Из условия (3) и (4) получим

$$\alpha_h = (\alpha_{\rho_*}^{2/3} / \alpha_\lambda)(75/\mathrm{Re})^{2/3}. \quad (5)$$

Так как $\alpha_v = \alpha_h / \alpha_t$, получим

$$\alpha_v = \alpha_h^2 (\mathrm{Re}/\alpha_{\rho_*} 75)^{2/3}, \quad (6)$$

или $$\alpha_h = \sqrt{\alpha_v \left(75\alpha_{\rho_*}/\mathrm{Re}\right)^{1/3}}. \quad (7)$$

где $$\mathrm{R_e} = d\sqrt{gd\rho^*}/\nu. \quad (8)$$

Учитывая возможности лаборатории и диаметр частиц геологического отложения русла, линейный масштаб принят $\alpha_v = 1{:}60$, при котором имеем $\alpha_{\rho_*} = 1$, $\alpha_d = \alpha_h = \alpha_v$. Средневзвешенный диаметр модельного грунта составляет 1,4 *мм*. Указанный состав грунта модели получен с помощью соответствующих секций сит.

Для пересчета модельных глубин в натуре получим зависимость

$$h_н = \alpha_v h_м. \quad (9)$$

Для обеспечения подобия двух водотоков в данном случае используется критерий подобия Фруда — F_r, при котором $F_{rм} = F_{rн}$. С учетом этого для скорости получим $\alpha_v = \alpha_h^{1/2} = 0{,}129$, для расхода $\alpha_Q = \alpha_v^2 \cdot \alpha_t^{1/2} = 358 \cdot 10^{-4}$, для уклона $\alpha_i = \alpha_h / \alpha_t = 1$, для времени $\alpha_t = \alpha_l^{1/2} = 0{,}129$.

Согласно указанным масштабам, для модели получим следующие значения: максимальная скорость 0,72 *м/с*, расход воды при обеспеченности 1,0% - 28,3 *л/с*, а при обеспеченности 0,5% - 23 *л/с*, длительность проведения опыта 23 *мин*.

Модель состоит из насосной установки, приемного резервуара для воды, питающего напорного бака и трубопровода, соответствующей задвижки и измерительных приборов, приемного резервуара с водосливом для измерения расхода воды, успокаивающего резервуара, установленного при входе, состоящего из двух отсеков с дощатыми решетками для гашения энергии. Вода из второго отсека через горизонтальный порог поступает на модель.

Модель русла реки выполняется в виде лотка, левый борт которого изготовлен из бетона и имеет точное очертание ограждающей подпорной стенки. Правый борт имеет вид бетонной стенки, дно русла засыпано модельным грунтом по трем продольным уклонам; грунт засыпан по объему согласно гранулометрическому составу. Величины размыва фиксировались с помощью мерной иглы тастера.

При этом получили

$$H_м = (H_{R_p} + h - h')\ см.$$
$$H_н = (0{,}6H_м + 855)\ м. \quad (10)$$

где H_{R_0} – отметка репера на модели, $H_{R_0} = -49$ *см*; $h = 3 - П$ – превышение между репером и головкой тастера, $h' = 68.4 - \nabla_m$; ∇_m – показания тастера, *см*.

Исследования местного размыва русла проводились по следующей программе:

1. Изучение размывов русла без применения каких-либо мероприятий по креплению русла.

2. Изучение размывов русла с применением мероприятий по креплению русла в виде поперечных стен по всей ширине русла.

3. Изучение размыва русла с применением мероприятий по креплению его ныряющими шпорами.

4. Изучение размыва русла с применением мероприятий по креплению его скважными шпорами с тремя и двумя косоугольными каналами.

По результатам всех исследований установлено:

1) глубины размыва, соответствующие максимальному расходу, нанесены на план русла, и через каждые 0.25 *м* проведены линии равных глубин размыва - горизонтали. Из плана размыва устанавливается, что максимальная глубина размыва вдоль подпорной стенки и в отдельных точках достигает до 5.6 *м*, что больше глубины установки фундамента стенки. Следовательно, без крепления русла не обеспечивается безаварийная эксплуатация стенки и хвостохранилища;

2) за поперечными стенками образуется нижний бьеф с глубокими местными размывами, не обеспечивающими безаварийную эксплуатацию поперечной и подпорной стенок.

3) число и место установки ныряющих шпор, прикрепленных к оградительной стенке под углом 60°. Для предотвращения местных размывов на контуре шпоры предусматривается их поставить на каменную наброску, углубленную на 2 *м*, т.е. на отметке подпорной стенки.

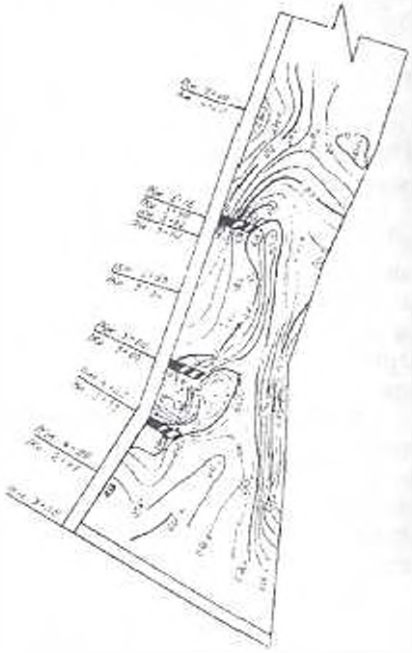


Рис. 1. План с горизонталями равных глубин размыва при креплении русла сквозными шпорами из двух косоугольных каналов

4) число и место установки двух типов сквозных шпор из трех и двух косоугольных каналов. Эти шпоры также поставлены на каменные наброски, углубленные на 2 м

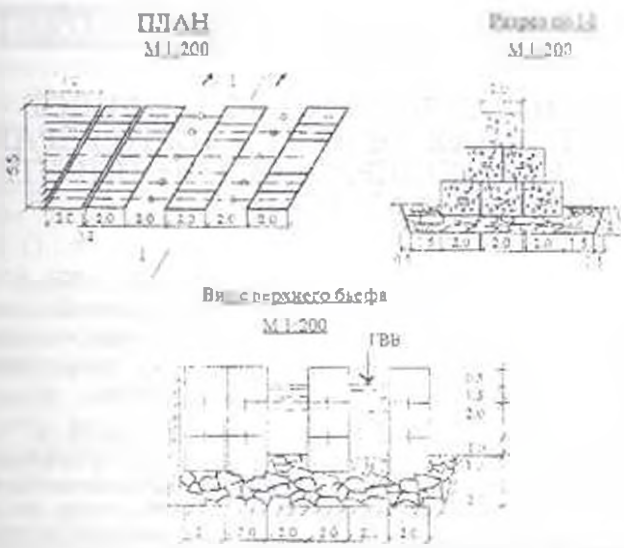


Рис.2. Гибкая сквозная шпора из двух косоугольных каналов

Анализ всех исследований позволил выбрать тип крепления русла по контуру подпорной ограждающей стенки в виде сквозных шпор из двух косоугольных каналов, имеющих преимущества и по минимальному размыву, и по экономическим соображениям. Установлены размеры, число и место их крепления (рис. 1,2).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вызго М.С.** К вопросу о местных размывах // Гидротехническое строительство. 1970. - № 9. - С. 19-27.
2. **Студеничников Б.Н.** Размывающая способность потока и методы русловых расчетов / ВОДГЕО. 1954. - 125 с.
3. **Леви И.И.** Моделирование гидравлических явлений. - Л.: Энергия, 1967. - 234 с.

Арм. сельск. академия

10.02.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. I., № 1, 1997, с.62 - 64.

УДК 669.33

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.Б. ГРИГОРЯН, Г.А. ХАЧАТРЯН

ТЕРМОРАЗЛОЖЕНИЕ СУЛЬФИДОВ - ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДЬ-ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ АРМЕНИИ

Գիտափորձերով ապացուցված է պղինձ-ոսկի պարունակող սուլֆիդային հարստանյութերի բարձր ջերմաստիճանային միափուլ լրիվ տրոհման տեխնոլոգիական հնարավորությունը՝ պղինձ - ոսկի պարունակող համաձուլվածքի, տարրական ծծմբի և սիլիկատային մնացորդի: Սրանով դրվում է Հայաստանում նոր, բնապահպանական տեսակետից մաքուր, հեռանկարային տեխնոլոգիայի մշակման հիմքը:

Экспериментально доказана технологическая возможность высокотемпературного одностадийного полного разложения медь-золотосодержащих сульфидных концентратов на медь золотосодержащий сплав, элементарную серу и силикатный остаток. Этим заложена основа для разработки и внедрения в Армении новой, экологически чистой, перспективной технологии.

Табл. 1

Technological possibility of high-temperature one-stage full decomposition of copper and gold-containing sulphide concentrates into a copper and gold-containing alloy, elementary sulphur and silicate remainder is expenmentally proved. This laid the foundations for the development and implementation of new ecologically pure, perspective technology in Armenia.

Table 1.

Добыча и переработка рудного сырья являются крупномасштабным источником загрязнения окружающей среды. Как правило, чем больше стадий в технологии и меньше степень использования сырья, тем больше происходит выбросов и ниже экологическая и экономическая эффективность производства. Одной из причин остановки Алавердского горно-металлургического комбината в 1989 г. были громоздкость его технологии и относительно низкая степень использования сырья.

Таблица

Компоненты	Состав исходных материалов								
	Cu	Fe	S	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Проч
Концентрат	18,0	30,0	35,6	6,0	0,8	1,0	3,2	-	5,4
Известь	-	-	-	2,5	1,5	72,5	5,5	2,5	15,5

Существующие и предложенные ранее варианты традиционных металлургических процессов с использованием различных реагентов (окислителей, восстановителей, сульфидизаторов и др.) извне не обеспечивают желаемого эффекта. Поэтому было одобрено предложение

авторов о создании новой - нетрадиционной, перспективной, одностадийной технологии на основе прямого термического разложения концентрата на металлы, элементарную серу и силикатный остаток. Эксперименты в этом направлении проводили на концентратах Капанской обогатительной фабрики с известью (табл.).

Опыты проводили на высокотемпературной установке опытной базы ЦНИИЧермет (г. Москва). Мощность установки - 360 *кВт*, емкость печи - 10 *кг* расплава. Установка нагревалась постоянным током 500-1200 *А* с напряжением на электродах 90 ...150 *В*. В опытах мощность печи колебалась в пределах 50...120 *кВт*. Атмосфера в печи нейтральная и поддерживалась аргоном со скоростью подачи 4 $м^3/ч$. Герметичная непрерывная пневмоподача навески в печь аргоном с различными скоростями (3...60 *кг/ч*) позволила избежать окисления разложенной газообразной серы и регулировать процесс по ходу его протекания. Усредненная рабочая температура в печи - 1400...1800 С, локальная - 3000°С и выше. Опыты проводили периодически с навесками 3...15 *кг*. Расплавленные продукты процесса охлаждали в печи, затем их вынимали и подготавливали для анализа. Интенсивное разложение сульфидов и связанная с этим низкая скорость удаления газообразной серы из печи через сводовые отверстия диаметром 68 *мм* привели к повышению давления внутри печи. Разложено 63,5 *кг* шихты, в том числе 58,2 *кг* концентрата и 5,3 *кг* извести.

Степень разложения концентрата в процентах определяли уравнением

$$СР = \frac{\{P_к П_S - [m_р - P_к (П_{Cu} + П_{Fe})]\}100}{P_к П_S}, \%$$

где $P_к$ — масса концентрата, *кг*; $П_S$, $П_{Cu}$, $П_{Fe}$ — доля соответственно серы, меди, железа в концентрате; $m_р$ — масса металлического расплава с сульфидными остатками, *кг*.

Степень разложения (СР) в опытах колебалась в пределах 61,5...100%. От повышения мощности на электродах увеличивалась степень разложения. При этом мощность на электродах должна была соответствовать скорости подачи шихты. В противном случае, температура процесса колебалась и отрицательно влияла на процесс. В данных экспериментах рабочая температура процесса была выше оптимально заданной (1450 С) и в 250...350°С. Поэтому удельный общий расход энергии $Э_{ир}$ составил в различных опытах 1466...2174 кВт·ч на тонну шихты.

Расчетный расход полезного тепла в процессе определяли уравнением

$$Q_{пт} = (Q_{шш} + Q_{шр} + \lambda_{сш} + \lambda_{ис} + Q_{рс}) - Q_{шл},$$

где $Q_{пт}$ — полезное тепло; $Q_{шш}$, $Q_{шр}$ — расходы тепла на превращение шихты и на нагрев расплава; $\lambda_{сш}$ — усредненное скрытое тепло плавления шихты; $\lambda_{ис}$ — скрытое тепло испарения серы; $Q_{рс}$ — расход тепла на разложение сульфидов; $Q_{шл}$ — приход тепла от шлакообразования.

Расчетный расход эквивалентный полезной энергии $Э_{11}$ на тонну шихты бывшего Алавердского горно-металлургического комбината составил 629 кВт·ч.

Процентное соотношение расхода полезного тепла:

$Q_{пш}$	$Q_{ир}$	$\lambda_{сп}$	$\lambda_{пс}$	$Q_{рс}$
40	4	3	2,86	50.14

Общий расход энергии $Э_{ор}$ зависит от условий проведения опытов, следовательно, от коэффициента использования энергии $К_{иэ}$:

$$Э_{ор}=Э_{п}/К_{иэ},\ кВт^{ч}/_{т}.$$

В данных экспериментах $К_{иэ}$ колеблется в широких пределах и составляет

$$К_{иэ}=Э_{п}/Э_{ор}=0,29...0,43.$$

Как видно, фактическое значение $К_{иэ}$ очень занижено. Это объясняется несоответствием скорости подачи шихты с мощностью на электродах. Мощность на электродах поддерживалась на заданном уровне. Однако из-за плохой работы пневмотранспорта не обеспечивается требуемая скорость подачи шихты в реакционную зону.

Таким образом, экспериментально доказана технологическая возможность одностадийного полного термического разложения медь-золотосодержащих сульфидных концентратов. Этим заложена основа для разработки и внедрения в Армении новой, экологически чистой, перспективной технологии.

ГИУА 31.03.1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 1, 1997, с. 64 - 67.

УДК 621.762

ՀԱՄԱՌՈՏ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ

Լ.Ե. ՄԱՐԳՅԱՆ, Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ժ.Հ. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ

ՄԱՔՈՒՐ ՄՈԼԻԲԴԵՆԱՓՈՇՈՒ ՍՏԱՑՈՒՄԸ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Դիֆերենցիալ-ջերմային եղանակով ուսումնասիրված է Քաջարանի մոլիբդենային խտանյութի բովվածքից ստացված մոլիբդենի անհիդրիդի վերականգնման գործընթացը: Բացահայտված են վերականգնման գործընթացում տեղի ունեցող ֆիզիկաքիմիական երևույթների մեխանիզմը և կինետիկան: Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության միջոցով ապացուցված է միափուլ մաքուր մոլիբդենափոշի ստացման հնարավորությունը:

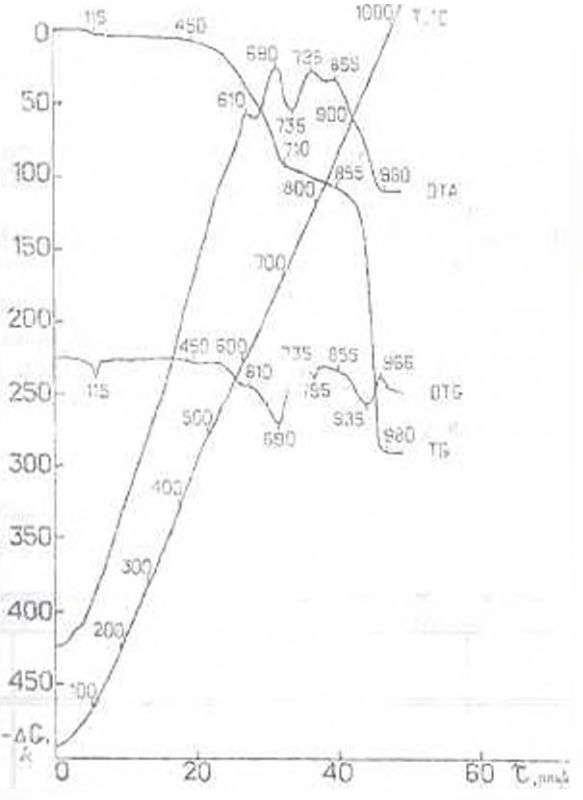
Методом дифференциально-термического анализа изучен процесс восстановления молибденового ангидрида, полученного из Каджаранского молибденового концентрата. Выявлены механизм и кинетика физико-химических явлений, происходящих в процессе восстановления. Посредством рентгеноструктурного анализа доказана возможность получения однофазного чистого порошка молибдена.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 2 наим.

The process of molybdenum anhydrite recovery is studied by the method of a differential thermal analysis. The anhydrite has been obtained from Kajaran molybdenum concentrate. The mechanism and kinetics of physical and chemical phenomena taking place in the recovery process have been revealed. The possibility of single-phase pure molybdenum powder obtaining is proved by an X-ray crystal analysis.

Ill. 1. Table 1. Ref. 2.

Հետազոտության նպատակն է եղել սեղմական հանքանյութերից առանձին մաքուր մոլիբդենատիպի էլեկտրատեխնիկական այդյունաբերության մեջ օգտագործելու համար: Դիտվող ելանյութ է ծառայել մոլիբդենի անհիդրիդը (MoO_3), որը սինթեզված է Քաջարանի մոլիբդենային խտանյութի բովվածքից: Անհիդրիդի վերականգնման գործընթացը, նրանում տեղի ունեցող ֆիզիկաքիմիական երևույթների և կինետիկան պարզաբանելու նպատակով ուսումնասիրվել է դիֆերենցիալ-ջերմային վերլուծության հղանսկով՝ Q - 1500 D սարքի օգնությամբ: Կիրառվել է օքսիդների բազմաջերմային վերականգնման սկզբունքը [1]: MoO_3-ի և լամպային մրի տարբերափական բաղադրությամբ խառնուրդի 0,630 նմուշը տեղադրվել է փակ խերե հալքանոթում, ջերմաստիճանի տեղնդիաս (20°C/րոպե անփոփոխ արագությամբ) բարձրացման պայմաններում: Որպես ստուգանմուշ է ծառայել 1200°C-ում թրծված ալյումինի օքսիդը (Al_2O_3):



Նկ. MoO_3-ի բազմաջերմային վերականգնման գործընթացի դիֆերենցիալ-ջերմային վերլուծության դրաֆիկները
TG-ն զանգվածի փոփոխության, DTG-ն զանգվածի փոփոխության արագության, DTA-ն դիֆերենցիալ ջերմային վերլուծության կորերն են, իսկ T,°C-ն՝ ջերմաստիճանի ժամանակային ֆունկցիան

Նկարում բերված դիֆերենցիալ բազմաջերմային վերլուծության TG, DTG և DTA կորերից պարզ երևում է, որ նմուշի զանգվածի փոփոխությունը 450...690°C ջերմաստիճանային տիրույթում և դրա հետ միասին գրացված ջերմանջատման երևույթը (610°C) պայմանավորված են պինդ ածխածնով վերականգնման գործընթացում առկա երկօդակային ռեակցիայով՝

$$MoO_3 + CO = MoO_2 + CO_2, \quad (1)$$

$$CO_2 + C = 2CO, \quad (2)$$

$$MoO_3 + C = MoO_2 + CO; \quad (3)$$

Այդ փուլի ջերմանջատման բնույթը համահունչ է (3) ռեակցիայի ազատ էներգիայի ջերմաստիճանային առնչության հայտնաբերմանը՝

$$\Delta G^{\circ}_{T(3)} = 45,95 - 0,16T \ \text{կՋ/մոլ}. \quad (4)$$

Գործընթացի երկրորդ փուլը (զանգվածի նվազումը 710...980°C տիրույթում) ուղեկցվում է ջերմանջատման երևույթով, որը պայմանավորված է MoO_2-ի վերականգնումով մինչև մետաղական մոլիբդեն՝ ըստ հետևյալ երկօդակային ռեակցիայի՝

$$MoO_2 + 2CO = Mo + 2CO_2, \quad (5)$$

$$2CO_2 + 2C = 4CO, \quad (6)$$

$$MoO_2 + 2C = Mo + 2CO, \quad (7)$$

որի ազատ էներգիայի ջերմաստիճանային ֆունկցիան հետևյալ տեսքի է՝

$$\Delta G^{\circ}_{T(7)} = 868,57 - 0,36\ T, \ \text{կՋ/մոլ} \quad (8)$$

980°C-ում վերականգնման գործընթացը լրիվ ավարտված է, որի մասին վկայում է նմուշի զանգվածի անփոփոխ լինելը (TG) և DTA կորի ընթացքը՝ ջերմաստիճանի հետագա բարձրացման դեպքում:

Դիֆերենցիալ-ջերմային վերլուծության արդյունքների հիման վրա օպտիմալ տեխնոլոգիական ռեժիմներում (առաջին փուլ՝ t=450...650°C, H_2=0,05...0,1 $մ^3/ժամ$, երկրորդ փուլ՝ t=850...950°C, H_2=0,2...0,3 $մ^3/ժամ$) վերականգնված մոլիբդենափոշու ռենտգենակառուցվածքային հետազոտության (DPOH-2, Cu-K_α) տվյալների համադրումը մոլիբդենի ստանդարտ տվյալների [2] հետ (աղյուսակ) վկայում է տեղական հումքից վերականգնման եղանակով միատիպ և մաքուր մոլիբդենափոշու ստացման հնարավորության մասին:

Աղյուսակ

Փորձարարական մոլիբդենափոշու ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության տվյալների համադրումը ստանդարտ տվյալների հետ 2θ = 85...140° C միջակայքում (λ.K_αCu)

Mo փորձարարական		Mo-ի ստանդարտ գծեր [2]		
d, × 10^{-7} սմ	I/I_0	d, × 10^{-7} մմ	I/I_0	hKl
2.220	100	2.225	100	110
1.571	23	1.574	21	200
1.285	45	1.285	39	211
1.1115	14	1.1127	11	220
0.9941	20	0.9952	17	310
0.9088	6	0.9085	7	222
0.8409	39	0.8411	26	321

Այսպիսով. դիֆերենցիալ-ջերմային վերլուծության եղանակով ուսումնասիրված է Քաջարանի մոլիբդենային խտանյութի բովվածքից ստացված մոլիբդենի անհիդրիդի վերականգնման գործընթացը: Բացահայտված են վերականգնման գործընթացում տեղի ունեցող ֆիզիկաքիմիական երևույթների մեխանիզմը և կինետիկան: Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության միջոցով ապացուցված է միաֆազ մարտր մոլիբդենավոր ստացման հնարավորությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. **Саркисян Л.Е.** Механизм и кинетика восстановления сложных оксидов системы SiO_2-Fe_2O_3 // Порошковая металлургия. - 1986. - № 10. - С. 51-57.
2. X-ray diffraction date cards, ASTM 4 - 809

ՀՊՃՀ 20.10.1996

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Ստակյան Մ.Գ. Օդում և կոռոզիոն միջավայրերում աշխատող մեքենամասերի հոգնածային դիմադրության հաշվարկների ծրագրային ապահովումը 3

Արզումանյան Ա.Մ., Մինասյան Ջ.Ա., Աղզումցյան Ա.Յու. Հպման գոտում տեղական չերմաստիհանների հաշվարկը լեռնային ապարների հարթ հոկման դեպքում 10

Շագոյան Ա.Գ. Մեքենաշինական ձեռնարկությունների շահութաբերության վիճակագրական վերլուծությունը 14

Խաչատրյան Վ.Ս., Բադալյան Գ.Ա. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգերի ռեժիմային պատասխանների զգայունությունները 17

Առաքելյան Վ.Պ., Խաչատրյան Կ.Վ., Խ. Իսլամ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի ոչ դիտելիք մասի ռեժիմային պարամետրերի հաշվումը 24

Փանոսյան Ժ.Ռ., Առաքելյան Ա.Օ. Ենգիբարյան Ե.Վ., Թոդոսյան Գ.Գ. Արեգակնային էներգիայի ֆոտոէլեկտրական կերպափոխիչների օ.գ.գ-ի և երկարակեցության բարձրացումը 30

Կիրակոսյան Գ.Հ., Մակարյան Գ.Ա., Ա.Ս. Շաքոյան. Ուժային տրանզիստորի ըստ հոսանքի առավելագույն ուժեղացման գործակցի հետազոտությունը լեգիրացման բարձր մակարդակի դեպքում 36

Ջերոփյան Խ.Վ., Ղազարյան Է.Ա., Բարոյան Տ.Յու. Կիսամայրկովյան գործընթացների կայունացված մեծացումը 40

Գևորգյան Ռ.Ն., Բաբայան Կ.Մ. Հատկանիշների ընտրության հիմնավորումը արտադրական օբյեկտների դասակարգման համար 46

Բալասանյան Ս.Շ., Պողոսյան Տ.Ժ. Դրամական շրջանառության նմանակային մոդելավորումը 51

Ղազարյան Ս.Մ., Հայրապետյան Ա.Վ., Ղազարյան Ս.Ս. Լեռնային գետերի և նրանց ամրացման մոդելային հետազոտումը տեղական ողողումը կանխելու համար 57

Գրիգորյան Գ.Բ., Խաչատրյան Գ.Ա. Սուլֆիդների ջերմաստիմումը՝ Հայաստանի պղինձ-ոսկի պարունակող հարստանյութերի մշակման նեռանկարային տեխնոլոգիա 62

Սարգսյան Լ.Ե., Հովհաննիսյան Ա.Մ., Ղուկասյան Ժ.Հ. Մաքուր մոլիբդենապողի ստացումը վերականգնման եղանակով 64

СОДЕРЖАНИЕ

Стакян М.Г. Программное обеспечение расчетов сопротивления усталости деталей, работающих на воздухе и в коррозионных средах . 3
Арзуманян А.М., Минасян З.А., Агузумцян А.Ю. Расчет локальных температур в зоне контакта при плоском шлифовании горных пород 10
Шагоян А.Г. Статистический анализ рентабельности предприятий машиностроения 14
Хачатрян В.С., Бадалян Г.А. Чувствительность режимных параметров электроэнергетических систем 17
Аракелян В.П., Хачатрян К.В., Ислам Х. Определение режимных параметров ненаблюдаемой части электроэнергетической системы . . 24
Паносян Ж.Р., Аракелян А.О., Енгибарян Е.В., Торосян Г.Г. Повышение КПД и долговечности фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии 30
Киракосян Г.Г., Макарян Г.А., Шабоян А.С. Исследование максимального коэффициента усиления по току силового транзистора с учетом эффекта высокого уровня легирования 36
Керопян Х.В., Казарян Э.А., Бароян Т.Ю. Стационарное укрупнение управляемых полумарковских процессов 40
Геворкян Р.Н., Бабаян К.М. Обоснованность выбора признаков для классификации объектов производства 46
Балоанян С.Ш., Погосян Т.Ж. Имитационное моделирование денежного обращения 51
Казарян С.М., Айрапетян А.В., Казарян С.С. Модельное исследование горных рек и их крепление для предотвращения местных размывов 57
Григорян Г.Б., Хачатрян Г.А. Терморазложение сульфидов – перспективная технология переработки медь-золотосодержащих концентратов Армении 62
Саркисян Л.Е., Оганесян А.М., Гукасян Ж.А. Получение чистого молибденового порошка методом восстановления 64

CONTENTS

Stakyan M.G. Software for Fatigue Resistance Calculations of Machine Parts Operating in the Open Air and Corrosion Environments 3

Arzumanyan A.M., Minassyan Z.A., Aguzumtsyan A.Yu. Calculation of Local Temperatures in a Contact Zone for Rock Surface Grinding 10

Shagoyan A.G. Statsistic Analysis of Mechanical Engineering Enterprise Rentability 14

Khachatryan V.S., Badalyan G.A. Operating Parameter Sensitivity of the Electric Power System 17

Arakelyan V.P., Khachatryan K.V., Islam Kh. Parameter Decision Determination on Nonobservable Part of the Electric Power System 24

Panossyan J.R., Arakelyan A.O., Engibaryan E.V., Torossyan G.G. Effeciency and Longevity Increase of Photovoltaic Converters for Solar Energy 30

Kirakossyan G.G., Makaryan G.A., Shaboyan A.S. Investigation of Power Transistor Maximum Current Gain with High Doping Effect 36

Keropyan Ch, Kazaryan E.A., Baroyan T.Yu. Stationary Enlargement of Controlled Semimarkoff Processes 40

Gevorkyan R.N., Babayan K.M. Criterion Option Soundness for Classification of Production Objects 46

Balassanyan S.Sh, Poghossyan T.Zh. Money Circulation Simulation 51

Ghazaryan S.M., Hairapetyan A.V., Ghazaryan S.S. Model Investigation of Mountain Rivers and their Protection against Scours . . . 57

Grigoryan G.B., Khachatryan G.A. Thermal Decomposition of Sulphides as Perspective Technology for Processing Copper and Gold-containing Concentrates in Armenia 62

Sarkissyan L.E., Hovhanessyan A.M., Ghukassyan Zh.H. Pure Molibdenum Powder Production by the Recovery Method 64