

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ,
Ն.Վ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Ֆ.Տ. ՍԱՐԿՍՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԿՍՅԱՆ, Վ.Ս.
ՍԱՐԿՍՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
(պատասխանատու քարտուղար), Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Հ.Զ. ՔՈՉԻՆՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), Р.В. АТОЯН (зам. глав. редактора), С.М.
КАЗАРЯН, Г.ДЖ. КОЧИНЯН, Н.В. МАНУКЯН, В.З. МАРУХЯН, В.С.
САРКИСЯН, Ф.Т. САРКИСЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, М.Г. СТАКЯН (зам. глав.
редактора), З.К. СТЕПАНИЯН (ответ. секретарь), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав.
редактора), В.С. ХАЧАТРЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editorial-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)

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային
շարվածքը
եւ ձեւավորումը՝

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2002

М.Г. СТАКЯН, А.Р. ДЕМИРХАНИЯН, А.А. СОГОМОНЯН

ПОСТАНОВКА ОПТИМАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ

Сообщение 1. Расчетная методика и алгоритм статистического эксперимента

Разработаны методика и алгоритм минимизации объема и длительности испытаний на усталость. Используя метод датчика случайных чисел и результаты ранее выполненных массовых испытаний на усталость, на ЭВМ реализованы серии многочисленных искусственно генерированных отдельных выборок, объемы которых постепенно уменьшаются. Для каждой серии отдельных выборок, при постоянном объеме данных, рассчитаны основные статистические характеристики, произведена проверка соответствия нормальности распределения и получены их эмпирические функции распределения.

Ключевые слова: испытания на усталость, статистический эксперимент, совокупность, выборка, объем и продолжительность испытаний.

Повышение точности оценок характеристик механических свойств материалов и других исследуемых параметров в рамках одномерной статистической задачи и применение рациональной методики обработки данных при минимальном объеме экспериментов являются одной из основных проблем планирования механических испытаний. В связи с относительно высокой стоимостью реализации длительных испытаний (на усталость, трение и износ, ползучесть и др.) наряду с обеспечением необходимой точности оценок немаловажное значение приобретают экономические и временные аспекты планирования испытаний [1].

Точного решения задачи оптимизации длительных испытаний не существует, а предложенные зависимости и рекомендации несколько громоздки и требуют предварительной информации о характере изменения основных статистик исследуемых параметров [1-3], в связи с чем носят приближенный характер. Эффективность планирования в конечном итоге зависит от достоверности построения медианной эмпирической функции распределения и ее доверительных границ.

Точность расчетных оценок связана с необходимостью проведения массовых испытаний, реализуемых парком параллельно работающих лабораторных установок. Однако после определенного объема испытаний дальнейшее его увеличение приводит к незначительному и экономически необоснованному повышению точности оценок за счет полного охвата “массива” данных. Несмотря на большое количество экспериментальных исследований по отдельным видам механических испытаний, нет четких рекомендаций об устойчивости медианных значений исследуемых параметров и законе изменения их дисперсий в связи с вариацией объема выборки, поэтому назначение этого объема производится приближенными методами, без строгих статистических оценок, учитывающих свойства материала, параметры технологических процессов и условия испытаний,

и в большинстве случаев носит интуитивный характер. Это положение нашло свое отражение в стандартах и справочной литературе [1-3].

Из одномерных статистических задач рассмотрена наиболее характерная и распространенная - испытания на усталость при заданном уровне перенапряжений σ_i . Используя результаты ранее проведенных массовых испытаний на усталость (консольный изгиб с вращением образцов из алюминиевого сплава АВ, $d=7,5$ мм) [1], на ЭВМ можно реализовать статистический эксперимент и с помощью метода ДСЧ (датчик случайных чисел) моделировать реальный случайный процесс получения опытных данных при работе машинного парка испытательной лаборатории. Цель эксперимента - разработка инженерного метода и рекомендаций для минимизации объема и суммарной длительности испытаний с учетом заданного уровня ошибки исследуемых параметров.

Для вероятностной оценки циклической долговечности деталей в области многоциклового усталости приняты уравнения медианной функции распределения логарифмов долговечностей ($x_i = \lg N_i$) и ее доверительных границ (верхних - "в", нижних - "н") [1]:

$$\hat{x}_p = \bar{x} + z_p s; \quad (1)$$

$$x_p^{(в,н)} = \bar{x} \pm t'_\beta s / \sqrt{n}; \quad (2)$$

$$t'_\beta = \left[\left(1 - \frac{1}{4k}\right) \Delta + z_\beta \sqrt{\left(1 - \frac{1}{4k}\right)^2 - \frac{z_\beta^2}{2k} + \frac{\Delta^2}{2k}} \right] / \left[\left(1 - \frac{1}{4k}\right)^2 - \frac{z_\beta^2}{2k} \right], \quad (3)$$

где $\Delta = z_p \sqrt{n}$ - параметр нецентральности; $\bar{x}$, s - выборочные среднее и с.к.о. вариационного ряда; z_p , z_β - квантили функции Лапласа соответственно для заданных уровней вероятностей неразрушения $P(N)$ и β (обычно $\beta = 1 - \alpha = 0,95$); t'_β - квантиль уровня β нецентрального распределения Стьюдента для "степеней свободы" $k = n - 1$; α - уровень значимости (надежность вывода).

Для реализации статистического эксперимента аналогично [4] разработан следующий вычислительный алгоритм: 1. Общая часть. 2. Генерация искусственных выборок и расчет их статистик. 3. Определение вероятностных значений статистик, коэффициентов относительных ошибок и сокращения длительности испытаний. 4. Составление номограмм относительных коэффициентов.

1. Первоначально из общей совокупности данных $x_i = \lg N_i$, $i = \overline{1, n_0}$ составляют вариационный ряд логарифмов циклических долговечностей $\lg N_i$, и каждому члену ряда присваивают трехзначный код. Определяют суммарную долговечность $\sum_{i=1}^{n_0} N_i$ и ее логарифм $\lg \sum_{i=1}^{n_0} N_i$, характеризующие машинное

время испытаний для общей совокупности, а также статистики вариационного ряда:

$$\bar{X}_o = \sum_{i=1}^{n_o} x_i / n_o, s_o^2 = \frac{1}{(n_o - 1)} \left[\sum_{i=1}^{n_o} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} x_i \right)^2 / n_o \right], v_o = s_o / \bar{X}_o. \quad (4)$$

Затем производят комплексную проверку нормальности распределения общей совокупности по критериям согласия w , ω^2 , λ и χ^2 (программа SMDA1) [5].

2. Согласно схеме проведения статистического эксперимента (табл.1) из общей совокупности данных генерируются искусственные выборки.

Таблица 1

Схема статистического эксперимента

Объем выборки	$n_o = 500$ (общая совокупность)	n_1	n_2	n_3	$\dots$	n_i	$\dots$	n_m
Количество повторных выборок при $n_i = \text{const}$	1	u_1	u_2	u_3	$\dots$	u_i	$\dots$	u_m

Примечания: 1. Значения $n_i(u_i)$ для каждой серии экспериментов равны:

$$n_i(u_i) = 450(5), 400(6), 350(7), 300(8), 250(10), 200(15), \\ 175(20), 150(25), 125(30), 100(40), 90(50), 80(60), \\ 70(70), 60(80), 50(90), 40(100), 30(100).$$

2. Серии статистических экспериментов: $i = \overline{1, m}$, $m = 17$.

3. Общее число выборок - $1 + \sum_{i=1}^m u_i$.

Для этого, используя стандартную программу RANDOM [6], производится генерация кодов, их случайный отбор и анализ, отбрасывание повторно попавшихся кодов и окончательное формирование отдельной выборки объемом n_i , а по ней - вариационного ряда. С целью обеспечения сходимости результатов вычислений формирование объема n_i и расчеты по нему повторяются u_i раз по принципу организации независимых статистических экспериментов, причем с увеличением значений n_i частота повторных вычислений u_i постепенно затухает (табл.1). Для каждого вариационного ряда k объемом $v = \overline{1, n_i}$ согласно (4) определяют статистики $\bar{X}_k$, s_k^2 , v_k , а также логарифм суммарной

долговечности ряда $\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_k$. По завершении каждой серии вычислений (n_i, u_i)

с целью обобщения результатов составляют вариационные ряды значений $\bar{X}_k$, s_k^2 , v_k , $\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_k$, $k = \overline{1, u_i}$, аналогично (4) вычисляют средние $\bar{X}_i$, s_i^2 , v_i ,

$\lg \sum_{\nu=1}^{n_i} N_i$, а также их с.к.о. и коэффициенты вариации (5), а затем формируют одномерную статистическую таблицу для серии вычислений (n_i, u_i) (табл.2).

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_i &= \sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k / u_i, \quad s_{\bar{x}_i}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k \right)^2 / u_i \right], \quad v_{\bar{x}_i} = s_{\bar{x}_i} / \bar{x}_i; \\ s_i^2 &= \sum_{k=1}^{u_i} s_k^2 / u_i, \quad s_{s_i^2}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} (s_k^2)^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} s_k^2 \right)^2 / u_i \right], \quad v_{s_i^2} = s_{s_i^2} / s_i^2; \\ v_i &= \sum_{k=1}^{u_i} v_k / u_i, \quad s_{v_i}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} v_k^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} v_k \right)^2 / u_i \right], \quad v_{v_i} = s_{v_i} / v_i; \\ \lg \sum_{k=1}^{u_i} N_i &= \sum_{k=1}^{u_i} \lg \sum_{\nu=1}^{n_i} N_k / u_i, \\ s_{\lg \sum N_i}^2 &= \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} \left(\lg \sum_{\nu=1}^{n_i} N_k \right)^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} \lg \sum_{\nu=1}^{n_i} N_k \right)^2 / u_i \right], \\ v_{\lg \sum N_i} &= s_{\lg \sum N_i} / \lg \sum_{\nu=1}^{n_i} N_i. \end{aligned} \right\} .(5)$$

Проверяют однородность ряда дисперсий s_k^2 по критерию Кочрена [1]:

$$G_{\max} = s_{\max}^2 / \sum_{k=1}^{u_i} s_k^2 \leq G_{\max, \alpha}, \quad (6)$$

где $s_{\max}^2$ - максимальная дисперсия вариационного ряда s_k^2 ; $G_{\max, \alpha}$ - критерийное значение $G_{\max}$ при $\alpha = 0,05$, $k = n - 1$.

Следует доказать также, что генерированные вариационные ряды $k = \overline{1, u_i}$ (табл.2) являются выборками одной и той же общей совокупности, т.е. произвести однофакторный дисперсионный анализ. Для этого определяют дисперсию между вариационными рядами S_I^2 и остаточную дисперсию (внутреннюю) S_{II}^2 :

$$\left. \begin{aligned} s_I^2 = s_{\bar{x}_i}^2 &= \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k \right)^2 / u_i \right]; \\ s_{II}^2 &= \frac{1}{u_i(n_i - 1)} \left[\sum_{k=1}^{u_i} \sum_{v=1}^{n_i} x_{kv}^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} \sum_{v=1}^{n_i} x_{kv} \right)^2 / n_i u_i \right]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Проверку “нулевой” гипотезы однородности выборочных средних производят согласно F-критерию

$$F = s_I^2 / s_{II}^2 \leq F_{1-\alpha}, \quad (8)$$

где $F_{1-\alpha}$ - критериальное значение F при $\alpha = 0,05$, $k_1 = u_i - 1$, $k_2 = u_i(n_i - 1)$.

Если удовлетворяется условие (8), определяют выборочную полную (общую) дисперсию s^2 :

Таблица 2

Схема вычислений для одной серии статистических экспериментов ($n_i = \text{const}$)

К-во повторных выборок	Вариационные ряды x_{kv} , $k = \overline{1, u_i}, v = \overline{1, n_i}$	$\bar{x}_k$	s_k^2	v_k	$\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_k$
1	$x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1v}, \dots, x_{1n_i}$	$\bar{x}_1$	s_1^2	v_1	$\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_1$
2	$x_{21}, x_{22}, x_{23}, \dots, x_{2v}, \dots, x_{2n_i}$	$\bar{x}_2$	s_2^2	v_2	$\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_2$
3	$x_{31}, x_{32}, x_{33}, \dots, x_{3v}, \dots, x_{3n_i}$	$\bar{x}_3$	s_3^2	v_3	$\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_3$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
k	$x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}, \dots, x_{kv}, \dots, x_{kn_i}$	$\bar{x}_k$	s_k^2	v_k	$\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_k$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
u_i	$x_{u_i 1}, x_{u_i 2}, x_{u_i 3}, \dots, x_{u_i v}, \dots, x_{u_i n_i}$	$\bar{x}_{u_i}$	$s_{u_i}^2$	v_{u_i}	$\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_{u_i}$
Обобщенные статистики	средние значения	$\bar{x}_i$	s_i^2	v_i	$\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_i$
	среднеквадратические отклонения	$s_{\bar{x}_i}^2$	$s_{s_i^2}^2$	$s_{v_i}^2$	$s_{\lg \sum N_i}^2$
	Коэффициенты вариации	$v_{\bar{x}_i}$	$v_{s_i^2}$	v_{v_i}	$v_{\lg \sum N_i}$

Примечание. $x_{kv} = \lg N_{kv}$.

$$s^2 = \frac{1}{n_i u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} \sum_{v=1}^{n_i} x_{kv}^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} \sum_{v=1}^{n_i} x_{kv} \right)^2 / n_i u_i \right], \quad (9)$$

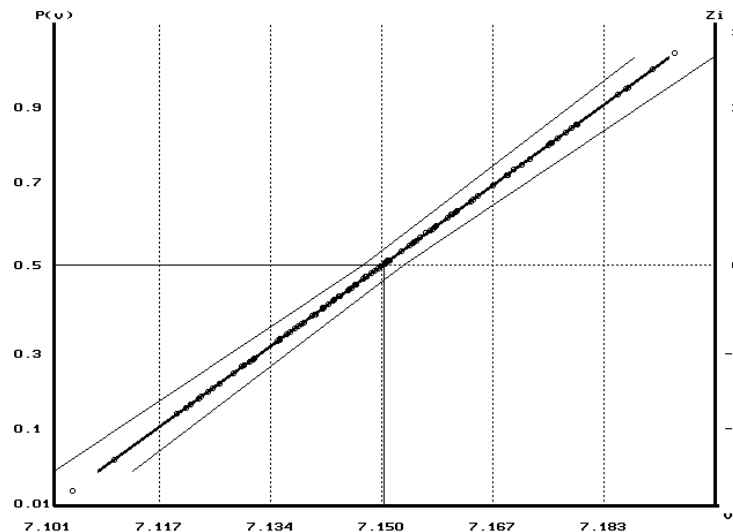
а также доверительные интервалы генеральной средней a и генеральной дисперсии σ^2 :

$$\left. \begin{aligned} a_1 < a < a_2, \quad \sigma_1^2 < \sigma < \sigma_2^2; \\ a_{1,2} = \bar{x}_i \mp st_{\alpha,k} / \sqrt{u_i n_i}, \quad \sigma_{1,2}^2 = s^2 (n_i u_i - 1) / \chi_{P_{1,2}}^2. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

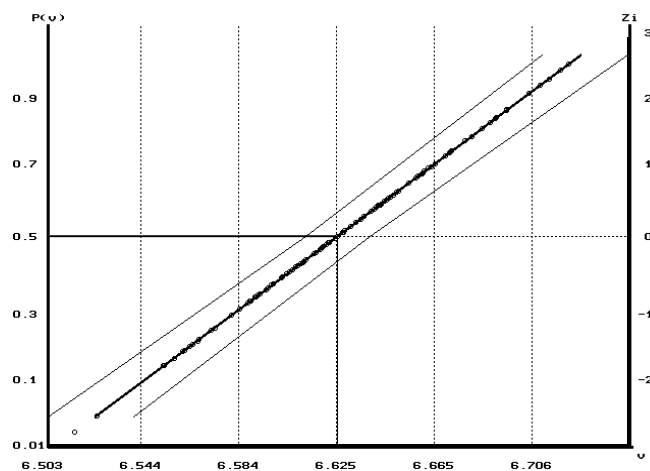
В (10) $t_{\alpha,k}$ - квантиль распределения Стьюдента при $\alpha = 0,05$, $k_1 = n_i u_i - 1$; $\chi_{P_1}^2, \chi_{P_2}^2$ - квантили распределения Пирсона при $P_1 = 0,05$, $P_2 = 0,95$, $k_1 = n_i u_i - 1$.

Отсутствие априорной информации о законе распределения указанных величин вызывает необходимость проведения комплексной проверки нормальности вариационных рядов $\bar{x}_k$, s_k^2 , v_k , $\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_k$ по критериям согласия

w , ω^2 , λ и χ^2 [5]. Проверка показала, что в большинстве случаев рассмотренные вариационные ряды с надежностью вывода $\alpha=0,05$ соответствуют нормальному закону, что подтверждается также графическими построениями функций (1) (рис). При удовлетворении “нулевой” гипотезы соответствия нормальному закону согласно (1)-(3) определяют их эмпирические функции распределения и доверительные границы.



a)



б)

Рис. Эмпирические функции распределения $\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_k$ и их 90%-е доверительные границы: а и б - при $n_i=100$ и $n_i=30$ ($u_i=100$)

Статистики $\bar{X}_i$, s_i^2 , v_i и $\lg \sum_{v=1}^{n_i} N_i$ в табл.2 фактически являются медианными характеристиками обобщенной (априорной) выборки для каждой серии статистических экспериментов (n_i , u_i).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Степнов М.Н.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справ. - М.: Машиностр., 1985. - 232 с.
2. **ГОСТ 25.502-79.** Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. - М.: Изд-во станд., 1980. - 32 с.
3. **Школьник П.М.** Методика усталостных испытаний: Справ. - М.: Металлургия, 1978. - 304 с.
4. **Стакян М.Г., Исаханян Н.С., Борисенко А.И.** Вопросы оптимизации испытаний на усталость //Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1988. - Т. 41, 13. - С. 3-14.
5. **Стакян М.Г., Демирханян А.Р.** Модифицированный метод проверки нормальности распределения результатов механических испытаний // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2000.- Т.53, 13.- С.271 - 280.
6. **Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К.** Машинные методы математических вычислений. - М.: Мир, 1980. - 280 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.04.2001.

Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա.Ռ. ԴԵՄԻՐԽԱՆՅԱՆ, Ա.Հ. ՍՈԴՈՄՈՆՅԱՆ

ԼԱՎԱՐԿՎԱԾ ՀՈԳՆԱԾԱՑԻՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԴՐՎԱԾՔԸ

**Հաղորդում 1. Վիճակագրական փորձարկման հաշվարկային
մեթոդիկան եւ ալգորիթմը**

Հոգնածային փորձարկումների ծավալի և տևողության նվազարկման նպատակով մշակված է մեթոդիկա և ալգորիթմ, համաձայն որոնց, նախկինում կատարված զանգվածային փորձարկումների արդյունքների հիմքով, օգտագործելով պատահական թվերի տվիչի մեթոդը, համակարգչի օգնությամբ ձևավորված են վիճակագրական փորձարկումների շարքեր: Իրական փորձարկումների արդյունքներով ձևավորվող բազմաքանակ արհեստական ընտրանքների ծավալներն աստիճանաբար նվազեցվում են և յուրաքանչյուրի համար հաշվարկվում դրանց վիճակագրական բնութագրերը: Կատարված են այդ բնութագրերի նորմալ բաշխմանը համապատասխանելու ստուգումներ և ստացված են դրանց բաշխման փորձառական ֆունկցիաները:

M. G. STAKYAN, A.R. DEMIRKHANYAN, A.H. SOGHOMONYAN

OPTIMAL FATIGUE TEST ARRANGEMENT

Information 1. Design procedure and statistical test algorithm

A method and an algorithm for volume and duration fatigue test minimization are elaborated. Using a random number sensor method and the results of previously executed fatigue mass tests, the computer series of numerous artificially generated separate sampling, the volume being gradually reduced are realized. For each series of separate sampling with constant data volume, the basic statistical characteristics are calculated, distribution normality accordance checking is produced and empiric distribution functions are obtained.

М.А. ГРИГОРЯН

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Получены формулы для определения: площади пятна контакта; локальной температуры и его изменения по длине дуги контакта. Установлены преимущества и эффективность применения алмазных прерывистых роликов; роликов с металлизированными алмазными зернами; подачи смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) через отверстия на рабочей поверхности ролика; процесса правки с ультразвуковым колебанием ролика.

Ключевые слова: пятна контакта, температура, ролик прерывистый и металлизированный, ролик с отверстиями, ультразвуковая правка.

Тепловые явления процесса. Вопросы локальных температур режущих выступов и его теплового режима работы в интервале длины дуги контакта не рассмотрены в динамическом режиме. Процессу правки характерно дискретное контактирование выступов шероховатых поверхностей алмазного ролика (АР) и шлифовального круга (ШК). Теплофизические параметры и механические свойства материалов выступов, их расположение и ориентация, геометрия и условия ударных встреч приводят к нестационарному теплообразованию: в некоторых точках площади контакта инструмента возникают высокие температуры, в других – низкие, в отдельных точках они отсутствуют, формируя в пространстве так называемый “температурный рельеф” поверхности контакта. Для вычисления случайных локальных температур единичных контактов принимаем: тепло, выделенное при единичном ударе, приложено мгновенно; тепло единичного контакта сосредоточено в центре пятна контакта; все тепловые источники имеют одинаковую мощность. Следовательно, представляя тепловой источник при ударной встрече пар выступов мгновенно точечным и идентифицируя его с процессом точечной сварки, можно определить локальную контактную температуру T ударяющихся пар выступов следующим образом:

$$T = 2Q \exp(-R^2 / 4at) / c\rho(4\pi at)^{3/2}, \quad (1)$$

где Q – количество тепла единичного сосредоточенного источника, Дж (определяется как отношение общего количества тепла процесса правки к числу n_z работающих зерен); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг.К); ρ – плотность, кг/м³; a – температуропроводность, м²/с; R – радиус воздействия температуры, м; t – период выравнивания температуры, с.

Расчеты по формуле (1) на основании экспериментальных данных при правке червячных кругов 24A12C17K5 и Л012C1K5 100% алмазным роликом АС15 250/200 М2-02 показали (рис.1), что в момент окончания удара ($t=0$) температура

стремится к бесконечности; фактически же при единичном ударе локальная температура конечна (1500...1800 K). В реальных условиях правки у части соударяющихся алмазных зерен возможно наличие высокотемпературных участков и термических превращений на их поверхностях.

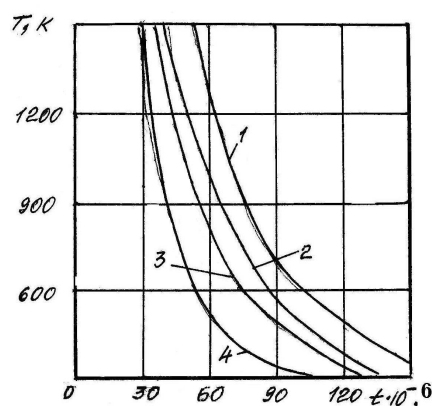


Рис. 1. Зависимость температуры алмаза от времени выравнивания температуры: 1 – ЛО12СМ1К5 ($S_p = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ м/ход}$); 2 – ЛО12С1К5 ($S_p = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ м/ход}$); 3 – 24А12С17К5 ($S_p = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ м/ход}$); 4 – 24А12С17К5 ($S_p = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ м/ход}$)

При контакте алмазного зерна с абразивным в течение времени t_y контакта действует импульсный тепловой точечный источник. При этом уравнение процесса распространения тепла в алмазном зерне на основании [1] будет

$$T = q_1 \psi / 4\pi\lambda R, \quad (2)$$

где q_1 – мощность теплового источника, Дж/с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м(К)); ψ – коэффициент теплонасыщения, который связан с функцией $((R / \sqrt{4at})$ интеграла Гаусса следующим образом: $\psi = 1 - \Phi(R / \sqrt{4at})$.

После удара алмазным зерном и разрушения абразивного зерна процесс контакта завершается, прекращается действие теплового источника, алмаз охлаждается до встречи со следующим абразивным зерном. При “отдыхе” температура алмаза снижается. Если интервал времени с момента окончания удара до начала следующего составляет t_n , то можно считать, что температура алмаза в момент начала второго удара является действием некоторого фиктивного теплового источника, которое длится $t_y + t_n$, и фиктивного стока, длящегося в течение t_n с момента окончания первого удара. Тогда коэффициент ψ в (2) для определения температуры алмаза после завершения n ударов на длине дуги контакта принимает вид

$$\psi = \sum_{i=1}^{n_b} \left\{ \left[1 - \Phi \left(\frac{R}{\sqrt{4a n_b (t_y + t_n)}} \right) \right] - \left[1 - \Phi \left(\frac{R}{\sqrt{4a [n_b (t_y + t_n) - t_n]}} \right) \right] \right\}.$$

Количество n вероятных встреч алмазного зерна с абразивными на длине дуги контакта за один оборот АР определяется следующим образом: в течение времени (контакта алмазное зерно царапает на поверхности ШК дугу длиной ℓ_d величиной $\ell_d = \tau(V_k \pm V_p)$. Так как на единице длины ШК имеется $n = 0,27(31 - N)^{1/3} / V_3^{1/3}$ зерен [2], то на длине ℓ_d круга будет $n\ell_d$, а из них вероятно контактирующих будет $n_b = n\ell_d K_n$ штук (K_n – коэффициент, показывающий, какая часть общего количества зерен является рабочей $K_n = 0,08 \dots 0,1$).

Тепловая мощность q_1 единичного удара определяется отношением тепловой мощности q правки к количеству n работающих зерен.

Для более сложного процесса правки червячных зубошлифовальных кругов из электрокорунда 24А и эльбора ЛО алмазным роликом AC15 250/200 M2-02 при $V_k = 0,44$ м/с, $V_p = 7$ получена эмпирическая формула для определения q в зависимости от модуля m червяка, радиальной подачи S_p ролика и твердости T_b круга:

$$q = e^{5,33} m^{0,57} S_p^{0,96} T_b^{-0,32} K_q,$$

где K_q – коэффициент, учитывающий влияние СОЖ, характеристики ШК, зернистости ролика и круга на q .

Экспериментально-теоретическими исследованиями установлено, что образующееся в зоне правки тепло распределяется между трущимися материалами следующим образом: в ролик уходит 45...50%, в круг – 35...40%, в отходы – 10...20 % от общего тепла.

Площадь пятна контактирующих зерен. Площадь контакта при абразивной обработке является одним из основных параметров процесса, через которую происходит тепловыделение. При правке за счет вращательных движений АР и ШК каждое зерно их, имея горизонтальную и вертикальную составляющие скорости, перемещается от одного к другому, совершая микроудары. В зависимости от угла между скоростью V_p ролика и скоростью V_k круга горизонтальные составляющие могут быть малы, и можно принять, что скорость V_y удара обуславливается только вертикальной составляющей, имеющей направление скорости V_k ($V_k > V_p$), т.е. $V_y = V_k \pm V_p$.

Площадь единичного контакта пар выступов в случае их ударного взаимодействия зависит от продолжительности контакта. При косом соударении выступов (рис.2) время t_y удара будет зависеть от приведенной массы m ударяющихся зерен, скорости V_y удара, коэффициента K_3 , зависящего от свойства материалов зерен, и кривизны их поверхностей. На основании [3] t_y может быть определено следующим образом:

$$t_y = 3,213(m^2 / V_y K_3^2)^{1/5}.$$

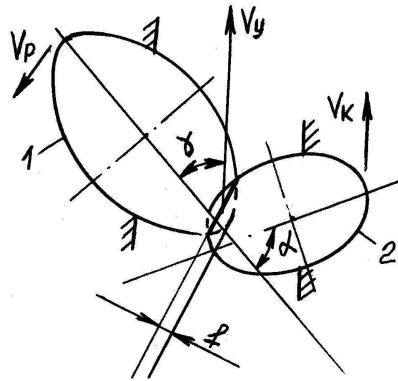


Рис.2. Схема косого соударения зерен (1-зерно алмазное; 2-зерно абразивное)

В течение времени t_y алмазное зерно упруго деформируется в направлении своей оси на величину $f_A = t_y V_y \cos \gamma / 2,944$ (γ – угол между направлением скорости удара и осью зерна); перемещение свободного конца абразивного зерна в направлении оси алмазного зерна составляет $\Delta_3 = P \cos \gamma \sin(\alpha + \gamma) K_d \ell_3^3 / 3E_3 F_3$, а упругое перемещение h_A алмазного зерна в металлической связке: $h_A = P \cos \gamma t_M K_d / E_M F_M$. При этом площадь A_r пятна контакта будет

$$A_r = 0,785 b_A d_A \left[1 - \left(1 - \frac{2f}{\ell_A} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где E – модуль Юнга; F – площадь поперечного сечения выступа; α – угол между осями соударяющихся зерен; P – сила удара; K_d – коэффициент динамики; t_M – толщина связующего материала между алмазными зернами; ℓ , b , d – длина, ширина и высота эллипсоидного зерна; f – абсолютная деформация (сближение) алмазного зерна ($f = f_A - \Delta_3 - h_A$); индексы “А”, “э” соответственно относятся к алмазным и абразивным зернам.

При поперечном соударении выступов силой P_z площадь пятна контакта будет $A_r = \pi f (2r_c - f)$, где r_c – радиус закругления вершин алмазного зерна; $f = f_A - \Delta_A - \Delta_3$. Упругая деформация f_A алмазного зерна, упругие перемещения свободных концов алмазного Δ_A и абразивного Δ_3 зерен определяются следующим образом:

$$f_A = t_y V_y / 2,944,$$

$$\Delta_A = P_z K_d \ell_A^3 / 3E_A F_A; \quad \Delta_3 = P_z K_d \ell_3^3 / 3E_3 F_3.$$

При продольном соударении выступов силой P_y площадь A_r пятна контакта определяется по (3). Абсолютная деформация f алмазного зерна, зависящая от упругой деформации f_A алмазного зерна ($f_A = t_y V_y / 2,944$), упругого перемещения h_A алмазного зерна в металлической связке ($h_A = P_y t_M / E_M F_M$) и упругого перемещения h_{Ke} абразивного зерна в керамической связке ($h_{Ke} = P_y t_{Ke} / E_{Ke} F_{Ke}$), определяется следующим образом: $f = f_A - h_A - h_{Ke}$. По теории Сен-Венана $t_y = 2\ell/a$ (ℓ – размер длинного зерна; a – скорость звука в материале зерна).

Аналогичным образом определяется площадь пятна контакта выступов отдельных компонентов АР и ШК.

Сравнение результатов экспериментальных исследований площади пятна контакта алмазного зерна (использовались прозрачные полимерные пленки толщиной 25 мкм, заложенные между поверхностью АР и ШК) с теоретическими данными показало, что расхождение результатов составляет 10...15%, что дает основание использовать теоретические зависимости в инженерных расчетах.

Новые алмазные ролики и процессы правки. Разработаны алмазные ролики многониточного типа для нарезания новых и одновременной правки по винтовой линии и по наружному диаметру витка изношенных червячных зубошлифовальных кругов. Исследована кинематика и динамика процесса. Даны рекомендации и внедрены в ряд машиностроительных заводов (Армении, Грузии, России) эффективные многониточные ролики.

Одними из путей снижения теплонапряженности процесса правки и увеличения износостойкости алмазных роликов являются новые виды алмазных роликов с прерывистой поверхностью. Установлено, что при использовании прерывистых роликов, за счет улучшения условия удаления шлама и времени действия теплового источника, силы резания уменьшаются на 35...40 %, стойкость ролика увеличивается в 1,6 раза, в зоне правки появляется в 1,7 раза меньше тепло. Применение прерывистых роликов для правки эльборовых червяков обеспечило эффективность шлифования долбяков из стали Р9К5, Р6М5 и получение деталей 5-й степени точности с шероховатостью поверхности $R_z = 0,32$ мкм.

С целью повышения эффективности работы алмазных зерен ролика подачу СОЖ в зону резания осуществляли через мелкие отверстия, сделанные на рабочей поверхности ролика, площадь которых занимает 15% площади рабочей поверхности ролика. Установлено, что за счет непосредственного и эффективного действия СОЖ в зоне резания с образованием эффекта гидроклина силы и температуры правки снижаются в 1,5...2 раза, износостойкость ролика увеличивается в 1,2...1,6 раза.

Наиболее эффективным методом повышения износостойкости алмазного ролика является процесс правки, осуществляемый правящим роликом с металлизированными алмазами. Установлено, что за счет заполнения микротрещины на поверхности алмазного зерна никелем и локального упрочнения связи ролика с диффузией никеля, приводящих к повышению прочности зерна и удержанию алмазов в связке, удельный расход алмазов в два раза меньше удельного расхода неметаллизированных алмазов.

Для улучшения показателей и повышения эффективности процесса правки предложен метод правки алмазным роликом с наложением на ролик ультразвуковых колебаний. При этом установлено, что за счет улучшения условий работы алмазного зерна и охлаждения износ ролика уменьшается в 1,2...1,4 раза, температура в зоне контакта уменьшается на 10%, производительность процесса правки увеличивается в 1,2...1,6 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыкалин Н.Н.** Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1951. – 296 с.
 2. **Григорян М.А.** Некоторые особенности контактирования процесса правки // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. – Т.54, № 3. – С. 334-340.
 3. **Пановко Я.Г.** Введение в теорию механического удара. – М.: Физматгиз, 1977. – 223 с.
- Ассоциация по природному камню РА. Материал поступил в редакцию 25.04.2001.

Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀԿԱՔԱՐԵՐԻ ՈՒՂՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՑԹՆԵՐԸ

Ստացվել են բանաձևեր ավաստե հատիկի տեղային ջերմաստիճանի և հպման աղեղի երկայնքով նրա փոփոխման, հպման գծերի որոշման համար: Հիմնավորվել են ընդհատվող մակերևույթով, մետաղապատված ավաստե հատիկներով գրտնակների, գրտնակի բանվորական մակերևույթի վրայի անցքերով հեղուկի մատուցման, գրտնակի ուլտրաձայնային տատանումներով ուղղման գործընթացի առավելություններն ու շահավետությունը:

M.A. GRIGORYAN

HEAT PHENOMENA IN GRINDING WHEEL STRAIGHTENING

Formulas are obtained for determining: bearing pattern area, local temperature arc and its changes along the contact length. Advantages and effectiveness of diamond intermittent rollers, rollers with metallized diamond grains, coolant feed through the hole on working roller surface, straightening process with ultrasound oscillation of the roller are established.

SRECKO NIKOLIC

**A DETERMINATION METHOD OF DYNAMICS FOR THE
UTILIZATION OF METROLOGICAL CAPACITIES IN
PRODUCTION PROCESSES**

The dynamics of measuring instrument utilization in production processes determined by two methods is viewed. The volume of utilization of metrological capacities in production processes influences the realized quality of the product.

Key words: metrological capacities, measuring instruments, the method of oscillations, production processes.

1. INTRODUCTION

The measuring instruments are important for any production process. They provide quality control of other elements of production. This is to ensure the end-product quality approximation to the designed one. The designed technological process determines the structure of measuring instruments used in the production process by all criteria. If measuring instruments take a bigger part in all phases of technological process of creating a product, there will be a better chance for the product to meet the designed quality. The greater engagement of measuring instruments within production processes, the greater metrological value of measuring instruments. The quality of measuring instruments employed in the production process is an integral part of entire quality of both the process and the products. Therefore it is necessary to be persistent in executing regular and periodical metrological inspections of measuring instruments, according to the determined dynamics, in order to maintain the measuring unit and undisturbed technological co-operation for products which demand that kind of cooperation.

Measuring instruments take a direct part in every phase of production process; therefore its utility is defined by two methods:

1. The oscillation in measuring as a method of determination of the measuring instrument utilization;
2. The integral mathematical model as a method for determination of the metrological capacity utilization in production processes.

2. METROLOGICAL CAPACITY UTILIZATION DETERMINED BY METHOD OF OSCILLATION IN MEASURING

The method of oscillation in measuring, which is used to determine the measuring instrument utilization in production processes, is established on oscillations in end-product quality. The objective determination of metrological capacity utilization is possible by analyzing the production process as a function of the effective time of work (t). If the volume of production is denoted as (P), the time derivative of the volume of production is a value describing the production performance; whereas the second time derivative of the volume of production describes the acceleration of the production process dynamics.

The value of the production process performance varies between the maximum and minimum values. Variations of oscillations in the production volume are stochastic by nature. As the production performance is inseparably connected with the metrological performance, it is possible to prove that the production performance depends on metrological one and that all the changes and deviations originating from metrological performance affect adversely the production process productivity.

The implementation of measuring instruments is proportional to average performance of the production process time (T). The average performance of production depends on technological adjustment of both production and measuring instruments of the production process. Thus it is possible to determine the volume of metrological work via the volume of production (P) /1/.

$$P = \int_0^T P dt = P_{SR} \cdot T = A_p T, \quad (1)$$

where: $P = A_p = dP/dt$ – the production process performance;

P_{SR} – the average value of both metrological and production performance in the process of production.

Implementation of metrological capacities in a single product production process is denoted as (n), while the total utilization of metrological capacities is denoted as (Q_n) and expressed by the equation /2/:

$$Q_n = P \cdot n. \quad (2)$$

Every production node or production point within a production process, with the metrological process as an integral component, is determined by at least one input and one output in different directions of production courses. The difference between the input and output courses for a particular process represents total effect of a node in the process, as expressed by the following equation:

$$e(t) = i(t) - u(t), \quad (3)$$

where e – the effect of the production node of a particular process;
 i – the value of the output course of a particular process;
 u – the value of the input course of a particular process.

The total effect of the production process is related to the metrological capacity utilization as expressed by the equation:

$$e = f(u_{sr}, u_t, u_{ms}), \quad (4)$$

where u_{sr} – the input value of the production means;

u_t – the input value of the engaged time;

u_{ms} – the input value of the measuring instruments.

While analyzing the production process, it has been established that every production process includes multiple nodes. The total effect of the process depends on the effect of all the nodes.

The arrhythmia (a) indicator is determined by studying the oscillations emerging from exploitation of metrological capacities. During the production process it is necessary to determine the range of disturbance of the measuring instrument utilization within the production process

$$a = \sqrt{k^2 - 1}, \quad (5)$$

where $k^2 = x_{s2}^2 / x_{s1}^2$;

$$|x_{s2}| > |x_{s1}|; \quad k^2 > 1,$$

where x_{s1} – the average deviation value of the end-product quality from the designed quality;

x_{s2} – the average deviation value of the end-product quality from the designed features of the product in repeated measurement.

The average value of the end-product quality features is expressed by the following equation:

$$x_{SR} = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (6)$$

where x_i – the realized quality value of product characteristic, determined within (n) measuring.

The indicator of metrological capacity utilization (K_{ms}) in a particular production process is expressed by the equation /5/:

$$K_{ms} = 1 / (1 - K \cdot a), \quad (7)$$

where

$$K = k \cdot N^{a/2}; \quad (8)$$

k – the coefficient of total reliability of measuring instruments included in the particular process of the end-product quality realization, determined by the same kind and type of measuring instruments. For all measuring instruments this coefficient has the value between 0 and 1 in the range from k_1 to k_n .

N – the number of measuring instruments of the same type and kind simultaneously participating in the production process. $0 \leq a^2 \leq 1$.

If the end-product feature quality (K_{izp}) is known, together with the designed quality and coefficient of relation between the input and output quality (K_{ul}), then:

$$a = K_{izp} / K_{ul}. \quad (9)$$

The quality of technological process is designed according to the quality of used measuring instruments and other elements of the production process, and controlled by the use of appropriate measuring instruments. The

resulting end-product quality being an output characteristic depends on the use of the elements of the process and the measuring instrument quality is an input characteristic. Subjective errors of minor dynamic influence are possible. Such errors influence the end-product quality depreciation, as an output characteristic, and could be expressed by the following equation /8/:

$$K_{iz} = f_1 (K_{MS}; K_{PR}; K_{MR}) , \quad (10)$$

where- K_{MS} - the quality of the measuring instruments;

K_{PR} - the production work quality;

K_{MR} - the metrology work quality depending on the workers' education and training.

The quality of production work is determined by the quality of designed technology (K_{PT}), and by the quality of production machines and equipment (K_{MO}). This connection can be analytically determined by relation:

$$K_{PR} = f_2 (K_{PT}, K_{MO}). \quad (11)$$

The input quality of the production process determines the quality of the process itself as well as the end-product quality. The realised quality of products depending on the effect of process factors and exit quality is a result of the process expressed by relation:

$$K_{ul} = f_3 (e, K_{iz}) / 4 .$$

3. DETERMINATION OF THE UTILIZATION OF METROLOGICAL CAPACITIES WITH INTEGRAL MATHEMATICAL MODEL

With the integral mathematical model of measurement of metrological capacity utilization within a production process, the utilization indices are classified into three groups: time indices, multiple-effect indices, and working indices.

Each of the indices comprises the data concerning the constructional – technical readiness of the measuring instruments, metrological availability, technological adjustment of measuring instruments to the process they are involved in, and the data concerning effective utilization of measuring instruments.

Constructional-technical and mechanical readiness is determined by the physical condition of an instrument, enabling it to perform metrological function efficiently. The metrological readiness of the measuring instruments is checked by a service for metrological instrument maintenance /6/ .

Metrological features of the measuring instruments are checked by a special service responsible for improvement of the quality of production, products and service as well as for development of metrological methods and instructions concerning the application of measuring instruments in the metrological process. The following three factors:

- the level of utilization, and thus the level of efficiency of the measuring instruments;
- the level of reliability and repeatability of measuring results, and

- the level of applicability of the measuring instruments in wide range of different processes

depend on metrological reliability of measuring instruments and on technological adjustment to the process they are involved in /6/.

It has been experimentally found in the machine industry that the time losses in utilization of employed measuring instruments do not exceed 15% /1/.

The standstill time of employed measuring equipment due to overhaul and maintenance is expressed by value (T_0). The standstill time in metrological process due to technological, organizational, market and other reasons, requiring adjustments with the demands of the users, may be partially planned. In addition, it could be a random phenomenon influenced by the development of production technology, business tradition, development of the relation between the users and performers (which are arranged by the conditions on the market), the level of employment of the available capacities, etc. The abovementioned standstill time is expressed by (T_z).

The time of efficient utilization of working and metrological capacities in the observed process is expressed by (T_p).

The time of engagement of working and measuring equipment (T) is established by the synthesis of the abovementioned times, including the time of planned and random delays, as expressed by the equation /3/:

$$T = T_0 + T_z + T_p . \quad (12)$$

The time of working on Sundays and holidays, as well as the time of working in three shifts (T_n), should be added to the time of engagement of working and measuring equipment, thus total available time – calendar (T_k), i.e. annual fund of working hours for three shifts amounts to $T_k = 8760$ working hours.

According to the above, the available fund of working hours can be expressed by the following equation:

$$T_k = T_0 + T_z + T_p + T_n = 8760 \text{ h/year} . \quad (13)$$

Times indicated in relation (13) are used to determine the indices of metrological capacity utilization in a particular process.

The mechanical and technical readiness of measuring instruments engaged in a particular process is defined by the ratio between the engagement time and the sum of times, the gauge being out of metrological process. The level of mechanical and technical readiness of measuring instruments is a function of the engagement time and work performance. The level of mechanical and technical readiness of measuring instruments (s_T) is defined by the equation /7/:

$$s_T = \frac{100 \cdot T_p}{(T_p + T)} = \frac{100 \cdot T_p}{(T - T_z)} . \quad (14)$$

Besides the technical readiness the measuring instruments must also have metrological readiness with a level of readiness defined by metrology effect on working time.

The measuring instrument performance per hour is defined by the relation:

$$M_u = Q / T_p, \quad (15)$$

where Q – the quantity of products in the process of measuring within (T_p) time.

By relation (16) it is possible to define the level of metrology readiness:

$$s_M = \frac{100 \cdot M_u}{(P_{TU} - P_z)}, \quad (16)$$

where P_{TU} – the technical gauge performance per hour;

P_z – the hourly decline of performance due to the standstill.

The metrological and physical availability of measuring instruments (K), applied in a particular technological process, is determined according to the performance of the measuring instrument that participate, in a definite time (K_T) of its use, and is defined by relation:

$$K_T = \frac{100 \cdot (T_p + T_z)}{T} = \frac{100 \cdot (T_p + T_z)}{T_o + T_z + T_p}, \quad (17)$$

where $T_p + T_z$ – the calendar fund of possible engagement time of the measuring instruments.

The availability of measuring instruments is a function of their utilization quality of their metrological properties because the time of measuring break (T_z) and time of production capacities maintenance (T_o), in which there is no measuring, depend on the useful quality of engaged measuring instruments (UKM) in all parts of technology process and can be defined by relation:

$$(T_z, T_o) = f(UKM). \quad (18)$$

The availability of measuring instruments for defined performance (K_p) is expressed by the equation /5/:

$$K_p = \frac{100 \cdot (M_u + P_z)}{P_{TU}}. \quad (19)$$

The gauge engagement time and the metrological performance express the effectiveness of measuring instrument utilization. The effectiveness of measuring instruments in an observed process, expressed by the gauge engagement time (E_{MT}), is defined by the equation:

$$E_{MT} = \frac{T_p}{T} = \frac{100 \cdot T_p}{T_o + T_z + T_p}. \quad (20)$$

The effectiveness of measuring instrument utilization, expressed by the achieved metrological performance in an observed technological process (E_{MP}), is defined by the equation:

$$E_{MP} = \frac{100 \cdot M_u}{P_{TU}} = \frac{100 \cdot Q}{T_p \cdot P_{TU}}. \quad (21)$$

The effectiveness of measuring instrument utilization, expressed by the achieved production performance (E_{PU}), in the process the gauge participates in, is defined by the equation:

$$E_{PU} = \frac{100 \cdot T_p}{T} \cdot \frac{Q}{T_p \cdot P_{TU}} = \frac{100 \cdot Q}{P_N}, \quad (22)$$

where

$$P_N = P_{TU} \cdot T \quad (23)$$

is nominally possible production in an observed process;

$Q = T_p \cdot M_u$ – the accomplished production in the observed process.

There are many similar or analogous technological systems in technical practice with the same structure of gauges, with various levels of utilization and efficiency. The average value of metrological capacity utilization indices is required to be defined by ponderability in several analogous technological systems. Ponderation is based on metrological effect per hour (P_{TUi}) for the observed system. If the index of effective utilization of metrological capacity in technological systems is reduced to the capacity per hour, denoted by (T_R), the average value of this index (T_{RS}) can be determined by the equation:

$$T_{RS} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n P_{TUi} \cdot T_{Ri}, \quad (24)$$

where z - the sum of ponders.

In analogous technological systems the ponder (P_i) corresponds to (P_{TUi}), i.e.

$P_i = P_{TUi}$, resulting in:

$$z = \sum_{i=1}^n P_{TUi}, \quad (25)$$

or more precisely:

$$T_{RS} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_{TUi}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{TUi} \cdot T_{Ri} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{TUi} \cdot \frac{P_i}{P_{TUi}}}{\sum_{i=1}^n P_{TUi}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n P_{TUi}}. \quad (26)$$

It has been established by experimental research in machine industry, that measuring instruments participate in the process of product research and the development with 11,23%, in production preparation with 12,42%, and in the direct production process with 76,35% /1/.

4. CONCLUSION

The presented paper emphasizes the dynamic relation between the volume of engagement of the measuring instruments and realized production, and between the level of end-product features quality, and the volume of the engaged measuring instrument utilization at various stages of production. The level of utilization of measuring instruments within the production process depends on a number of elements such as: mechanical and metrological readiness, availability during the time of their employment, as well as the availability for a particular production performance. The abovementioned operational characteristics of measuring instruments influence their total effectiveness within a designed technological process. It is to be concluded that

the achieved end-product quality will be closer to the designed one if the quality of measuring instruments is in accordance with the designed technological process, and if they are used according to metrological regulations and recommendations.

REFERENCES

1. **Nikolic S.M.** The influence of the measuring instruments quality on realised quality of products, Yugoslav Institute for Labour Productivity, Belgrade 1990.
2. **Nikolic S.M.** Technical control of products, The Institute for textbook editing, Belgrade, 1992.
3. **Nikolic S.M.** Practice book of measuring for products technical control, The Institute for textbook editing, Belgrade, 1994.
4. **Nikolic S.M.** Measuring and controlling, The Institute for textbook editing, Belgrade, 1996.
5. **Nikolic S.M.** The distribution of quality over the product realisation phases, Tehnika, Vol.1 –2, Belgrade, 1996.
6. **Nikolic S.M.** Quality control, Belgrade 2000.
7. **Nikolic S.M.** The dynamics of influence of measuring instruments quality on achieved end-product quality; Belgrade 1996.
8. **Juron J.M.** Quality control handbook, M. Grow-hill, New York 1972.
9. **Jakusev A.T.** Vzajmozamenjaemost, standardizacija, itehnicoskoje izmerenija, Moscow 1979; Mashinostrojenije.
10. **Gluhih V.M.** Sredstva mehanizaciji statisticeskogo kontrolja razmerov Moscow 1977, Mashinostrojenije

University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy
Belgrade, Yugoslavia

НИКОЛИК СРЕЧКО

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Рассматривается динамика использования измерительных приборов в процессе производства, описанная двумя методами. Объем использования метрологических нагрузок в процессе производства влияет на качество продукции.

ՆԻԿՈԼԻԿ ՍՐԵՇԿՈ

ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԸ ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱՆԹԱՅՈՒՄ ՉԱՓԱԳԻՏԱԿԱՆ ԲԵՆՆՎԱԾՔՆԵՐ ՕԳՏԱԳՈՐԾԵԼԻՄ

Դիտարկվում է արտադրության գործընթացում չափիչ սարքերի օգտագործման դինամիկան՝ երկու մեթոդներով: Արտադրության գործընթացում չափագիտական բեռնվածքների օգտագործումն ազդում է արտադրանքի որակի վրա:

С.Г. АГБАЛЯН, Р.С. ЕГИАЗАРЯН, Е.С. САЛТЫКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ
КОВКОГО ЧУГУНА

Исследованы принципы структурообразования ковкого чугуна при термической обработке. Разработана новая технология получения ковких чугунов, сущность которой состоит в следующем: отливки из белого чугуна нагреваются до температуры аустенизации, после короткой выдержки подвергаются термоциклированию, закаливаются в воде или в масле и подвергаются отжигу.

Ключевые слова: чугун, зерно, графит, цементит, перлит, закалка, отжиг.

Ковкий чугун как конструкционный материал находит широкое применение во многих отраслях промышленности. По своим литейным и механическим свойствам он занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью, что и определяет области его применения. Этот машиностроительный материал, получаемый от длительного отжига белого чугуна, применяется для изготовления деталей, работающих под ударом и вибрационной нагрузкой.

Целью работы является исследование принципов структурообразования ковкого чугуна при термической обработке и разработка новой технологии, обеспечивающей высокие механические свойства.

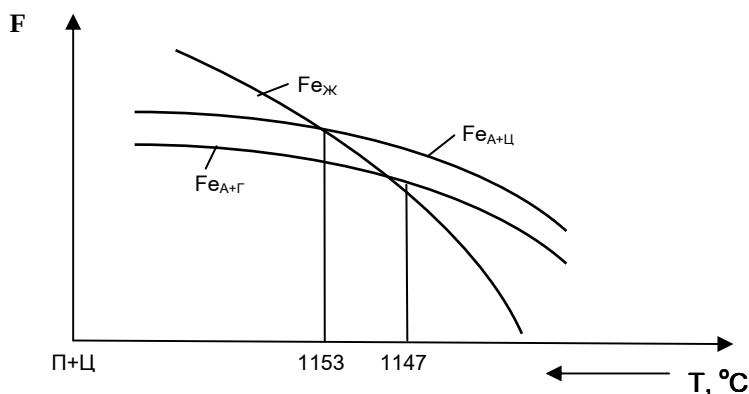


Рис. 1. Изменение свободной энергии жидкого сплава ($Fe_{\text{ж}}$) в смеси аустенит+цементит ($Fe_{A+Ц}$) и аустенит+графит ($Fe_{A+Г}$) в зависимости от температуры

Ковкий чугун получают из белого чугуна путем графитизации или обезуглероживания [1]. При нагреве белого чугуна выше 727 °C (линия PSK на диаграмме Fe-C) образуются аустенитная и цементитная фазы. Так как графит является более устойчивой фазой, чем цементит (рис. 1), то при указанных

температурах и больших выдержках цементит распадается с образованием аустенита и хлопьев графита (1-я стадия графитизации). Если его затем охладить на 50...100°C ниже PSK и дать длительную выдержку, что равноценно очень медленному охлаждению, то аустенит превращается в перлит, а цементит, который является частью перлита (рис. 2), распадается на хлопьевидный графит и феррит (2-я стадия графитизации). При такой обработке весь углерод выделяется в свободном состоянии, и структура чугуна после отжига будет состоять из феррита и включений хлопьевидного углерода. Такой чугун называется ферритным [2].

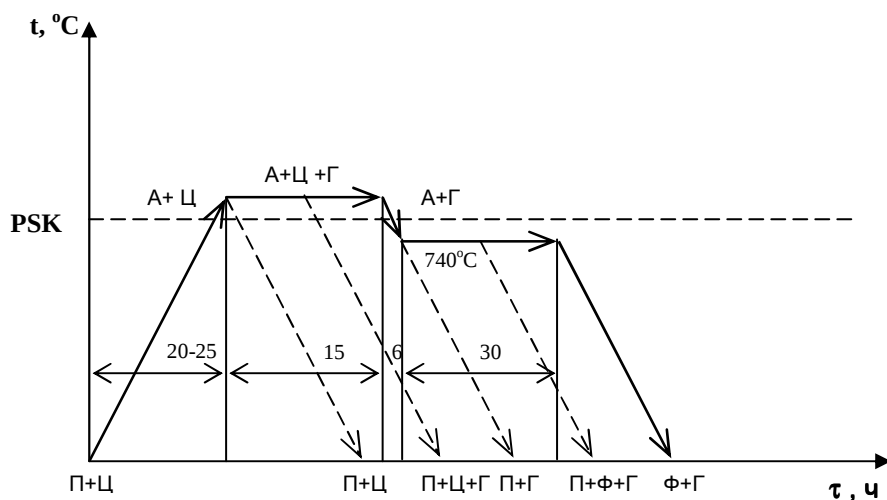


Рис. 2. Схема образования структур при графитизации чугуна

Принимается следующая схема течения процесса графитизации в первой его стадии:

1. Постепенное растворение связанного углерода (цементита, ледебурита) в твердом растворе – аустените.
2. Диффузия углерода через твердый раствор от цементитных выделений к центрам графитизации.
3. Выделение углерода из твердого раствора в виде углерода отжига, в силу меньшей растворимости углерода в аустените по сравнению с растворимостью цементита.

Продолжительность процесса графитизации определяется скоростью диффузии углерода через твердый раствор, количеством углерода, которое необходимо продиффундировать, и длиной пути диффузии углерода через твердый раствор.

Первая стадия графитизации завершается распадом структурно свободного цементита. В результате к окончанию выдержки образуется двухфазная система, состоящая из аустенита и графита в виде скоплений углерода отжига.

Вторая стадия графитизации начинается разложением цементита, находящегося в перлите, до графита. Полнота графитизации во второй стадии, как и скорость происходящих реакций, зависит от скорости прохождения интервала

температур, находящихся вблизи A_1 (PSK). Быстрое прохождение интервала A_1 способствует сохранению больших количеств связанного углерода в виде цементита перлита. Наоборот, медленное охлаждение при прохождении интервала A_1 (или выдержка при температуре немного ниже A_1) способствует переводу системы в стабильное состояние и распаду цементита перлита. Условия охлаждения чугуна после завершения второй стадии графитизации определяют конечную структуру; при замедленном охлаждении получается ферритный ковкий чугун, а при ускоренном – перлитный. Продолжительность процесса превращения отливок из белого чугуна в ковкий зависит от скорости графитизации, которая, в свою очередь, зависит от количества образующихся в единицу времени на единице площади центров кристаллизации.

На основании проведенных исследований и данных С.А. Салтыкова [3] для вычисления времени графитизации предложена формула

$$\tau = A/n^{0,5}, \quad (1)$$

где τ – время графитизации, час; n – количество выделений углерода отжига на 1 мм^2 поверхности; A – константа, зависящая от свойств металла и температуры графитизации.

Для определения времени, необходимого для завершения первой стадии графитизации, С.А. Салтыков вывел следующую эмпирическую формулу [3]:

$$c = 1/(1,1895 \cdot \sqrt[3]{n^{1,6}}), \quad (2)$$

где c – расстояние между центрами соседних включений углерода отжига, мм; n – количество выделений углерода отжига на единицу поверхности.

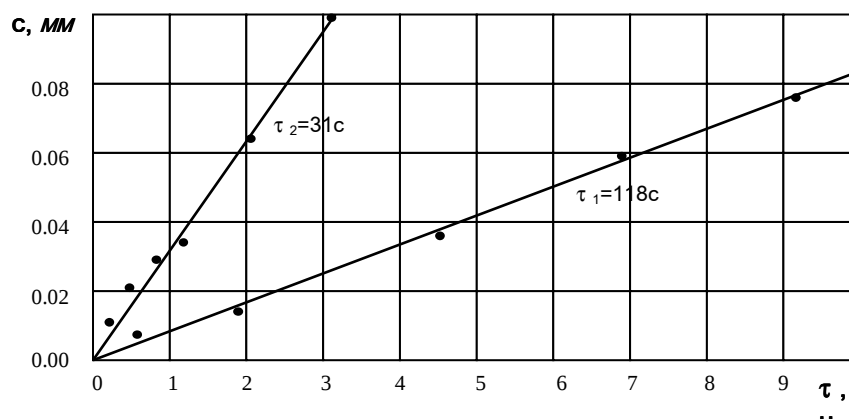


Рис. 3. Продолжительность 1-й (τ_1) и 2-й (τ_2) стадий графитизации в зависимости от среднего расстояния между центрами графитизации

На рис. 3 приведена зависимость продолжительности первичной и вторичной графитизации от среднего расстояния между центрами графитизации c . Зависимость это линейная и может быть выражена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= 118 \cdot c, \\ \tau_2 &= 31 \cdot c,\end{aligned}\tag{3}$$

где τ_1, τ_2 – продолжительность первичной и вторичной графитизации, час.

Формула (3) действительна для случая проведения первой стадии графитизации при 930°C , а при другой температуре отжига коэффициент изменяется: с повышением температуры отжига уменьшается, с понижением – увеличивается.

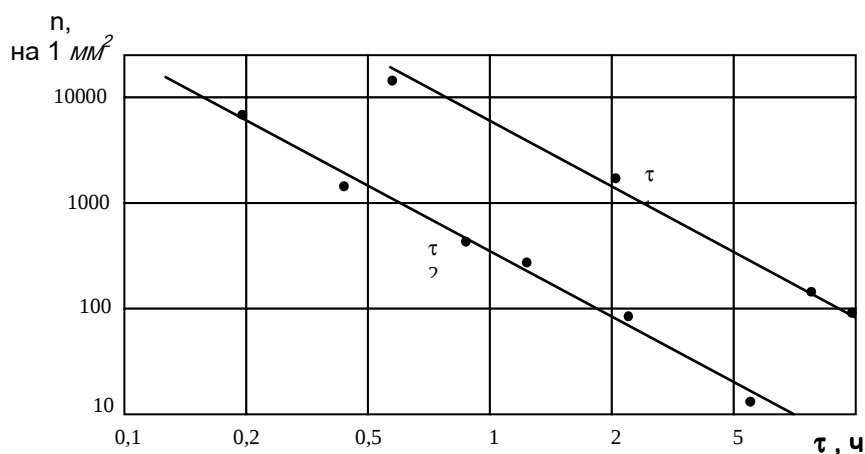


Рис. 4. Продолжительность 1-й и 2-й стадий графитизации в зависимости от количества центров графитизации на 1 мм^2 площади шлифа. Логарифмический масштаб

Зависимость продолжительности 1-й и 2-й стадий графитизации от количества центров графитизации на 1 мм^2 площади шлифа более сложна и выводится путем совместного решения уравнений (2) и (3), которые представляют в логарифмических координатах прямых (рис.4)

$$\tau_1 = 99,2 / \sqrt[3]{n^{1,6}}, \tau_2 = 26,1 / \sqrt[3]{n^{1,6}}.\tag{4}$$

Как видно из вышеизложенного, влияние центров графитизации на продолжительность процесса очень велико, то есть процесс отжига при изготовлении изделий из ковкого чугуна можно ускорить увеличением количества центров кристаллизации при всех прочих одинаковых условиях. Поэтому ряд предложенных способов ускорения отжига основан на увеличении количества центров графитизации, достигаемом различными способами [3,4]. Так, после закалки от 930°C в воде для полного завершения графитизации достаточно проведение последующего отжига в течение 4-5 часов при 930°C , охлаждения до 730°C , выдержки в течение 4-5 часов при 730°C .

На основании этих и других исследований нами разработана новая технология получения ковких чугунов, сущность которой состоит в следующем:

отливки из белого чугуна нагреваются до температуры аустенизации (950 ± 25 °C), после короткой выдержки (1,0...1,5 мин/мм) подвергаются термоциклированию (2 или 3 раза до температуры 500...600 °C) и закаливаются в воде или в масле. После заковки отливки немедленно подвергаются отжигу. Длительность отжига не превышает 10...15 час.

Микроструктура чугуна после такого сверхускоренного отжига содержит мелкие включения углерода отжига, которые обеспечивают значительное увеличение прочностных свойств ($\sigma_b(450...660$ МПа, $\sigma_t(220...350$ МПа, $\delta(1...5$ %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лившиц Б.Г. Металлография.- М.: Металлургия, 1971. - 408 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение.- М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
3. Салтыков С.А. О роли центров графитизации при отжиге ковкого чугуна // Металлург. – 1939. - № 8. - С.10-22.
4. Куныавский М.Н. Термическая обработка чугуна.- М.: Машгиз, 1950. - 408 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 26.04.2001.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Ս. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Ե.Ս. ՍԱԼՏԻԿՈՎԱ

ԿՈՒԵԼԻ ԹՈՒՋԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱԳՈՅԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ուսումնասիրվել են կոուլի թուջի կառուցվածքագոյացման հիմնական սկզբունքները ջերմային մշակման ժամանակ: Մշակվել է կոուլի թուջերի ստացման նոր տեխնոլոգիա, որի էությունը հետևյալն է. սպիտակ թուջից ձուլվածքները տաքացվում են մինչև աուստենիտացման ջերմաստիճան, կարճատև պահումից հետո ենթարկվում են ջերմացիկլիկ մշակման, միավում են ջրում և թրծվում:

S.G. AGBALYAN, R.S. YEGHIAZARYAN, E.S. SALTIKOVA

BASIC PRINCIPLES OF MALLEABLE CAST IRON STRUCTURE FORMATION

Fundamentals of malleable cast iron structure formation during heat treatment are studied. A new technology for obtaining malleable cast iron is developed, its idea consisting of the following: castings from white cast iron are heated to the austenization temperature, after a short soaking they undergo thermal cycling, harden in water or oil and undergo annealing.

А.С. ПЕТРОСЯН

АРМИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Дается сравнительный анализ композиционных материалов на металлической основе, армированных дисперсными частицами и высокомодульными волокнами. Обосновывается целесообразность компактирования армированных материалов горячей экструзией, при которой деформация волокон (удлинение) положительно влияет на их структуру и свойства. При объемной доле волокон 20....25% достигается максимальная прочность, тогда как при обычных методах компактирования порошково-волокнистых композиций объемное содержание волокон составляет 35....45%.

Ключевые слова: композиционные материалы, дисперсные частицы, металлические волокна, экструзия, удлинение волокон.

Развитие современной техники непосредственно связано с созданием новых материалов, обладающих высокими физико-механическими свойствами [1], в частности, прочностью и пластичностью. Решение этой проблемы можно осуществить двумя принципиально различными путями.

Первый путь - создание структурных барьеров, препятствующих движению дислокаций (наклеп, легирование, термическая и термо-механическая обработка), что достигается посредством введения в металлическую матрицу дисперсных частиц. Однако в этом случае интервал между реальной и теоретической прочностью остается все же большим [2].

Второй путь - упрочнение материалов высокомодульными волокнами, т.е. армирование.

Рассмотрим некоторые особенности структуры и свойств этих материалов.

1. Композиции, упрочненные дисперсными частицами. В композициях, армированных дисперсными частицами, нагрузка распределяется между матрицей и частицами. Объемная доля частиц превышает 20...25%, а их размеры должны быть менее одного микрометра. Упрочнение оценивается отношением расстояния между частицами к их диаметру (L/d_f), а также отношением пределов текучести армированного материала, т.е. композиции, и матричного металла, т.е. $F = \sigma_{yc} / \sigma_{ym}$ (рис. 1). Коэффициент F зависит от концентрации частиц V_p , равномерности их распределения, а также от размера d_p и расстояния между ними λ_p . Чем меньше размеры частиц и расстояние между ними, тем эффективнее они препятствуют движению дислокаций, а

следовательно, упрочняют материал. Это иллюстрируется в левой части рис. 1, где значения коэффициента F показаны в зависимости от d_p .

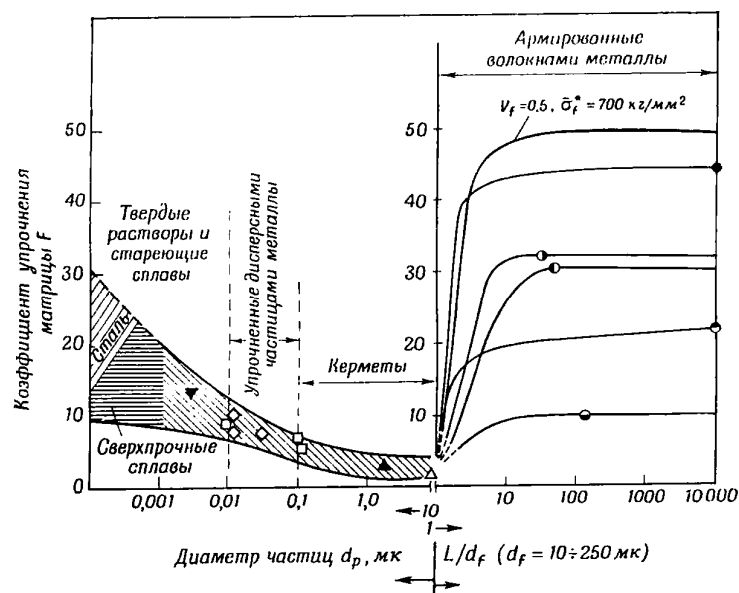


Рис 1. Влияние частиц и волокон на коэффициент упрочнения металлов F при комнатной температуре (сплошные линии – теоретические значения, вычисленные для волокнистых композиций в предположении, что нагрузка приложена вдоль волокон)

На рис. 1 представлены значения F для некоторых дисперсных систем (с интервалом изменения d_p в пределах $0,01 \dots 0,1$ мкм). Хотя размеры частиц и их концентрация для каждого случая различны, тем не менее все соответствующие значения коэффициента F для таких материалов находятся в пределах от 3 до 30. При укрупнении частиц значения F непрерывно уменьшаются, приближаясь к нижнему пределу, лежащему между $F=1$ и $F=3$. Для частиц с размерами d_p от $0,1$ до $10,0$ мкм величина коэффициента F остается практически неизменной.

Если же частицы приобретают форму волокон, то значения коэффициента F существенно возрастают. Это демонстрирует правая часть рис.1. Анализ показывает, что F зависит от отношения длины волокна к его диаметру L/d_f , а также от прочности волокон $\bar{\sigma}_f$ и объемного их содержания V_f .

Таким образом, металлы, упрочненные дисперсными частицами, во многом отличаются от металлов, армированных волокнами. Некоторые отличия представлены в таблице, из которой следует, что механизм упрочнения материалов дисперсными частицами несколько иной, чем материалов, армированных волокнами [3].

Таблица
Сравнительные показатели материалов, армированных нитевидными волокнами
и дисперсными частицами

Но- мер	Система	V_f , %	$\bar{\sigma}_f$, МПа
<i>Упрочнение волокнами</i>			
1	Al – SiO ₂	50,0	3100
2	Al – Al ₂ O ₃	35,0	3200
3	Ag – Al ₂ O ₃	24,0	6600
4	Cu – W	50,0	2500
5	Al – <i>нерж. сталь</i>	20,0	1500
<i>Упрочнение частицами</i>			
6	Ni – Al ₂ O ₃	10,0	
7	Al – Al ₂ O ₃	13,0	
8	Ag – Al ₂ O ₃	0,8	
9	Ni – ThO ₂	9,0	
10	Ni – Cr ₂ O ₃	8,0	
11	Ni – ThO ₂	2,0	
12	Ni – SiO ₂	21,0	
13	Ni – TiC	70,0	
14	Al – Al ₂ O ₃	8,0	

2. Композиции, армированные нитевидными волокнами. При создании армированных композиций необходимо иметь в виду, что матрица способна передавать полностью нагрузку на волокна только в том случае, если длина волокна (ℓ) больше некоторой критической длины ℓ_c . При $\ell < \ell_c$ разрушение матрицы происходит раньше, чем волокна. Возможно при этом и вырывание волокна. Предел прочности композиций с однонаправленной дискретной структурой определяется следующими выражениями:

$$\begin{aligned}\sigma_b^c &= \sigma_b^m(1 - V_f) + K\beta V_f \sigma_b^f \quad (0 \leq V_f \leq V_c); \\ \sigma_b^c &= \sigma_b^f V_f [1 - K(1 - \beta)] + \sigma_f^m(1 - V_f) \quad (1 \geq V_f \geq V_c); \\ V_c &= \frac{\sigma_b^m - \sigma_f^m}{\sigma_b^m - \sigma_f^m + \sigma_b^f(1 - K)},\end{aligned}$$

где V_f - объемная или массовая доля волокна в композиции; $K = \ell_c / \ell$ - коэффициент передачи нагрузки; β - постоянная, равная 0,5; V_c - критическая объемная доля волокна.

При $V_f < V_c$ разрушение волокон сопровождается деформацией матрицы, при $V_f > V_c$ разрушение композиции происходит практически одновременно с разрушением волокон.

В зависимости от соотношения $K = \ell_c / \ell$ могут быть получены различные диаграммы прочности композиции:

- 1) при $K = 0$ это соответствует композиции с непрерывными волокнами;
- 2) при $K = \sigma_b^m / \beta \sigma_b^f = K_f$ и до значений $V_f = V_c$ предел прочности композиции не зависит от V_f и равен пределу прочности матрицы. Прочность композиции при $V_f > V_c$ увеличивается;
- 3) при $K = 1$, т.е. $\ell_c = \ell$, прочность композиции возрастает во всем интервале значений $0 \dots 1$ с одинаковой интенсивностью.

Зная механические свойства волокна и матрицы, а также задаваясь значениями V_f и K , можно рассчитать прочность композиции.

Прочность композиций с непрерывными волокнами при прочих равных условиях выше прочности композиций с дискретными волокнами (произвольной ориентации). Это объясняется так называемым *концевым эффектом*, т.е. повышенной концентрацией напряжений на торцах волокон. Тем не менее, с точки зрения получения требуемого комплекса физико-механических свойств, композиционные материалы, армированные дискретными волокнами, в ряде случаев более предпочтительны, чем с непрерывными волокнами, например, композиции с нитевидными волокнами (рис. 2 и 3).

Экспериментально установлены закономерности экструзии порошково-волокнистых композиций на модельных образцах в зависимости от соотношения ℓ_0 / d_0 и степени обжатия λ . Режимы экструзии: для медных образцов $t_{\text{ж}} = 850^\circ \text{C}$, для железных $t_{\text{ж}} = 1100^\circ \text{C}$; продолжительность нагрева $\tau_{\text{ж}} \sim 15 \dots 20$ мин. Анализ кривых 1-7 показывает, что с увеличением безразмерного параметра ℓ_0 / d_0 имеет место удлинение волокон в процессе экструзии, т.е. значения ℓ / d возрастают. Примечательно, что для всех значений $\ell_0 / d_0 = 20 \dots 100$ и $\alpha_u = 0 \rightarrow 150^\circ$ наименьшему соотношению $\ell_0 / d_0 = 20$ соответствует $\ell / d \cong 100$. Это дает основание утверждать, что за исходное соотношение ℓ_0 / d_0 можно принять $\ell_0 / d_0 \approx 20$, так как после экструзии оно возрастает и достигает $\ell / d \approx 80 \dots 100$. При таких значениях прочностные свойства максимальные и близки к композиционным материалам с непрерывными волокнами. Вполне очевидно, что чем меньше ℓ_0 / d_0 , тем легче решается вопрос приготовления шихты *порошок-волокно*, так как размеры частиц порошка и длина волокна “соизмеримы”.

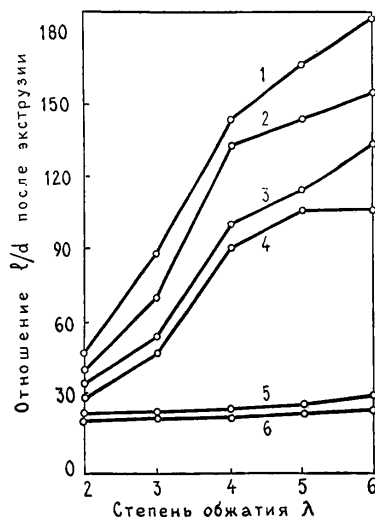


Рис. 2. Удлинение волокон после экструзии при различных степенях обжатия: композиция $\text{Cu} - \text{Fe}^*$, $\ell_0/d_0=20$, $\beta = 60^\circ$, $\alpha_u = 0(1), 30(2), 60(3), 150(4), 120(5)$ и $90(6)$

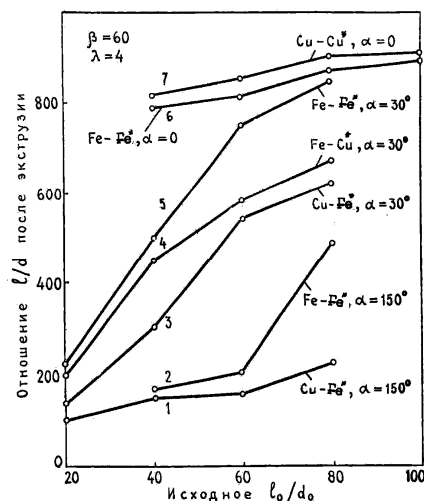


Рис. 3. Модельные композиции после экструзии:

2, 5, 6 - $\text{Fe} - \text{Fe}^*$;
1, 3 - $\text{Cu} - \text{Fe}^*$; 7 - $\text{Cu} - \text{Cu}^*$;
4 - $\text{Fe} - \text{Cu}^*$; $\alpha_u = 0(6,7), 30(3-5), 150(1,2)$; $\beta = 60$, $\lambda = 4$

И еще одна существенная особенность: чем меньше ℓ_0/d_0 , тем легче осуществляется ориентация волокна в направлении экструзии. Это значит, что прочностные свойства композиционного материала возрастут (рис. 4). Наконец, удлинение волокон в процессе экструзии значительно уменьшает диаметр волокон. Это, с одной стороны, увеличивает его прочность, с другой - позволяет использовать проволоки (или нитевидные "усы") больших диаметров, что дешевле, и легче осуществить их мерную резку [4].

Композиционный материал, армированный молибденовой проволокой длиной 2,5...6,5 и диаметром 0,25 мм (матрица - титановый сплав, содержащий 6% Al и 4% V), получали прессованием и спеканием при 980°C в течение 0,5 ч. Заготовки помещали в оболочку из малоуглеродистой стали и при температуре 1150°C экструдировали в прутки диаметром 16...38 мм, которые подвергали горячей прокатке до диаметра 4,8 мм. Затем следовал двухчасовой отжиг при температуре 730°C . В результате такой обработки проволоки вытягивались вдоль оси прутка, причем их диаметр уменьшался от 0,25 до 0,05 мм.

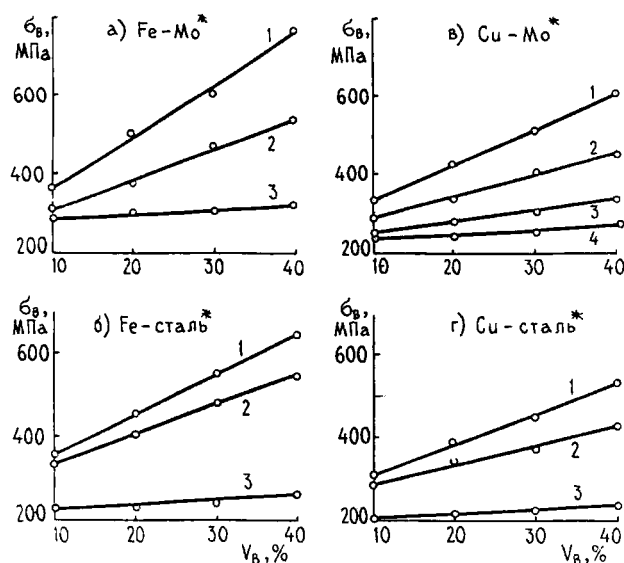


Рис. 4. Зависимость прочности при растяжении композиционных материалов, упрочненных волокнами молибдена и стали 55, от объемного содержания волокон на основе медных и железных порошков марок ПМС-1 и ПЖ2М2:

- а - $\langle \text{Fe} - \text{Mo}^* \rangle$, 1. - 20°C , 2. - 300°C , 3. - 600°C ;
- б - $\langle \text{Fe} - \text{сталь}^* \rangle$, 1. - 20°C , 2. - 200°C , 3. - 300°C ;
- в - $\langle \text{Cu} - \text{Mo}^* \rangle$, 1. - 20°C , 2. - 300°C , 3. - 500°C ; 4. - 600°C ;
- г - $\langle \text{Cu} - \text{сталь}^* \rangle$, 1. - 20°C , 2. - 200°C , 3. - 300°C

Выбор молибдена в качестве волокнистой фазы объясняется тем, что он практически не растворим в титане, и поэтому исключено возникновение хрупких соединений в переходном слое *волокно-матрица*. Предел прочности сплава, содержащего 20 об.% молибденовой проволоки, при 760°C составляет $\approx 300 \text{ МПа}$, тогда как у неармированного сплава - всего лишь 90 МПа (из графика).

Зависимость модуля упругости от объемной доли волокон близка к линейной. Увеличение волокон до 40 об.% повышает почти в 2,0 раза модуль Юнга при комнатной температуре и более чем в 2,5 раза при 540°C по сравнению с неупрочненным сплавом (рис. 5). Установлено также значительное возрастание продолжительности по времени до разрушения технически чистого титана, армированного 10% молибденовым волокном, при испытаниях на длительную прочность. При температуре 540°C и напряжении 140 МПа разрушение этой композиции происходило через $\sim 100 \text{ ч}$, тогда как неармированный титан разрушался через 0,1 ч.

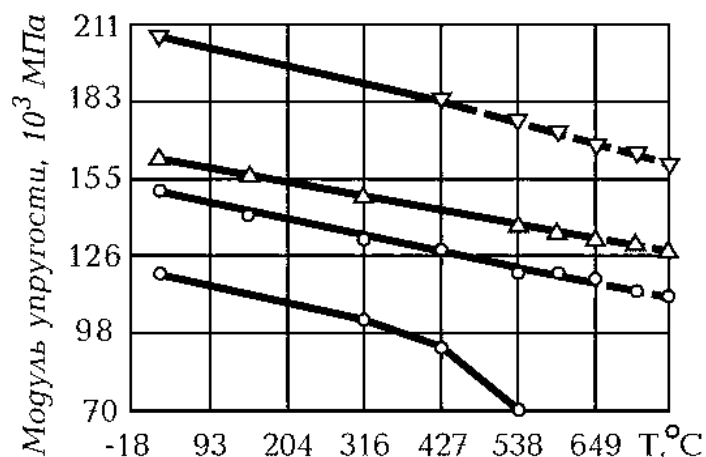


Рис. 5. Температурная зависимость модуля упругости исходного сплава $\langle \text{Ti} - 6\text{Al} - 4\text{V} \rangle$ (1) и сплава, армированного молибденовыми волокнами 20 (2), 30 (3) и 40 (4) об.%

Таким образом, экструзия является наиболее эффективным методом компактирования армированных материалов, при котором деформация волокна (как правило, удлинение) положительно влияет на прочность композиции. В этой связи при объемной доле волокон 20...25% уже достигается максимальная прочность, тогда как при других методах компактирования порошково-волокнистых композиций объемное содержание волокон колеблется в пределах 35...45%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванова И.С.** Волокнистые материалы. Проблемы создания материалов с высоким сопротивлением распространению трещины // Физика и химия обработки материалов. – М., 1967. – №1. – С. 75-88.
2. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И.** Металлы, армированные волокнами (МАН) // Порошковая металлургия. – 1968. – № 7. – С. 37-48.
3. Волокнистые композиционные материалы / Под ред. **С.З. Бокштейна**. – М.: Мир, 1967. – 283 с.
4. **Манукян Н.В., Петросян А.С.** Закономерности экструзии армированных композиционных материалов. 1. Исследование процессов экструзии // Порошковая металлургия. – Киев, 1985. – № 12. – С. 66-70.
5. Металловедение и металлообработка: Экспресс-информация. – 1965. – 14.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 8.06.2001.

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ
ՆՅՈՒԹԵՐ

Տրվում է դիսպերս մասնիկներով և բարձրամոդուլ մետաղական թելերով ամրանավորված մետաղական հիմքով կոնստրուկցիոն նյութերի համեմատական վերլուծություն: Հիմնավորված է կոմպոզիցիոն նյութերի տաք արտամղմամբ ամրացման նպատակահարմարությունը, որի ժամանակ մետաղաթելի դեֆորմացիան (երկարում) դրական է ազդում նրանց կառուցվածքի և հատկությունների վրա: Այսպես, մետաղաթելի 20...25 ծավալային %-ի դեպքում ստացվում է առավելագույն ամրություն այն դեպքում, երբ փոշեմետաղական կոմպոզիցիոն նյութերի՝ սովորական մեթոդներով ամրացման համար պահանջվում է ամրացնող մետաղաթելի 35...45 ծավալային %:

H.S. PETROSSYAN

REINFORCED MATERIALS WITH STRUCTURAL DESIGNATION

A comparative analysis of composite materials on the metallic fundamentals, reinforced by dispersed fragments and high-modular fibers is given. The expediency of compacting the reinforced materials by hot extrusion is substantiated, the deformation of fibers influencing positively their frame and properties. The maximum strength is reached at volume position of fibers 20-25%, whereas with conventional methods of compacting powder-fiber composites the volumetric contents of fiber are 35-40%.

С.Э. БАГЯН, Л.С. МАНУКЯН, А.Р. ХАЧАТРЯН, А.О. ТОНОЯН,
С.П. ДАВТЯН

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ АКРИЛАМИДА С НИТРАТАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Фронтальная полимеризация металлокомплексов нитратов переходных (Co, Ni, Mn) металлов с акриламидом приводит к сложным структурам тепловых полимеризационных волн. На основе экспериментальных данных определены три области тепловых режимов фронтальной полимеризации: область существования, область неустойчивости и область, где не могут существовать волновые режимы. В неустойчивой области обнаружены одно-, двух-, трех- и многозаходные очаговые режимы в виде спиновых и других нелинейных структур.

Ключевые слова: фронтальная полимеризация, металлокомплекс, тепловая волна, устойчивость, спиновые тепловые режимы.

Исследованию полимеризации жидких [1-10] и поликонденсации вязкотекучих [11-14] мономеров в условиях распространения фронта тепловых полимеризационных волн посвящено много работ. Между тем, фронтальная полимеризация кристаллических порошкообразных мономеров изучена недостаточно [15-18] и имеет свои особенности, связанные с эндотермическим плавлением кристаллического мономера в зоне разогрева; кристаллизацией образовавшегося полимера в зоне реакции и их влиянием на структуру тепловых полимеризационных волн, скорость фронта, устойчивость и т.д. В данной работе исследованы особенности твердофазной фронтальной полимеризации Co-, Ni-, Mn - содержащих металлокомплексных мономеров. Указанные металломономеры синтезировали по методике, описанной в [19].

В ходе фронтальной полимеризации кристаллических мономеров, независимо от направления фронта (вертикально сверху вниз, снизу вверх или под углом), визуально наблюдаются три области (с характерным цветовым сопровождением¹⁾), которые разделены между собой четкими границами. Выделенной границей запolyмеризованной части образца в форме концентрической окружности является зона фронта. Она непосредственно соседствует с расплавленным мономером, визуально наблюдаемая другая граница которого расположена параллельно зоне фронта и разделяет расплавленный и кристаллический мономеры. Граница между ними, как правило, перемещается со скоростью фронта, при этом объем расплавленного мономера уменьшается с увеличением плотности и температуры исходной реакционной среды.

В запolyмepизованной части образца с некоторым временным опозданием появляются мелкие неоднородные включения вследствие кристаллизации образовавшегося полимера.

В [15-17], опираясь лишь на описанные визуальные наблюдения, сделан вывод о том, что геометрическая форма фронта является плоской. В данном случае вопрос сводится к тому, что, несмотря на достаточно интенсивную теплоотдачу в окружающую среду, визуально наблюдается концентрическая форма окружности в зоне реакции, что является результатом радиально-симметрического распределения температуры по радиусу образца. Поэтому в ряде экспериментов специально исследовали этот вопрос. Полученные результаты показывают, что фронт вытянут в центральной части образца и имеет форму срезанного конуса, высота которого зависит от природы металломономеров, плотности и температуры исходной реакционной смеси.

Анализ температурных профилей ($T = T - T_0$, где T - текущая температура) (рис.1, 2) фронтальной полимеризации Co-, Ni-, Mn - содержащих металлокомплексных мономеров, полученных при варьировании плотности исходной реакционной среды (ρ) (рис.1) и начальной температуры (T_0) (рис.2), показывает, что по сравнению с фронтальной полимеризацией жидких мономеров наблюдается ряд особенностей:

- при низких плотностях исходных реакционных сред имеет место четырех-, трех- (для Co - содержащего металломономера) и двухступенчатое (для Ni- и Mn - содержащих металломономеров) повышение температуры тепловых волн;
- увеличение плотности Co-, Ni-, Mn- содержащих металломономеров приводит к немонотонному повышению предельной температуры тепловых волн, сужению временного интервала температурных профилей и к немонотонному изменению скорости фронта.

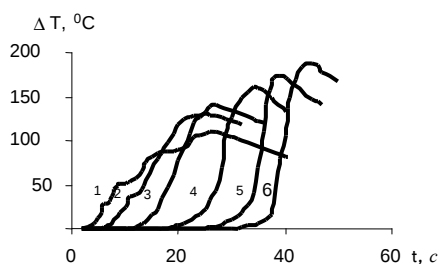


Рис.1. Температурные профили фронтальной полимеризации Co-содержащего металлокомплексного мономера, полученные при начальной температуре реакционной среды 25°C и плотностях: ρ , г/см³: 1 - 0,83; 2 - 0,94; 3 - 1, 4 - 1,06; 5 - 1,25; 6 - 1,56

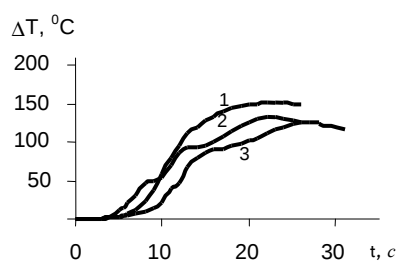


Рис.2. Температурные профили фронтальной полимеризации Ni-содержащего металлокомплексного мономера, полученные при различных плотностях и температурах исходной реакционной среды: ρ , г/см³: 1 - 1; 2 - 0,94; 3 - 0,89; T_0 , °C: 1 - 18; 2 - 34; 3 - 24

Для выяснения причин сложных структур тепловых полимеризационных волн на сканирующем калориметре ДСМ-3А исследовали поведение металлокомплексных мономеров. Полученные термограммы, типичные для Со- и Ni- содержащих металломономеров, представлены на рис. 3. Как видно из кривой 1 рис. 3, для Со- содержащего металломономера наблюдаются разделенные по температуре две области теплопоглощения, тогда как для Ni- и Мп- содержащих-практически одна². Эти данные свидетельствуют о существовании двух различных кристаллических модификаций Со - содержащего металломономера, эндотермическое плавление которых при разных температурах приводит к трехступенчатому повышению температуры тепловых волн и, соответственно, к двухступенчатому в случаях Ni- и Мп- содержащих металломономеров. Важной информацией термограмм (кр.1, 2, рис. 3) является и то, что после полного завершения процесса плавления кристаллических мономеров сразу же начинается экзотермический процесс полимеризации, до окончания которого наблюдается дополнительное тепловыделение, связанное с кристаллизацией образовавшегося в зоне реакции полимера.

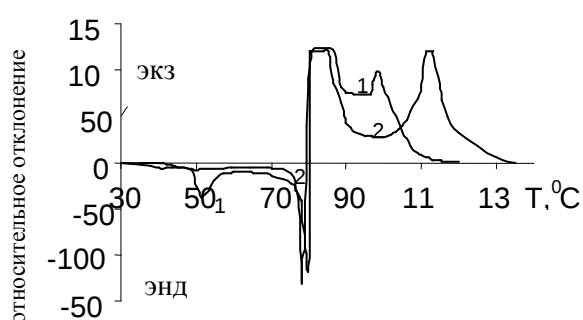


Рис.3. Термограммы Со- (кр.1) и Ni- (кр.2) содержащих металлокомплексных мономеров

Таким образом, результаты сканирующей калориметрии позволяют однозначно объяснить двух-, трех- и четырехступенчатую структуру тепловых волн, при этом четвертую ступень на температурных профилях связать с экзотермической кристаллизацией полимера.

Повышение предельной температуры тепловых волн с увеличением плотности реагирующей среды имеет простое объяснение и связано с увеличением количества вещества в единице объема исходной реакционной среды. Для выяснения наблюдаемого сужения временных интервалов температурных профилей на основе сопоставительного анализа данных рис.1 и 2 с нашими визуальными наблюдениями сделан вывод о том, что для Со-содержащего металломономера первая, вторая и часть третьей ступени тепловых волн, а для Ni- и Мп-содержащих первая и часть второй относятся к зоне разогрева, следовательно, наблюдаемое сужение тепловых волн происходит лишь в этой зоне. Поэтому можно предполагать, что распределение температуры в зоне разогрева определяется не только теплопроводностью из зоны реакции в мономерную среду, но и гравитационным конвективным массопереносом расплавленного мономера в область кристаллического, или же поверхностной энергией натяжения кристал-

лического мономера и его смачиваемостью. При этом очевидно, что увеличение плотности исходной реакционной среды приводит к уменьшению интенсивности проявления обоих процессов.

Для выбора между двумя указанными процессами в ряде экспериментов после выхода тепловых волн на стационарное состояние вертикально установленная реакционная ампула поворачивалась под разными углами, вплоть до горизонтального положения.

В случае превалирования роли гравитационного конвективного массопереноса следовало ожидать, что в соответствии с углом поворота наблюдаемые концентрические окружности (по крайней мере, граница раздела между расплавленным и кристаллическим мономерами) должна принимать форму горизонтально расположенных эллипсов. Однако оказалось, что независимо от плотности исходной реакционной среды (0,83, 1,06, 1,3 г/см³), диаметра реакционных ампул (5, 8, 12 мм) при различных углах поворота (30, 60, 90, 180°) границы как зоны фронта, так и раздела между расплавленным и кристаллическим мономерами оставались перпендикулярно поверхности реакционных ампул, а температурные профили во всех случаях получались идентичными кривым 1-6 рис.1.

Полученные результаты подтверждают доминирующую роль поверхностной энергии натяжения кристаллического мономера и его смачиваемости в процессе проникновения расплавленного мономера в область кристаллического. А наблюдаемое на кривых 1-6 рис.1 и кривых 1-3 рис.2 временное сжатие температурных профилей объясняется уменьшением скорости проникновения расплавленного мономера в область кристаллического при увеличении плотности исходной реакционной среды. По этой же причине на кривых 4-6 визуально не наблюдается ступенчатое повышение температуры тепловых полимеризационных волн.

Зависимость предельной температуры тепловых волн и скорости фронта от плотности реагирующей среды (рис. 4) для Со-содержащего металломономера, когда тепловая волна распространяется вертикально сверху вниз (рис.4б, кр.1) и снизу вверх (рис.4б, кр.2), показывает, что, несмотря на монотонное возрастание предельной температуры тепловых волн (рис.4а), скорость фронта, по крайней мере для ниспускающихся волн, меняется немонотонно (рис.4б). Увеличение скорости фронта в области малых плотностей, где фронтальные режимы не являются устойчивыми, может быть объяснено симбатным возрастанием предельной температуры тепловых волн. Дальнейший характер изменения кривой 1 рис. 4 б уже с антибатным поведением скорости фронта невозможно понять в рамках существующей теории фронтальной полимеризации или теории горения. Поэтому скорее всего здесь вопрос связан с механизмом самой термической полимеризации металлокомплексных мономеров.

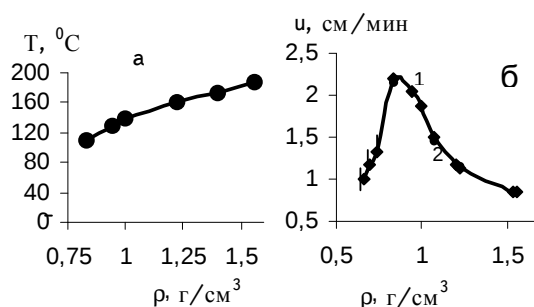
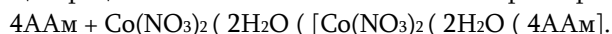


Рис.4. Зависимость предельной температуры тепловых волн (а) и скорости фронта (б) от плотности реакционной среды для ниспускающих (кр.1) и поднимающихся (кр.2) фронтальных режимов. Начальная температура 25°C

Поскольку в литературе нет данных по механизму термической полимеризации, приходится лишь предполагать, что наблюдаемая зависимость (рис.4б, кр.1) может быть результатом влияния предельной температуры тепловых волн (рис.4а) на равновесную концентрацию металлокомплексного мономера по реакции



В данном случае возрастание предельной температуры тепловых полимеризационных волн, с одной стороны, увеличивает скорость фронта, с другой - уменьшает равновесную концентрацию металлокомплексного мономера, что, очевидно, должно снизить скорость фронта. Результатом суммарного действия этих двух факторов может явиться наблюдаемая на рис 4б (кр.1) немонотонная зависимость.

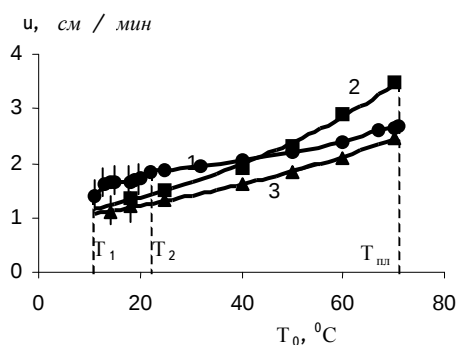


Рис.5. Зависимость скорости фронта от начальной температуры реакционной среды, полученной при ρ , г/см³: 1 - 0,9; 2 - 0,89; 3 - 0,89 соответственно для Co-, Ni-, Mn - содержащих металлокомплексных мономеров

Варьирование начальной температуры исходной реакционной среды показывает, что, независимо от природы металла, с повышением температуры исходной реакционной среды скорости распространения монотонно растут (рис.5, кр.1,2,3). При этом во всем интервале изменения температур скорости фронта для Co- (рис.5, кр.1), Ni- (рис.5, кр.2) содержащих металлокомплексных мономеров выше, чем для Mn- (рис.5, кр.3) содержащего, тогда как для Co- и Ni- содержащих при температуре 40-43°C происходит инверсия между скоростями фронта.

Анализ данных рис.5 показывает, что существуют четыре интервала температур, в которых реализуются три различных режима фронтальной полимеризации (рис. 5) для Co- (кр. 1), Ni- (кр. 2) и Mn- (кр. 3) содержащих металло-

комплексных мономеров. На кривых 1, 2, 3 рис.5 разделяющие эти области точки обозначены T_1 , T_2 и $T_{пл}$, где $T_{пл}$ – температуры плавления металломономеров.

При температурах $T < T_1$ и $T > T_{пл}$ не существует волновых режимов фронтальной полимеризации, а интервал температур $T_1 < T < T_2$ соответствует неустойчивым режимам с образованием многоголовых спиновых и других режимов. Здесь, как и в области низких плотностей (рис.4), нет хорошей воспроизводимости, поэтому значения скоростей фронта даются доверительным интервалом. Формирование стационарных режимов происходит в интервале $T_2 < T < T_{пл}$, где с повышением температуры скорость фронта монотонно растет.

Результаты экспериментов, полученные при разных температурах и плотностях Со-содержащего металломономера в виде диаграммы плотность-температура, обобщены и представлены на рис.6.

Здесь область стационарных тепловых полимеризационных волн находится выше кривой 2 и ограничена прямыми, соответствующими предельному уплотнению ($\rho_{пр}$) реакционной среды и полному плавлению кристаллического мономера. В областях, расположенных ниже кривой 1 рис.6, а также при $\rho \geq \rho_{пр}$ и $T \geq T_{пл}$ не существует волновых режимов фронтальной полимеризации.

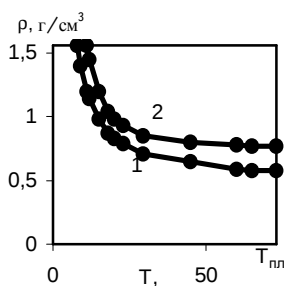


Рис. 6. Диаграмма плотность -температура для Со – содержащего металлокомплексного мономера

Отдельно рассмотрим область, расположенную между кривыми 1 и 2 рис.6, где происходит потеря устойчивости фронтальных режимов с появлением разнообразных нелинейных структур.

Фронтальная полимеризация Со-содержащего металломономера в области между кривыми 1 и 2 рис.6 приводит к тому, что на поверхности образцов появляются разнохарактерные углубления, являющиеся признаками потери устойчивости тепловых полимеризационных волн. При начальных температурах и плотностях исходной реакционной среды, близко расположенных к кривой 1 рис.6, возникающие углубления по своей форме напоминают чешуйчатые структуры (рис. 7а).

С удалением от кривой 1 чешуйчатые структуры приобретают форму параллельно расположенных спиралевидных углублений, число которых невозможно определить вследствие их перепутанности. Далее число спиралей уменьшается, и четко выделяются углубления с двумя (рис. 7б) параллельно расположенными спиралями и с одной (рис. 7в).

Представленные на рис.7а,б,в нелинейные структуры, очевидно, являются следствием возникновения в зоне фронта различных количеств очагов, расположенных симметрично относительно оси образцов и приводящих к спиновым режимам. Максимальное количество очагов, к сожалению, невозможно определить. В формировании спиновых режимов, особенно многозаходных, определенную роль играют эндотермическое плавление кристаллического мономера в зоне прогрева и кристаллизационный фронт, распространяющийся со скоростью

полимеризационного фронта. В области, близко расположенной к кривой 2 рис.7, характер наблюдаемых форм неустойчивостей меняется, и уже на поверхности образцов появляются углубления в форме окружностей с четким периодом их повторения (рис. 7г). Возникающий в данном случае очаг замыкается на себя. С приближением к кривой 2 период их повторения уменьшается, и уже в области устойчивых режимов фронтальной полимеризации на поверхности полученных образцов вовсе не наблюдается каких-либо структур, напоминающих неустойчивые режимы.

Проведение фронтальной полимеризации Ni- и Mn- содержащих металло-мономеров при различных температурах и плотностях исходной реакционной среды показывает, что подобно Co - содержащим, существуют три области, в которых реализуются разные режимы фронтальной полимеризации, лишь с той разницей, что нижняя граница (кр. 2, рис.6) устойчивых фронтальных режимов несколько сдвинута в сторону высоких температур и плотностей.

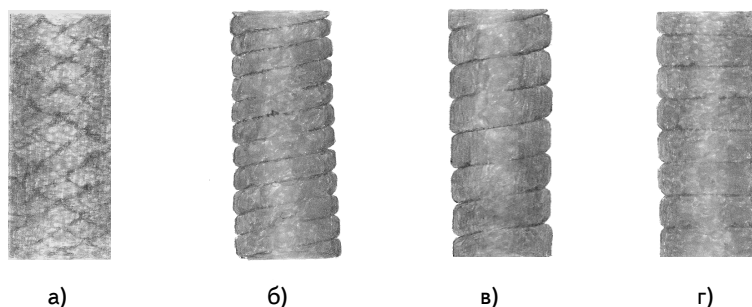


Рис.7. Нелинейные структуры при фронтальной полимеризации Co-содержащего металлокомплексного мономера: а – многозаходный, б – двухзаходный, в – однозаходный спиновые режимы, г – самозамыкающийся очаг

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чечило Н.М., Ениколопан Н.С. // Докл. АН СССР. – 1976. - Т. 230, № 3. - С. 160.
2. Ханукаев Б.Б., Кожушнер М.А., Ениколопан Н.С. // Докл. АН СССР. -1974. - Т. 214, № 3. - С. 625.
3. Давтян С.П., Сурков Н.Ф., Розенберг Б.А., Ениколопан Н.С. // Докл. АН СССР.- 1977. - Т. 232, № 2. - С.379.
4. Бегишев В.П., Вольперт В.А., Давтян С.П., Малкин А.Я. // Докл. АН СССР. – 1985. - Т. 279, № 4. - С. 909.
5. Давтян С.П., Жирков П.А., Вольфсон С.А. // Успехи химии. – 1984. - № 2. - С. 251.
6. Nagy J.P., Pojman J.A. // Chem. Phys. Letters. – 1992. - V. 200, № 12. - P. 147.
7. Pojman J.A., Nagy I.P., Salter C. // J. Am. Chem. Soc. – 1993. - V. 115. - P. 11044.
8. Pojman J.A, Willis J., Fortenberry D., Pyashenko V., Khan A.M. // J. Polym. Sci, P.A., Polymer Chemistry. – 1995. - V. 33. - P. 643.
9. Pojman J.A., Gurtis G., Pyashenko Y.M. // J. Am. Chem. Soc. – 1996. - V. 118. - P. 3783.

10. **Pojman J.A., Fortenberry D.I., Piyashenko V.M.** // Int. J. Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – 1997. – V. 6, № 3 – P. 335.
11. **Արությունյան Х.А., Давтян С.П., Розенберг В.А., Ениколопян Н.С.** // Докл. АН СССР. – 1975. – Т. 223. – С. 657.
12. **Сурков Н.М., Давтян С.П., Розенберг В.А., Ениколопян Н.С.** // Докл. АН СССР. – 1976. – Т. 228. – С. 141.
13. **Давтян Д.С., Багдасарян А.Э., Тоноян А.О., Давтян С.П.** // Химическая физика. – 2000. – Т. 19, № 9. – С. 100.
14. **Давтян Д.С., Багдасарян А.Э., Тоноян А.О., Давтян С.П.** // Химическая физика. – 2000. – Т. 19, № 8. – С. 83.
15. **Помогайло А.Д., Давтян С.П., Тамчак А.А., Джарджималиева Г.А.** // Мат. 8-го Всес. симп. “Химическая физика процессов горения и взрыва”. – Ташкент, 1986. – С. 8.
16. **Savostyanov V.S., Kritskaya D.A., Ponomarev A.N., Pomogailo A.D.** // J. Polym. Sci., P.A., Polymer chemistry. – 1994. – V. 32. – P. 1201.
17. **Савостьянов В.С., Помогайло А.Д., Селенова Б.С., Крицкая Д.А., Пономарев А.М.** // Изв. АН СССР. Сер. химическая. – 1990. – № 4 – С. 768.
18. **Pojman J.A., Gurtis G., Piyashenko V.M.** // J. Am. Chem. Soc. – 1996. – V. 118. – P. 3783.
19. **Помогайло А.Д., Савостьянов В.С.** Металлсодержащие мономеры и полимеры на их основе. – М.: Химия, 1988.

Ս.Է. ԲԱԳԾԱՆ, Լ.Ս. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Հ.Ռ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ա.Ն. ՏՈՆՈՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ

ԱՎԴՐԼԱՄԻՐԻ ԵՎ ԱՆՑՈՂԱԿԱՆ ՇԱՐՔԻ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՆԻՏՐԱՏՆԵՐԻ ՄԵՏԱՂԱԿՈՄՊԼԵՔՍՆԵՐԻ ՊԻՆԴԱԶԱՅԻՆ ՖՐՈՆՏԱԼ ՊՈԼԻՄԵՐԱՑՄԱՆ ՅՈՒՐԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Անցողական շարքի մետաղների (Co, Ni, Mn) նիտրատների և ակրիլամիդի մետաղակոմպլեքսային մոնոմերների ֆրոնտալ պոլիմերացումն ուղեկցվում է ջերմային ալիքների չորս, երեք և երկու սանդղային կառուցվածքով: Ստացված փորձնական արդյունքների հիման վրա որոշվել է ֆրոնտալ պոլիմերացման ջերմային ռեժիմների երեք տիրույթ՝ ստացիոնար ջերմային ալիքների գոյության, անկայունության տիրույթներ, ինչպես նաև այն պայմանները, երբ պոլիմերացման ջերմային ալիքները գոյություն չունեն: Անկայուն ջերմային ալիքների տիրույթում հայտնաբերվել են մեկ, երկու, երեք և բազմազիսիկանի սպինային և այլ ոչ-գծային կառուցվածքներ:

**S.E.BAGHYAN, L.S. MANUKYAN, H.R. KHACHATRYAN, A.O. TONoyAN,
S.P. DAVTYAN**

PECULIARITIES OF SOLID STATE POLYMERIZATION IN ACRYLAMIDE METAL-COMPLEXES WITH TRANSITION METAL NITRATES

Solid state polymerization in acrylamide results in metal-complex structures of heat polymerization waves. Based on experimental data three heat condition regions of solid state polymerization are determined: existence region, unstable region and the region where no wave regimes can exist. One-, two-, three- and multiapproach nidus regiones are discovered in the unstable region as spin and other nonlinear structures.

Т.Г. АФРИКЯН

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ АЛМАЗНЫМИ ЗЕРНАМИ

Предложены технологические процессы изготовления алмазных шлифовальных кругов прямого профиля путем экструзии алмазоносного слоя и корпуса круга. Оптимизированы параметры экструзии, реализация которых позволяет ориентировать алмазные зерна в направлении экструзии. Выявлена зависимость степени ориентации от параметров экструзии.

Ключевые слова: алмазный инструмент, экструзия, ориентация алмазных зерен, круги шлифовальные, органическая связка.

Структурное несовершенство абразивного инструмента, вызванное хаотичным распределением зерен в объеме алмазоносного слоя, ограничивает его режущие способности, а следовательно, снижает эффективность алмазной обработки. Потенциальные возможности алмазных зерен в связке остаются нереализованными.

Для осуществления геометрической ориентации алмазных зерен применяют электростатические или электромагнитные поля, центробежные силы, вязкое течение среды в виде потока с большим градиентом скорости течения и ручное распределение. Наиболее перспективной является экструзия, при которой абразивные зерна ориентируются по направлению пластического течения связующего.

К сожалению, технология изготовления шлифовальных кругов экструзией по существу не разработана. Анализ патентной литературы показывает, что наиболее рациональным является способ ориентации алмазных зерен экструзией применительно к алмазоносному слою.

При разработке технологии изготовления шлифовальных кругов экструзией важной задачей является оптимизация параметров процесса, в частности, температуры связки. Органическое связующее – пульвербакелит – находится в вязкотекучем состоянии в пределах 60...150 °С, однако не весь температурный интервал пригоден для экструзии. В качестве полимерной основы для связующего ПБ (ГОСТ 3552-63) выбрана фенолоформальдегидная порошкообразная смола СФП-012А. При нагреве связующее проходит стадии размягчения в интервале 50...100 °С и плавления – 100...140 °С. Уточнение температурного диапазона экструзии было проведено на экспериментальном стенде, для чего использовали гидравлический пресс типа ПСУ-125 и давление 0,7 МПа. Результаты исследований показали, что оптимальные температуры находятся в интервале пластифицирования порошкового бакелита до его плавления. Экструзия бакелитового связующего при температуре 100 °С в результате плавления имеет следующие недостатки:

- происходит газовыделение, из-за которого экструдированная масса вспучивается;

- вследствие поликонденсации уменьшается продолжительность вязкопластического состояния связующего.

Экспериментально установлено, что оптимальная температура экструзии бакелитового порошка (СФП-012А) составляет 80...95 °С. Абразивные зерна имеют многообразие форм, поэтому важна классификация неравноосных алмазных зерен, по которой можно оценить степень их ориентации. Нами предложено [1] оценивать степень ориентации средним углом отклонения оси частиц от направления пластического течения, т.е. экструзии.

В исследовании в качестве частиц использовались дискретные волокна из алюминиевой проволоки $d=0,8$ мм. Угол отклонения ориентации волокон определяли в поперечном сечении экструдированного стержня (рис.1).

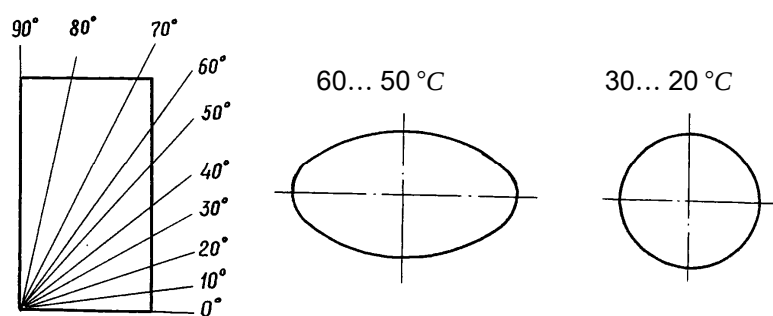


Рис.1. Шаблоны для определения углов отклонения волокон

На рис.2 показан поперечный шлиф образца с $h/d=5:1$ (коэффициент вытяжки $\lambda = 3$).

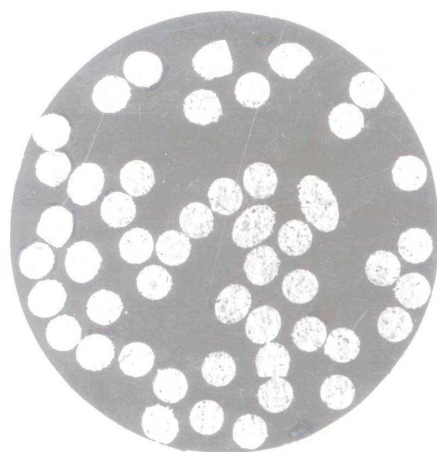


Рис.2. Поперечный шлиф образца с $h/d=5:1$ ($\lambda = 3$)

В таблице представлена зависимость углов ориентации от h/d .

Таблица

Со- от- но- ше- ние h/d	Количество волокон								
	0-10°	10-20°	20-30°	30-40°	40-50°	50-60°	60-70°	70-80°	80-90°
2:1	3	7	4	4	3	3	2	2	3
3:1	3	11	3	3	4	3	2	1	4
4:1	5	13	7	4	2	1	1	1	-
5:1	5	20	9	2	-	-	-	-	-
6:1	17	29	2	2	-	-	-	-	-

Степень ориентации (угол ориентации) определяли по формуле

$$\gamma_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \gamma_i K_i / 100 \sum_{i=1}^n K_i ,$$

где $\gamma_{\text{ср}}$ – средний угол интервала; γ_i – угол наклона волокна в данном интервале;

K_i – количество волокон, попадающих в этот интервал; n – число интервалов.

При формовании стержней традиционным способом (путем засыпки и прессования шихты в пресс-форме) углы ориентации распределяются по равновероятному закону, т.е. $\gamma_{\text{ср}} \approx 45^\circ$. С увеличением отношения h/d , $\gamma_{\text{ср}}$ закономерно уменьшается и при $h/d = 6:1$ достигает $\gamma_{\text{ср}} \approx 18^\circ$.

Впервые способ получения абразивоносного венца шлифовального круга формы 1A1 экструзией был предложен автором патента [2], по которому абразивоносную массу при температуре его пластифицирования экструдуют в камеру, имеющую форму венца шлифовального круга формы 1A1. Экструзию осуществляют в направлении увеличения формируемого венца. Этот способ имеет следующие недостатки:

- элементарный кольцевой объем абразивоносной массы при перемещении в камеру формования пресс-формы рассекается на отдельные потоки. Вследствие этого радиальная ориентация трансформируется в тангенциальную, что совершенно недопустимо;

- требуется дополнительная операция присоединения абразивоносного венца к корпусу шлифовального круга.

Этих недостатков лишен способ, предложенный в работе [3], согласно которому экструзию осуществляют в направлении уменьшения радиуса формируемого абразивоносного венца. Достоинством этого способа является также возможность изготовления шлифовального круга форм 1A1 путем последовательной экструзии корпуса и абразивоносного слоя. В приемной камере пресс-формы площадь сечения кольцевого прохода постепенно уменьшается. В результате скорость течения в направлении экструзии возрастает, что улучшает условия ориентации зерна, а

возникающие тангенциальные сжимающие напряжения предотвращают возникновение радиальных трещин в абразивоносной массе.

Предлагаемый способ позволяет совместить формование абразивоносного слоя с процессом его соединения с корпусом круга.

На основе проведенных исследований разработаны технологические процессы изготовления алмазных шлифовальных кругов прямого профиля экструзией:

- напрессовыванием алмазоносного слоя экструзией на алюминиевый корпус;
- экструзией корпуса круга и алмазоносного слоя.

Поскольку заводы, выпускающие алмазные и эльборовые шлифовальные круги, оснащены гидравлическими прессами общего назначения (с нижним расположением выталкивателя), экструдерная установка скомпонована на базе этих прессов. Для экструзии массы в пресс-форму используется верхний гидроцилиндр пресса, а для ввода и вывода пресс-формы из зоны экструзии – нижний гидроцилиндр [4].

Экструдерная установка (рис.3) состоит из гидравлического пресса общего назначения 1, пресс-формы 2, контейнера 3 и нагревательного устройства 4.

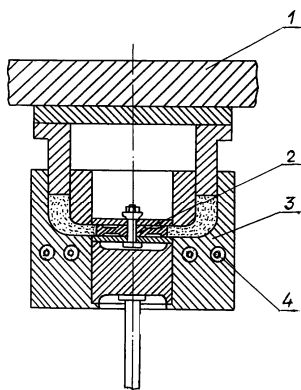


Рис.3. Общий вид экструдерной установки

Одним из важных достоинств предложенной установки является то, что ее использование на вертикальных гидравлических прессах, серийно выпускаемых промышленностью, не требует модернизации этих прессов.

Разработана технология получения шлифовального круга, которая заключается в следующем. Вначале обработкой разанием изготавливают корпус круга, затем наносят на цилиндрическую рифленую поверхность слой клея, который подвергают предварительной термической обработке, после чего корпус круга размещают в пресс-форму и экструзией в направлении от периферии к центру наращивают абразивоносный слой. Однако такая технология имеет ряд недостатков: низкая производительность, обусловленная трудоемкостью механической обработки корпуса; наличие дополнительных операций рифления, нанесения слоя клея и термической обработки.

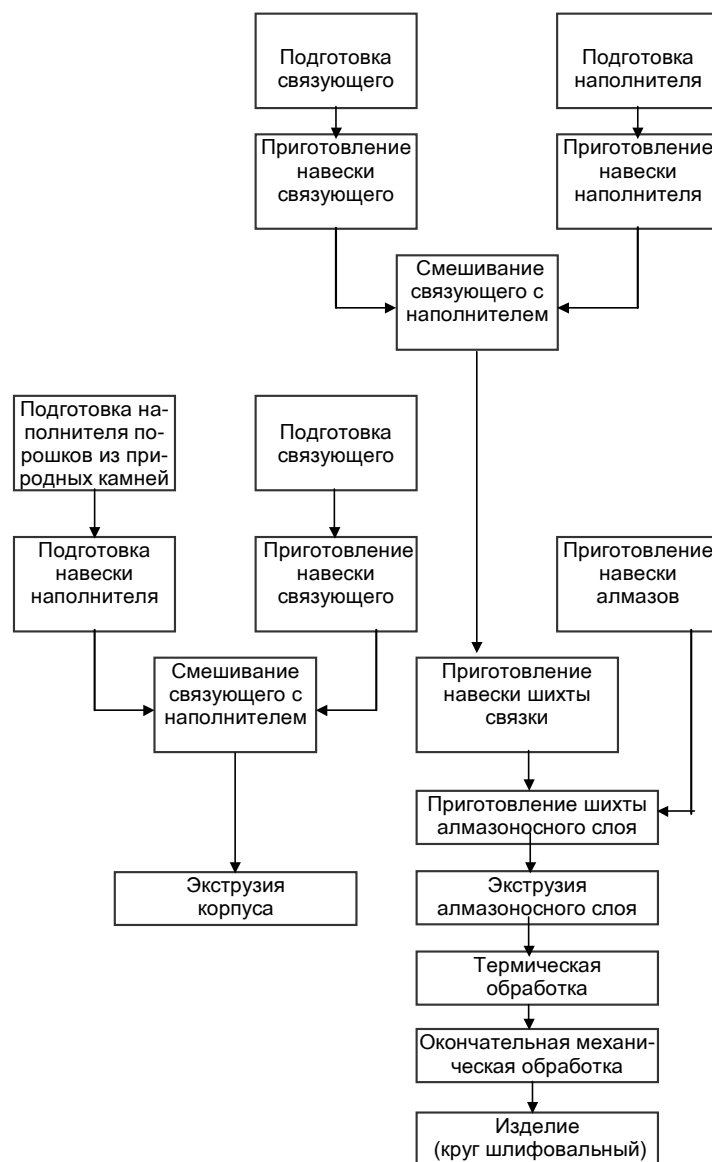


Рис. 4. Технологическая схема изготовления шлифовального круга

В этой связи предлагается более рациональная технология изготовления шлифовального круга путем последовательной экструзии массы корпуса и алмазоносного слоя в пресс-форме. Это значит, что технология позволяет формировать корпус и алмазоносный слой в одной пресс-форме. Сначала формируется корпус, затем в радиальном направлении создается камера и формируется алмазоносный слой. Связующее корпуса и алмазоносного слоя одинаковое [5].

На рис. 4 показана технологическая схема изготовления шлифовального круга путем последовательной экструзии шихт корпуса и алмазоносного слоя в пресс-форме.

Разработаны новые композиционные материалы для изготовления корпусов шлифовальных кругов на бакелитовой связке, в которых в качестве упрочняющего материала использованы порошки природных камней “туфобакелит” и “мраморобакелит” [6].

При сравнительных испытаниях кругов на работоспособность выявлено, что экструдированные круги обладают лучшими эксплуатационными качествами, чем круги базовые [7]. Удельный расход экструдированных кругов в 1,4, а высота микронеровностей отшлифованной поверхности в 1,5 раза меньше кругов, изготовленных традиционными методами (с хаотичным распределением алмазных зерен в абразивоносном слое).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мартirosян Р.Б., Африкян Т.Г., Степанян Р.Г.** Шлифовальные круги с ориентированными зернами: Тезисы докл. научн.-техн. конф.- М., 1986.- С. 25-29.
2. Патент Франции N2263289, опубл. 7.03.75.
3. А.с. N952566. Способ изготовления абразивного инструмента / **Р.Б. Мартirosян**. Опубл. в Б.И. 1982, N 31.
4. Роспатент N1315274. Устройство для формования абразивного инструмента / **Р.Б. Мартirosян, Т.Г. Африкян, Р.Р. Мартirosян**.- 1993.
5. Роспатент N1404315. Устройство для формования абразивного инструмента / **Р.Б. Мартirosян, Т.Г. Африкян**. – 1993.
6. Роспатент N1510274. Масса для изготовления корпуса абразивного инструмента / **Р.Б. Мартirosян, Т.Г. Африкян**. – 1993.
7. **Африкян Т.Г.** Разработка и исследование технологии изготовления шлифовального круга с ориентированными алмазными зернами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тбилиси, 1998. – 22 с.

Гаварский гос. ун – т РА. Материал поступил в редакцию 24.01.2001.

Տ.Հ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ

ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՎԱԾ ՀԱՏԻԿՆԵՐՈՎ ԱԼՄԱՍՏԵ ՀՂԿԱՔԱՐԵՐԻ ՊԱՏՄԱՍՏՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

Առաջադրված են ուղիղ պրոֆիլի ալմաստե հղկաքարերի պատրաստման տեխնոլոգիական գործընթացներ՝ պատրաստի իրանի վրա տաք արտամղման միջոցով ալմաստակիր շերտի նստեցմամբ, իրանի և ալմաստակիր շերտի հաջորդական տաք արտամղմամբ: Լավարկված են արտամղման պարամետրերը, որոնց իրագործումը հնարավորություն կտա ալմաստի հատիկները կողմնորոշել տաք արտամղման ուղղությամբ: Ցույց է տրված կողմնորոշման աստիճանի կախվածությունը տաք արտամղման պարամետրերից:

T.H. AFRIKYAN

GRINDING WHEEL MANUFACTURING TECHNOLOGY WITH ORIENTED DIAMOND GRAINS

Technological processes of grinding wheel manufacturing with direct profile by diamond-carrier layer and wheel body extrusion are proposed. Extrusion parameters are optimized and their realization permits to orient the diamond grains in the extrusion direction. Orientation degree dependence on extrusion parameters is obtained.

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН, К.В. ХАЧАТРЯН, К.К. МАРКАРЯН

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, КОГДА СТАНЦИОННЫЕ УЗЛЫ ТИПА P-U ПРЕВРАЩАЮТСЯ В НАГРУЗОЧНЫЕ УЗЛЫ ТИПА P-Q

Предлагается метод выбора состава и структуры систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС, когда изменяется исходная информация относительно станционных узлов. Метод обеспечивает высокую маневренность при решении практических задач.

Ключевые слова: матрица, модель, информация, мощность, узел, нагрузка, электроэнергетическая система, режим.

При решении практических задач расчета установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) в большинстве случаев станционные узлы типа P-U превращаются в нагрузочные узлы типа P-Q, что приводит к изменению как состава, так и структуры систем нелинейных алгебраических уравнений [1-6].

Целью статьи является решение Y-Z систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС, когда станционные узлы типа P-U переходят в нагрузочные узлы типа P-Q.

Как известно, Y-Z системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС, представленных в неявно выраженных формах, имеют вид [5]

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Bm} + \phi_{pm}(U_n, \Psi_{un})] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Bm} + \phi_{qm}(U_n, \Psi_{un})] = 0, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{Bk} + \phi_{pk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{Bk} + \phi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Если система (1) относится к станционным узлам (индексы m, n), то система (2) - к нагрузочным узлам (индексы k, ℓ) рассматриваемой ЭЭС.

В системе уравнений (1) имеем

$$\phi_{pm}(U_n, \Psi_{un}) = U_m \sum_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})], \quad (3)$$

$$\varphi_{qm}(U_n, \Psi_{Un}) = U_m \sum_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})], \quad (4)$$

а в системе уравнений (2):

$$\varphi_{pk}(I'_\ell, I''_\ell) = \sum_{\ell=\Gamma+1}^M [R_{k,\ell} (I'_k I'_\ell + I''_k I''_\ell) + X_{k,\ell} (I''_k I'_\ell - I'_k I''_\ell)], \quad (5)$$

$$\varphi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell) = - \sum_{\ell=\Gamma+1}^M [R_{k,\ell} (I''_k I'_\ell - I'_k I''_\ell) - X_{k,\ell} (I'_k I'_\ell + I''_k I''_\ell)]. \quad (6)$$

Величины P_{Bm}, Q_{Bm} , входящие в систему (1), и P_{Bk}, Q_{Bk} , входящие в систему (2), определяются соответственно выражениями (3) и (4), (5) и (6), приведенными в [5].

Исходной для составления систем уравнений (1) и (2) явилась Y-Z гибридная матрица, которая имеет вид

$$Y - Z = \left[\begin{array}{c|c} \frac{Y_{mn} - Y_{mk} Z_{k\ell} Y_{\ell n}}{-Z_{k\ell} Y_{\ell n}} & \frac{Y_{mk} Z_{k\ell}}{Z_{k\ell}} \end{array} \right], \quad (7)$$

где

$$Z_{k,\ell} = Y_{k\ell}^{-1}. \quad (8)$$

Можно из (7) и (8) заметить, что самым трудоемким моментом является вопрос установления $Z_{k,\ell}$, что связано с обращением матрицы $Y_{k\ell}$.

Первоначально предполагается, что все стационарные узлы являются узлами типа P-U. При составлении систем нелинейных алгебраических уравнений (1) и (2) была использована Y-Z расчетная квадратная матрица (7). Представим матрицу (7) в виде

$$Y - Z = \left[\begin{array}{c|c} Y_{\Gamma\Gamma} & \dot{A}_{\Gamma H} \\ \hline \dot{B}_{H\Gamma} & Z_{HH} \end{array} \right], \quad (9)$$

где нижние индексы показывают порядки отдельных подматриц.

Предположим, что последний Γ -й стационарный узел типа P-U превращается в нагрузочный узел типа P-Q. Это означает, что в этом узле потребляемая мощность нагрузки больше, чем вырабатываемая электрической станцией. При этом расчетная Y-Z матрица (9) структурно меняется и представляется как

$$Y - Z = \left[\begin{array}{c|c} Y_{\Gamma-1, \Gamma-1} & \dot{A}_{\Gamma-1, H+1} \\ \hline \dot{B}_{H+1, \Gamma-1} & Z_{H+1, H+1} \end{array} \right]. \quad (10)$$

Поскольку для стационарных узлов типа P-U искомыми переменными являются аргументы комплексных напряжений, то, исключая из (1) вторую

систему, оставшиеся, формируя на основании (10), представим в виде

$$\left[\begin{array}{c|c} \frac{\Phi_{pm}(\Psi_{Un})=0}{\Phi_{pk}(I'_\ell, I''_\ell)=0} & \frac{\Phi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell)=0}{\Phi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell)=0} \end{array} \right]. \quad (11)$$

В верхней левой системе уравнений пределом суммы выражения Φ_{pm} будет $1 \rightarrow (\Gamma-1)$, тогда как пределом суммы выражений Φ_{pk} , Φ_{qk} , входящих в нижнюю правую систему, будет $\Gamma(M)$.

Для решения верхней левой и нижней правой систем принимается соответственно сочетание методов второго и первого порядков.

Составляя вспомогательную квадратичную функцию $F(\Psi)$ для верхней левой системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима, из условия ее минимума устанавливаем следующее рекуррентное выражение для определения деления искоемых аргументов комплексных напряжений станционных узлов:

$$[\Psi_{Um}]^{I+1} = [\Psi_{Um}]^I - \left[\frac{\partial^2 F(\Psi)}{\partial \Psi^2} \right]^{-1} \times \left[\frac{\partial F(\Psi)}{\partial \Psi} \right]_I, \quad (12)$$

где I - номер итерации.

Частные производные первого и второго порядков, входящие в (12), определяются соответственно:

- при $m=n$:

$$\frac{\partial F(\Psi)}{\partial \Psi_{Un}} = 2 \sum_{m=1}^{\Gamma-1} \Phi_{pm}(\Psi_U) \frac{\partial \Phi_{pm}(\Psi_U)}{\partial (\Psi_U)}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 F(\Psi)}{\partial \Psi_{Un}^2} = 2 \sum_{m=1}^{\Gamma-1} \left(\frac{\partial \Phi_{pm}(\Psi)}{\partial \Psi_{Un}} \right)^2 + \Phi_{pm}(\Psi) \frac{\partial^2 \Phi_{pm}(\Psi)}{\partial \Psi_{Un}^2}; \quad (14)$$

- при $m(n$:

$$\frac{\partial^2 F(\Psi)}{\partial \Psi_{Um} \partial \Psi_{Un}} = 2 \sum_{m=1}^{\Gamma-1} \left(\frac{\partial \Phi_{pm}(\Psi)}{\partial \Psi_{Um}} \frac{\partial \Phi_{pm}(\Psi)}{\partial \Psi_{Un}} \right) + \Phi_{pm}(\Psi) \frac{\partial^2 \Phi_{pm}(\Psi)}{\partial \Psi_{Um} \partial \Psi_{Un}}. \quad (15)$$

Частные производные первого и второго порядков, входящие в (13)–(15), определяются на основании первой функции системы (1) с учетом пределов суммы (3). При этом соответствующие частные производные определяются нижеприведенными выражениями:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{Um}} &= - \left\{ P'_{m\mathcal{B}}(\Psi) - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma-1} U_m [g_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})] U_n \right\}, \\ \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{Um}^2} &= - \left\{ P''_{m\mathcal{B}}(\Psi) - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma-1} U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})] U_n \right\}, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Psi_{Un}} &= - \left\{ U_m [g_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})] U_n \right\},\end{aligned}\tag{16}$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{Un}^2} = - \left\{ - U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})] U_n \right\},$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{Um} \partial \Psi_{Un}} = - \left\{ \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma-1} U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})] U_n \right\},$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{Um} \partial \Psi_{Un}} = - \left\{ \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma-1} U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{Um} - \Psi_{Un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{Um} - \Psi_{Un})] U_n \right\}.$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}P'_{m\mathcal{B}}(\Psi) &= \sum_{n=1}^{\Gamma-1} (g_{m,n} \sin \Psi_{Um} - b_{m,n} \cos \Psi_{Um}) U_0 U_m - \sum_{l=\Gamma}^M [(A'_{m,\ell} I'_\ell - \\ &\quad - A''_{m,\ell} I''_\ell) \sin \Psi_{Um} - (A'_{m,\ell} I''_\ell + A''_{m,\ell} I'_\ell) \cos \Psi_{Um}] U_n,\end{aligned}\tag{17}$$

$$\begin{aligned}P''_{m\mathcal{B}}(\Psi) &= \sum_{n=1}^{\Gamma-1} (g_{m,n} \cos \Psi_{Um} - b_{m,n} \sin \Psi_{Um}) U_0 U_m - \sum_{l=\Gamma}^M [(A'_{m,\ell} I'_\ell - \\ &\quad - A''_{m,\ell} I''_\ell) \cos \Psi_{Um} + (A'_{m,\ell} I''_\ell + A''_{m,\ell} I'_\ell) \sin \Psi_{Um}] U_n.\end{aligned}\tag{18}$$

Для решения нижней правой системы формы (11) на основании метода Ньютона-Рафсона можно написать следующее рекуррентное выражение относительно искомым составляющих узловых комплексных токов:

$$\begin{bmatrix} I'_k \\ I''_k \end{bmatrix}^{I+1} = \begin{bmatrix} I'_k \\ I''_k \end{bmatrix}^I - \left[\begin{array}{c} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I'_\ell} \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I'_\ell} \end{array} \middle| \begin{array}{c} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I''_\ell} \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I''_\ell} \end{array} \right]. \quad (19)$$

Частные производные первого порядка, входящие в (19), определяются на основании системы (2) с учетом соответствующих пределов суммы (5) и (6):

- при одинаковых индексах, т.е. когда $\ell = k$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I'_k} &= - \left[\frac{\partial P_{Bk}}{\partial I'_k} + 2R_{k,k} I'_k + \sum_{\substack{\ell=\Gamma \\ \ell \neq k}}^M (R_{k,\ell} I'_\ell - X_{k,\ell} I''_\ell) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I''_k} &= - \left[\frac{\partial P_{Bk}}{\partial I''_k} + 2R_{k,k} I''_k + \sum_{\substack{\ell=\Gamma \\ \ell \neq k}}^M (R_{k,\ell} I''_\ell + X_{k,\ell} I'_\ell) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I'_k} &= - \left[\frac{\partial Q_{Bk}}{\partial I'_k} + 2X_{k,k} I'_k + \sum_{\substack{\ell=\Gamma \\ \ell \neq k}}^M (R_{k,\ell} I''_\ell + X_{k,\ell} I'_\ell) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I''_k} &= - \left[\frac{\partial Q_{Bk}}{\partial I''_k} + 2X_{k,k} I''_k - \sum_{\substack{\ell=\Gamma \\ \ell \neq k}}^M (R_{k,\ell} I''_\ell - X_{k,\ell} I'_\ell) \right], \end{aligned} \quad (20)$$

где

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{Bk}}{\partial I'_k} &= U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma-1} B'_{k,n} U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma-1} (B'_{k,n} \cos \Psi_{Un} - B''_{k,n} \sin \Psi_{Un}) U_n \\ \frac{\partial P_{Bk}}{\partial I''_k} &= - \sum_{n=1}^{\Gamma-1} B''_{k,n} U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma-1} (B'_{k,n} \sin \Psi_{Un} + B''_{k,n} \cos \Psi_{Un}) U_n, \\ \frac{\partial Q_{Bk}}{\partial I'_k} &= - \sum_{n=1}^{\Gamma-1} B''_{k,n} U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma-1} (B'_{k,n} \sin \Psi_{Un} + B''_{k,n} \cos \Psi_{Un}) U_n, \\ \frac{\partial Q_{Bk}}{\partial I''_k} &= -U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma-1} B'_{k,n} U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma-1} (B'_{k,n} \cos \Psi_{Un} - B''_{k,n} \sin \Psi_{Un}) U_n; \end{aligned} \quad (21)$$

- при разных индексах, т.е. когда $k \neq \ell$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I'_\ell} &= -(R_{k,\ell} I'_k + X_{k,\ell} I''_k), \quad \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I''_\ell} = -(R_{k,\ell} I''_k - X_{k,\ell} I'_k), \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I'_\ell} &= -(-R_{k,\ell} I''_k + X_{k,\ell} I'_k), \quad \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I''_\ell} = -(R_{k,\ell} I'_k + X_{k,\ell} I''_k). \end{aligned} \quad (22)$$

В случае, когда два стационарных узла типа P-U превращаются в нагрузочные узлы типа P-Q, которые также вводятся в состав существующих нагрузочных узлов, Y-Z расчетная матрица (9) принимает вид

$$Y - Z = \left[\begin{array}{c|c} Y_{\Gamma-2, \Gamma-2} & \dot{A}_{\Gamma-2, H+2} \\ \hline \dot{B}_{H+2, \Gamma-2} & Z_{H+2, H+2} \end{array} \right]. \quad (23)$$

При этом системы нелинейных алгебраических уравнений (1), (2) установившегося режима ЭЭС формируются на основании (23).

Представляя соответствующие системы нелинейных алгебраических уравнений в виде (11), можно перейти к их решениям.

Поступая аналогичным образом, необходимо построить соответствующие рекуррентные выражения типа (12) и (19) и установить аналитические выражения частных производных первого и второго порядков, входящих в них.

Аналитические выражения искомых частных производных структурно не будут отличаться от вышеприведенных частных производных, только лишь необходимо учесть пределы сумм соответствующих функций.

Пользуясь предложенным методом, можно решить задачу расчета установившегося режима ЭЭС при любом количестве превращений стационарных узлов типа P-U в нагрузочный узел типа P-Q.

В заключение отметим, что предложенный метод обеспечивает высокую маневренность при практическом расчете установившихся режимов ЭЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество. - 1991. - №1. - С. 6-13.
2. **Хачатрян В.С., Аль-Дарвиш М.Б.** Решение Y-Z формы уравнений установившегося режима электроэнергетической системы с применением матрицы Гессе // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т.50, №1. - С. 194-203.

3. **Аль-Дарвиш М.Б.** Решение Y-Z формы уравнений установившегося режима электроэнергетической системы с помощью матрицы Гессе с постоянными элементами // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1998. - Т.51, №2.- С. 170-178.
4. **Хачатрян К.В.** К решению системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима электроэнергетических систем методом Ньютона-Рафсона // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1999.- Т.52, №1.- С. 38-43.
5. **Хачатрян К.В.** Расчет установившегося режима ЭЭС при P-U типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2000.- Т.53, №1.- С. 39-43.
6. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В., Маркарян К.К.** Метод коррекции Y-Z расчетной матрицы ЭЭС // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.- Т.54, №1.- С. 39-43.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.1999.

**Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Կ.Վ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ,
Կ.Կ. ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ**

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՑՈՒՆԱՑՎԱԾ ՈՆԺԻՄԻ
ՀԱՇՎՈՒՄԸ P-U ՏԵՍՔԻ ԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ՝ P-Q ՏԵՍՔԻ
ԲԵՌԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ ՎԵՐԱԾՎԵԼՈՒ ԴԵՊՔՈՒՄ**

Առաջարկվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հավասարումների համակարգի կազմի և կառուցվածքի ընտրման մեթոդ, երբ տեղի է ունենում կայանային հանգույցների նկատմամբ տրված նախնական ինֆորմացիայի փոփոխություն: Գործնական խնդիրների լուծման ժամանակ մեթոդն ապահովում է մեծ մանեվրայնություն:

**V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN, K.V. KHACHATRYAN,
K.K. MARKARYAN**

**ELECTRIC POWER SYSTEM STANDARD PRACTICE CONDITION
CALCULATION WHEN P-U TYPE STATION NODES TURN INTO
P-Q TYPE LOADING NODES**

A method of selecting composition and structure for nonlinear simultaneous equations of EPS standard practice when changing initial information on station nodes has been proposed. This method provides high manoeuvring in solving practical tasks.

Լ.Տ. ՂՈՒԼՈՅԱՆ, Ա.Լ. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ

ՓՈՔՐ ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՇՈՒՐՁ

Դիտարկվում է համակցված փոքր էներգատեղակայանքների զարգացման այժմեականությունը: Քննարկվում են դրանց էներգետիկական արդյունավետության գնահատման մեթոդները, հատկապես այն դեպքերում, երբ սպառողները միաժամանակ մատակարարվում են որակով խիստ տարբերվող էներգիայի տեսակներով (ջերմություն, էլեկտրաէներգիա):

Առանցքային բաներ: համակցված տեղակայանք, փոքր էներգետիկա, տեխնիկական աշխատունակություն:

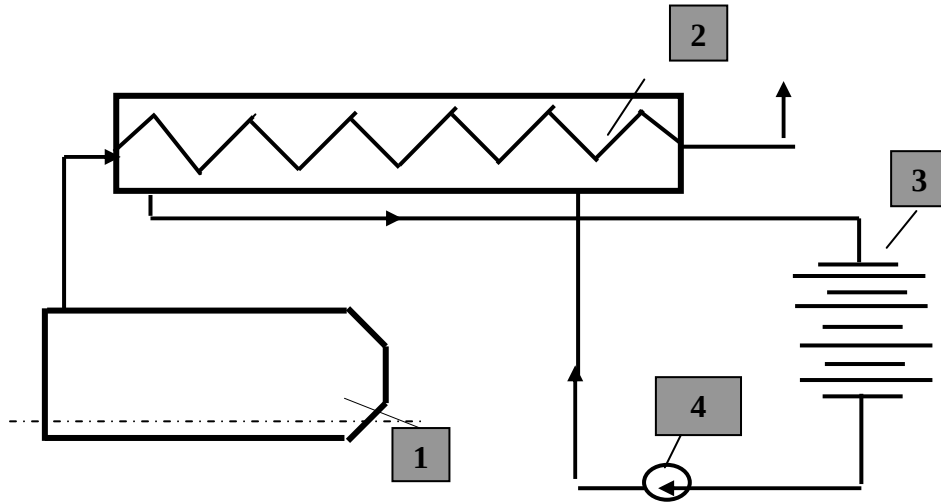
Հաճախ միանգամայն բավարար էներգետիկական իրադրության պայմաններում էլեկտրականության և հատկապես ջերմության առանձին սպառողների համար շատ ավելի նպատակահարմար է լինում օգտվել « փոքր էներգետիկայի » ծառայությունից:

Խոսքը վերաբերում է հատկապես էներգետիկական համակարգերից հեռու գտնվող կամ լեռնային ռելիեֆի պատճառով բարդացող ցանցերի հետ կապված դժվարությունները հաղթահարելուց հրաժարվող սպառողներին:

Այժմ ամենուրեք, և մասնավորապես ՀՀ-ում, խոքը ճգնաժամ են ապրում հատկապես ջերմամատակարարման կենտրոնացված խոշոր համակարգերը: Վերջինիս հիմնական պատճառը զարգացած ջերմային ցանցերն են, որոնք բացասաբար են ազդում համակարգի և՛ էներգետիկական արդյունավետության, և՛ շահագործման հուսալիության վրա:

Հասկանալի է, որ լեռնային ռելիեֆ ու ցամաքային կլիմա ունեցող, ինչպես նաև տեղական վառելիքների շոշափելի պաշարներից զուրկ մեր հանրապետության համար փոքր և «ցանցերից» զուրկ տեղակայանքների անհրաժեշտությունն անվիճելի է: Ցանկալի է, որ դրանք լինեն համակցված՝ ընդունակ արտադրելու էներգիայի՝ հնարավորին չափ բազմաբնույթ տեսակներ և, իհարկե, ունենան էներգետիկական մեծ շահավետություն: Խոսքն առաջին հերթին վերաբերում է էլեկտրաէներգետիկական և ջերմային տեղակայանքներին: Այդպիսի տեղակայանքների ավտոմատ կառավարումը և հեշտ շահագործումը վերջիններիս մրցունակ կդարձնի նաև փոքր ձեռնարկատիրության ոլորտում: Էլեկտրաջերմային համակցված պարզագույն տեղակայանքը հաճախ հենվում է ներքին այրման շարժիչի (ՆԱՇ) վրա (օրինակ, մեր էլեկտրամեքենաշինական գործարանում արտադրվող դիզելգեներատորները): Որպես ջերմության աղբյուր ծառայում են այրման շարժիչից դուրս նետվող աշխատած արգասիքները (նկ.1):

Այդ նպատակի համար կարող է օգտագործվել նաև շարժիչի հովացման համակարգը, ուստի «ջերմամատակարարման» համակարգը կարող է երկաստիճան, ուրեմն և՛ ավելի շահավետ դառնալ:



Նկ. 1. Ջերմաէլեկտրական համակցված տեղակայանքի սխեմա.
1 - ՆԱՇ, 2 - գազաջրային ջերմափոխանակիչ, 3 - ջերմության սպառողներ,
4 - սնող պոմպ

Համեմատաբար բարդ է համակցված սխեմայով աշխատող ջերմաէլեկտրական փոքր տեղակայանքների (ինչպես նաև այդ կարգի սխեմայով աշխատող ջերմաէլեկտրակենտրոնների) էներգետիկական արդյունավետության ճիշտ գնահատումը: Չէ որ դրանք համատեղ արտադրում են էներգիայի՝ իրարից որակով խիստ տարբեր՝ բարձր (էլեկտրականության) և ցածր (ջերմության) տեսակներ:

Մոռանալով այդ կարևոր հանգամանքը՝ շատ հաճախ էներգետիկական կրթություն չունեցող և այդ կայանքներով «գբաղվող» դիլետանտները, ձգտելով ամեն գնով որոշել այդ կարգի կայանքի «ընդհանուր» ՕԳԳ-ը, օգտվում են հետևյալ բանաձևից՝

$$\eta_h = (W_t + Q) / BQ_u^p, \quad (1)$$

որտեղ W_t -ն և Q -ն 1 ժամում արտադրվող էլեկտրաէներգիայի և ջերմության քանակներն են, Q_u^p (կամ Q_{in} -ով), B -ն և Q_u^p -ն վառելիքի ժամային ծախսն է, Q_u^p և այլման ստորին ջերմությունը, Q_u^p :

Որակապես խիստ տարբեր էներգիաների «գումարումը» համարիչում ջանում են «բացատրել» դրանց չափողականության «միատեսակությամբ»: Հասկանալի է, որ հատկապես այսպիսի դեպքերում էքսերգիայի անհրաժեշտությունը խիստ է զգացվում, այսինքն՝ անհրաժեշտ է դառնում Q ջերմաքանակն արտահայտել նրա տեխնիկական աշխատունակությամբ՝ էքսերգիայով:

Ջերմության էքսերգիան՝

$$E_{xq} = \omega_q Q, \quad (2)$$

որտեղ ω_q -ն աշխատունակության գործակից է. ընդունում ենք հավասար 1-
(T_u/T)-ի և, այսպիսով, գնահատում էլեկտրական էներգիայի այն քանակությունը, որը
կստացվի, եթե Q ջերմությունը ևս վերափոխվի տեխնիկական աշխատանքի, ընդ
որում՝ Կառնոյի ցիկլի օգնությամբ (ընդունելով միջավայրի ջերմաստիճանը՝ T_u ,
ջերմության հոսքի առավելագույն ջերմաստիճանը՝ T):

Հաճախ վառելիքի այրման ջերմության փոխարեն ևս օգտագործում են նրա
էքսերգիան՝ $Q_{u,ex}^F$, և ջերմաէլեկտրական փոքր կայանքի համար, որպես
էներգետիկական արդյունավետության համընդհանուր չափանիշ, ընդունում են
էքսերգետիկական ՕԳԳ-ը՝

$$\eta_{ex,h} = (W_t + E_{xq}) / BQ_{u,ex}^F = (W_1 + \omega_q Q) / BQ_{u,ex}^F : \quad (3)$$

Ավելի հաճախ ընդունված է այդպիսի տեղակայանքների համար որպես
արդյունավետության գումարային չափանիշ օգտագործել առաջնային էներգա-
ռեսուրսի՝ վառելիքի օգտակար գործողության գործակիցը՝ $K_{\text{ՕԳԳ}}(\text{ՎՕԳԳ})$.

$$\text{ՎՕԳԳ} = K_{\text{ՕԳԳ}} = (W_t + Q_2) / BQ_{u,F} = (N_t + Q_2) / BQ_{u,F}, \quad (4)$$

որտեղ W_t -ն և Q_2 -ն մեկ ժամում արտադրվող (կամ մատուցվող) էլեկտրական և
ջերմային էներգիաներն են, ԿԶ, իսկ $BQ_{u,F}$ -ը՝ վառելիքի այրման ջերմությունը՝ մեկ
ժամում, ԿԶ:

Այս դեպքում $K_{\text{ՕԳԳ}}$ -ն արտացոլում է ոչ թե էներգիայի վերափոխման հետ
կապված կորուստները (ինչպես դե-ն), այլ պարզապես օգտագործվող վառելիքի
ներքին պոտենցիալի ($Q_{u,F}$) օգտագործման աստիճանը:

Գծագրում պատկերված է փոքրիկ ջերմաէլեկտրակենտրոն (առաջնային
շարժիչը՝ ՆԱՇ), որտեղ իրականացվում է ջերմության և էլեկտրականության
արտադրության մոտավորապես նույն կարգի համակցված պրոցես:

Հայտնի է, որ այդպիսի ՋԵԿ-ի էներգետիկական արդյունավետությունը
սովորաբար որոշվում է ոչ թե ընդհանուր՝ ինտեգրալ ցուցանիշով, այլ առանձին, ըստ
էլեկտրական էներգիայի՝

$$\eta_y^t = 3600 N_t / Q_y^t, \quad (5)$$

և ըստ ջերմության արտադրության՝

$$\eta_y^g = Q_2 / Q_y^g : \quad (6)$$

Նախօրոք ՋԵԿ-ում ջերմության և վառելիքի ընդհանուր ծախսը՝ Q_y - ն,
բաժանվում է էլեկտրական՝ Q_y^t և ջերմային՝ Q_y^g սպառողների միջև՝

$$Q_y = Q_y^t + Q_y^g \quad (7)$$

այնպես, որ ջերմային սպառողներին վերաբերի նրանց համար իրականում ծախսվող
ջերմությունը, իսկ մնացածը՝ ($Q_y - Q_y^g$) -ը համարում են օգտագործված էլեկտրական
էներգիայի արտադրության համար:

Մյուս կորուստները (կաթսայում՝ η_k և ցանցերում՝ $\eta_{ցտ}$) հաշվի առնելու համար
վերջին (5) և (6) մեծությունները (մատուցվող էներգիաների համար գրված)
բազմապատկվում են նշված η_k և $\eta_{ցտ}$ -ների արժեքներով:

Այդ մեթոդն ընդունված էր նախկին ԽՍՀՄ-ում, որն, ինչպես հայտնի է,
աշխարհում առաջին տեղն էր գրավում ջերմաֆիկացիայի (ջերմավորման)
ասպարեզում:

ՀՀ-ը խիստ մեծ դժվարությունների է հանդիպում խորհրդային տարիներին ստեղծված ջերմամատակարարման կենտրոնացված համակարգերի շահագործման գործում: Սպառողների գերակշռող մասն ի վիճակի չէ օգտվել այդ համակարգերից՝ մատուցվող ջերմության բարձր սակագների պատճառով:

Այդ պայմաններում առանձին մասնագետներ գտնում են, որ մեզ համար ցանկալի կլինեին նշված մեթոդը ձևափոխել այնպես, որ ջերմաֆիկացիայի առավելություններն ինչ-որ չափով տարածվեին նաև ՋԷԿ-ից մատուցվող ջերմության վրա: Դա հնարավորություն կտար ՀՀ բոլոր ՋԷԿ-երից սպառողներին մատուցվող ջերմության սակագինը դարձնել համեմատաբար մատչելի և բնակչության, և արտադրության, հատկապես զարգացող փոքր և միջին ձեռնարկությունների, ջերմոցային տնտեսությունների համար: Միաժամանակ, հնարավոր կդառնար ավելի լիակատար և արդյունավետ օգտագործել բոլոր ՋԷԿ-երի ջերմաֆիկացիոն հզորությունները: Իհարկե, համապատասխան չափով կբարձրանային մատուցվող էլեկտրաէներգիայի սակագները: Այսպիսով, այս խնդիրը կարելի է լուծել միայն լուրջ տեխնիկատնտեսագիտական վերլուծության հիման վրա՝ հաշվի առնելով և բնակչի-մայական պայմանները, և արտադրության բնույթն ու զարգացման հեռանկարները:

Շատ ավելի դժվար է լուծել ջերմամատակարարման այն խոշոր համակարգերի խնդիրը, որտեղ միևնույն ջերմային կենտրոնից (կաթսայատնից) օգտվում են բազմաթիվ շենքերի բնակիչներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Кирилин В.А., Шейдлин А.Е.** Техническая термодинамика.- М., 1983.
2. **Արշակյան Դ.Թ.** Ջերմային էլեկտրական կայաններ- Եր., 1981.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 3.12.2001.

Л.Т. КУЛОЯН, А.Л. МХИТАРЯН

ОБ ОЦЕНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК

Рассматриваются вопросы актуальности и развития малых комбинированных энергоустановок. Обсуждаются методы оценки их энергетической эффективности, особенно в случаях, когда потребители одновременно снабжаются резко отличными по качеству видами энергии (например, теплота и электроэнергия).

L.T. GHULOYAN, A.L. MKHITARYAN ESTIMATION OF THE POWER EFFICIENCY OF SMALL COMBINED SETTINGS

The actuality of small combined power-settings is considered. The methods of the evaluation of their power efficiency is discussed, especially in those cases when the consumers are simultaneously supplied by totally different kinds of energy (e. g. heat and electrical energy).

Г. Д. АКОПДЖАНЫАН, В. С. САФАРЯН

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЧИСЕЛ К РАСЧЕТУ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Предлагается простой метод формирования характеристического уравнения электрической цепи любой сложности с применением структурных чисел.

Ключевые слова: ток, напряжение, переходный процесс, характеристическое уравнение.

Одним из основных этапов расчета переходных процессов в линейных электрических цепях как классическим, так и операторным методами является формирование характеристического многочлена системы дифференциальных уравнений, составленных на основании законов Кирхгофа.

Как известно, характеристическое уравнение можно представить как условие сингулярности матриц контурных сопротивлений или узловых проводимостей электрической цепи:

$$\begin{aligned}\det Z(s) &= 0, \\ \det Y(s) &= 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Решения приведенных уравнений (относительно оператора s) представляют собой нули входного сопротивления или, соответственно, полюсы входной проводимости пассивной цепи. При этом входные сопротивления и проводимости определяются относительно пар зажимов любой разомкнутой ветви пассивной цепи, что осложняется при наличии ветвей с нулевыми сопротивлениями. Указанный способ определения характеристического многочлена используется при аналитическом решении практических задач (2).

Однако приведение детерминантных функций матриц контурных сопротивлений и узловых проводимостей (1) к аналитической форме традиционными методами - задача трудоемкая, а для сложных цепей - практически непригодная.

В настоящей статье применением структурных чисел (1) предлагается простой метод формирования характеристического многочлена электрической цепи любой сложности.

Алгеброй структурных чисел разработаны формулы для нахождения аналитических выражений входных сопротивлений пассивных двухполюсников (1), а следовательно, и характеристического многочлена электрической цепи (в виде $Z_{вх} = 0$).

Аналитическое выражение входного сопротивления пассивного двухполюсника (рис.1) на языке алгебры структурных чисел выражается соотношением [1]

$$Z_{BX} = \frac{\det_z(A^{d'} D)}{\det_z A^{d'}}, \quad (2)$$

где $A^{d'}$ - дополнительное структурное число электрической цепи двухполюсника при разомкнутых входных зажимах; D - однострочное структурное число любого пути (через ветви схемы) между входными зажимами 1 и 1' двухполюсника; $Z = Z(s) = r + Ls + \frac{1}{Cs}$ - обобщенные сопротивления ветвей цепи двухполюсника.

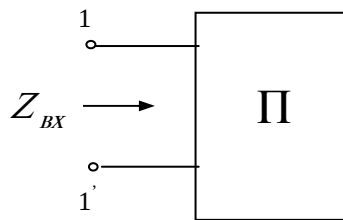


Рис.1

Отметим, что структурное число $A^{d'} D$ представляет собой дополнительное число A^d электрической цепи двухполюсника при замкнутых входных зажимах, следовательно, $\det_z(A^{d'} D) = \det_z A^d$ является детерминантом матрицы контурных сопротивлений цепи двухполюсника, т.е. $\det_z A^d = \det Z$, откуда

следует, что

$$\det_z A^d = 0 \quad (3)$$

представляет собой характеристическое уравнение электрической цепи.

Рассмотрев дуальную форму выражения (2), получим соотношение, определяющее входную проводимость двухполюсника:

$$Y_{BX} = \frac{\det_y(A_d B)}{\det_y A}, \quad (4)$$

где A - структурное число цепи двухполюсника при замкнутых входных зажимах; B - однострочное структурное число любого сечения входного контура электрической цепи двухполюсника; Y - обобщенные проводимости ветвей схемы.

Учитывая, что $\det_y A$ является детерминантом матрицы узловых проводимостей цепи двухполюсника, имеем $\det_y A = \det Y$. Следовательно,

$$\det_y A = 0 \quad (5)$$

представляет собой характеристическое уравнение электрической цепи.

Предложенный способ формирования характеристического многочлена электрической цепи применением алгебры структурных чисел сводится к определению детерминантных функций структурных или дополнительных

структурных чисел электрической цепи, что значительно упрощает расчет и исследование переходных процессов в электрических цепях.

Пример. Задана схема некоторой электрической цепи (из которой устранены все активные элементы, рис.2) и ее параметры: $Z_1 = r_1$, $Z_2 = r_2$, $Z_3 = r_3$, $Z_4 = sL$, $Z_5 = 1/sC$, $Z_6 = r_6$.

Требуется составить характеристическое уравнение, соответствующее заданной схеме (рис.2).

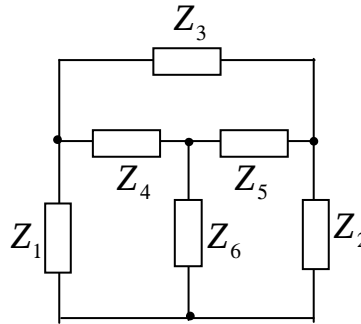


Рис.2

Решение:

$$A^d = [146] [256] [345] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 4 & 4 & 5 & 3 & 3 & 4 & 4 & 5 & 4 & 4 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 & 6 & 5 & 6 & 6 & 4 & 6 & 5 & 6 & 6 & 5 & 6 & 6 \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} \det_z A^d &= Z_1 Z_2 Z_3 + Z_1 Z_2 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_5 + Z_1 Z_3 Z_5 + Z_1 Z_3 Z_6 + \\ &+ Z_1 Z_4 Z_5 + Z_1 Z_4 Z_6 + Z_1 Z_5 Z_6 + Z_2 Z_3 Z_4 + Z_2 Z_3 Z_6 + Z_2 Z_4 Z_5 + \\ &+ Z_2 Z_4 Z_6 + Z_2 Z_5 Z_6 + Z_3 Z_4 Z_5 + Z_3 Z_4 Z_6 + Z_3 Z_5 Z_6 = \\ &= L_1 (r_1 r_2 + r_1 r_6 + r_2 r_3 + r_3 r_6 + r_2 r_6) s^2 + \\ &+ \left[r_3 (r_1 r_2 + r_1 r_6 + r_2 r_3 + r_3 r_6 + r_2 r_6) + \frac{L}{C} (r_1 + r_2 + r_3) \right] s + \\ &+ \frac{1}{C} (r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_1 r_6 + r_2 r_6 + r_3 r_6) = 0. \end{aligned}$$

Это и есть характеристическое уравнение заданной цепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беллерт С., Возняцки Г.** Анализ и синтез электрических цепей методом структурных чисел. -М.: Мир, 1972. - 327с.
2. **Нейман Л. Р., Демирчян К.С.** Теоретические основы электротехники.-М.: Энергия, 1966. - 327с.
3. **Поливанов К. М.** Теоретические основы электротехники. - М.: Энергия, 1965. - 357с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.2000.

Գ.Դ. ՀԱԿՈՔՅԱՆՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

**ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԱՅԻՆ ԹՎԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԳԾԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ՇՂԹԱՆԵՐՈՒՄ ԱՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԸ ՀԱՇՎԵԼԻՍ**

Օգտվելով կառուցվածքային թվերի հանրահաշվից, առաջարկվում է պարզ մեթոդ՝ ցանկացած բարդության էլեկտրական շղթաների բնութագրիչ հավասարումների կազմման համար:

G.D. HAKOPJANYAN, V.S. SAFARYAN

**STRUCTURAL NUMBER APPLICATION TO THE TRANSITIONAL PROCESS
CALCULATION IN LINEAR ELECTRICAL CIRCUITS**

A simple method of chracteristic equation formation of any electrical circuit using structural numbers is proposed.

Г.Л. АРЕШЯН, А.Л. МАИЛЯН, В.А. МАИЛЯН

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЕМКОСТНОМ СИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ ПРИ НАБРОСЕ НАГРУЗКИ НА ГЕНЕРАТОР, РАБОТАЮЩИЙ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

Приведены решения системы дифференциальных уравнений переходного процесса в электрических цепях емкостного синхронного генератора при набросе активно-емкостной нагрузки.

Ключевые слова: емкостной синхронный генератор, электрическая цепь, переходной процесс.

Система дифференциальных уравнений емкостного синхронного генератора (ЕГГ) имеет вид [1, с.142]

$$-C_0 \frac{dU_0(t)}{dt} = g_s U_0(t) + i(t), \quad (1)$$

$$-C_s \frac{dU_d(t)}{dt} + N \frac{dU_r(t)}{dt} = g_s U_d(t) + \omega C_s U_q(t) + i_d(t), \quad (2)$$

$$-C_s \frac{dU_q(t)}{dt} = -\omega C_s U_d(t) + g_s U_q(t) + \omega N U_r(t) + i_q(t), \quad (3)$$

$$N \frac{dU_d(t)}{dt} - C_r \frac{dU_r(t)}{dt} = g_r U_r(t) + i_r(t). \quad (4)$$

Уравнения для нагрузки, подключаемой к СГ в момент $t=0^+$, имеют вид

$$\begin{cases} -C_2 \frac{dU_d(t)}{dt} = g_2 U_d(t) + \omega C_2 U_q(t) - i_{d2}(t), \\ -C_2 \frac{dU_q(t)}{dt} = g_2 U_q(t) - \omega C_2 U_d(t) - i_{q2}(t). \end{cases} \quad (5)$$

Система уравнений (2)-(4) при постоянной скорости вращения ($\omega = \omega_0 = \text{const}$) в операторном виде для приращений будет:

- для цепей СГ:

$$\begin{cases} (g_s + pC_s)U_d(p) + \omega_0 C_s U_q(p) - pNU_r(p) + I_d(p) + p^{-1}A_d^0 = 0, \\ (g_s + pC_s)U_q(p) - \omega_0 C_s U_d(p) + \omega_0 NU_r(p) + I_q(p) + p^{-1}A_q^0 = 0, \\ -pNU_d(p) + (g_r + pC_r)U_r(p) - I_r(p) + p^{-1}A_r^0 = 0; \end{cases} \quad (6)$$

- для цепей нагрузки:

$$\begin{cases} (g_2 + pC_2)U_d(p) + \omega_0 C_2 U_q(p) - I_{d2}(p) + p^{-1}A_{d2}^0 = 0, \\ (g_2 + pC_2)U_q(p) - \omega_0 C_2 U_d(p) - I_{q2}(p) + p^{-1}A_{q2}^0 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Дифференциальные уравнения после наброса нагрузки $y_2 = pC_2 + g_2$ на СГ, работающий в установившемся режиме холостого хода, имеют вид

$$\begin{cases} (g_s + pC_s)U_d + \omega_0 C_s U_q - pNU_r + I_d = 0, \\ (g_s + pC_s)U_q - \omega_0 C_s U_d + \omega_0 NU_r + I_q = 0, \\ (g_r + pC_r)U_r - pNU_d - I_r = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} (g_2 + pC_2)U_d + \omega_0 C_2 U_q - I_d + p^{-1}A_{d2}^0 = 0, \\ (g_2 + pC_2)U_q - \omega_0 C_2 U_d - I_q + p^{-1}A_{q2}^0 = 0, \end{cases} \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} A_d^0 &= A_q^0 = A_r^0 = 0, \\ A_{d2}^0 &= g_2 U_d^0 + \omega_0 C_2 U_q^0, \\ A_{q2}^0 &= g_2 U_q^0 - \omega_0 C_2 U_d^0. \end{aligned}$$

Исключая токи I_d и I_q из системы уравнений (9) и (8), получаем

$$\begin{cases} (g_{s2} + pC_{s2})U_d + \omega_0 C_{s2} U_q - pNU_r + p^{-1}A_{d2}^0 = 0, \\ (g_{s2} + pC_{s2})U_q - \omega_0 C_{s2} U_d + \omega_0 NU_r + p^{-1}A_{q2}^0 = 0, \end{cases} \quad (10)$$

где

$$g_{s2} = g_s + g_2, \quad C_{s2} = C_s + C_2.$$

Уравнение для цепи возбуждения остается в том же виде:

$$(g_r + pC_r)U_r - pNU_d - I_r = 0. \quad (11)$$

Если отсутствует форсировка тока возбуждения, то $I_r(p) = 0$.

Из (11) получаем

$$U_r = U_d \frac{pN}{g_r + pC_r} + I_r \frac{1}{g_r + pC_r}, \quad (12)$$

$$\begin{cases} U_d = \frac{1}{D(p)} \begin{vmatrix} A_d & \omega_0 C_{s2} \\ A_q & y_{s2} \end{vmatrix} = \frac{y_{s2} A_d - \omega_0 C_{s2} A_q}{D(p)}, \\ U_q = \frac{1}{D(p)} \begin{vmatrix} y'_{s2} & A_d \\ -\omega_0 C'_{s2} & A_q \end{vmatrix} = \frac{y'_{s2} A_q + \omega_0 C'_{s2} A_d}{D(p)}, \end{cases} \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned}
D(p) &= y_{s2} y_{s2}' + \omega_0^2 C_{s2}' C_{s2}, \\
y_{s2}(p) &= p C_{s2} + g_{s2}, \quad y_r = p C_r + g_r, \\
y_{s2}' &= y_{s2} - (pN)^2 y_r^{-1}, \quad C_{s2}' = C_{s2} - (pN)^2 y_r^{-1}, \\
A_d &= p N y_r^{-1} I_r - p^{-1} A_{d2}^0, \quad A_q = -\omega_0 N y_r^{-1} I_r - p^{-1} A_{q2}^0.
\end{aligned}$$

Далее из (8) получаем значения I_d и I_q , а из (12) значение U_r .

Полученные уравнения разлагаются в ряд по убывающим степеням p :

$$F(p) = k_0 \frac{p^m + b_1 p^{m-1} + b_2 p^{m-2} + \dots + b_m}{p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_m}, \quad k = n - m,$$

в результате получаем уравнение для оригинала вида [1, с.76]

$$f(t) = k_0 \left[\frac{t^{k-1}}{(k-1)!} + t^k \frac{R_1}{k!} + t^{k+1} \frac{R_2}{(k+1)!} + \dots + t^{k+i-1} \frac{R_i}{(k+i-1)!} + o(t^{k+i}) \right].$$

На основе вышеизложенного получены уравнения для U_d , U_q , U_r , I_d , I_q . Разработана программа расчета этих переменных. В основу исходных данных взяты параметры экспериментального образца ЕСТ, разработанного и изготовленного в ЕрПИ [2]. Получены зависимости от времени некоторых переменных:

$$U(t) = \sqrt{U_d^2 + U_q^2}, \quad i(t) = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}, \quad U_r(t) \quad (\text{рис. 1-3}).$$

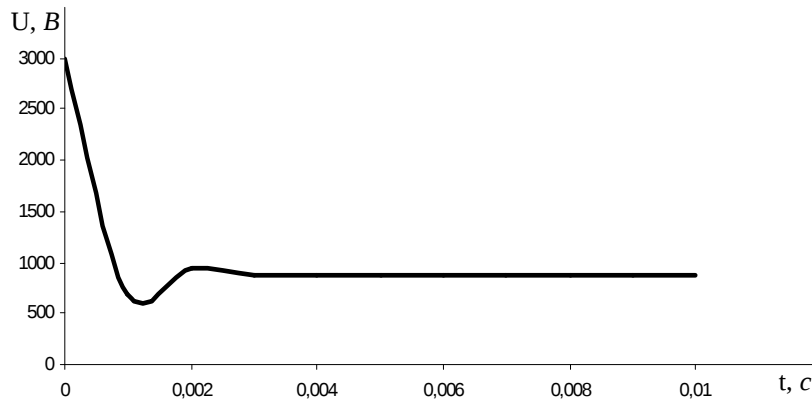


Рис.1. Напряжение статора

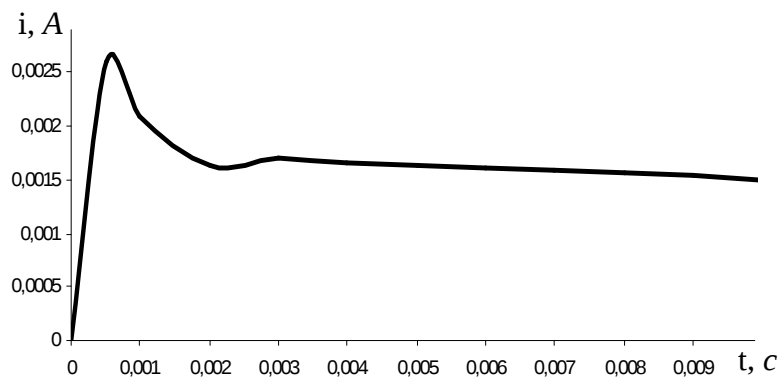


Рис.2. Ток статора

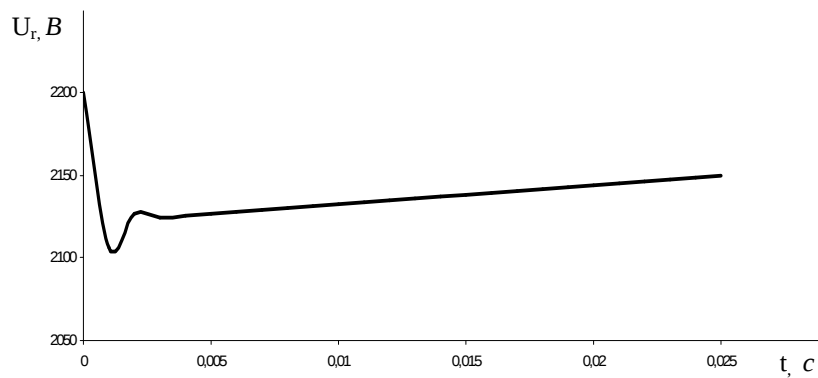


Рис.3. Напряжение возбуждения

Таким образом, решения для напряжений и токов в переходном процессе ЕСГ при набросе нагрузки показывают, что в случае отсутствия регулировки по цепям возбуждения имеет место провал напряжения возбуждения, что обусловлено разряджающим эффектом (аналогично размагничивающему эффекту) активно-емкостного тока нагрузки. В результате происходят провалы (в начальной стадии переходного процесса) тока и напряжения генератора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арешян Г.Л.** Специальные вопросы теории электрических машин переменного тока / ГИУА.-Ереван, 1999. - 299 с.
2. **Минасян В.В.** Установившиеся режимы автономного синхронного электростатического генератора: Дис. ... канд. техн. наук / ГИУА. - Ереван, 1988. - 228 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.10.2000.

Գ.Լ. ԱՐԵՇՅԱՆ, Ա.Լ. ՄԱՅԻԼՅԱՆ, Վ.Ա. ՄԱՅԻԼՅԱՆ

ՊԱՐԱՊ ԸՆԹԱՅՔԻ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ՈՒՆԱԿԱՅԻՆ ՄԻՆԽՐՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ԱՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԸ ԲԵՌՆԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի լուծման հիման վրա հաշվարկված է ունակային սինխրոն գեներատորի անցումային պրոցեսը էլեկտրական շղթաներում՝ ակտիվ-ունակային բեռի ժամանակ:

G.L. ARESHYAN, A.L. MAILYAN, V.A. MAILYAN

TRANSITIONAL PROCESSES IN CAPACITIVE SYNCHRONOUS GENERATOR BY ADDING LOAD ON GENERATOR WORKING ON NO-LOAD MODE

Based on the solution of differential equation, the transitional process in electric circuits of the capacitive synchronous generator under active-capacitive load was calculated.

Г.В. БЕРБЕРЯН

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ КОНТРОЛЯ АСИММЕТРИИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА МОЩНЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Системы контроля воздушного зазора, используемые в настоящее время, обладают рядом недостатков и поэтому не удовлетворяют полностью предъявляемым к ним требованиям. В связи с этим предпринята попытка разработки нового метода, основанного на процессе распространения и отражения инфракрасного излучения, позволяющего, на наш взгляд, решить существующую проблему во всех ее аспектах.

Ключевые слова: контроль, подвижная и неподвижная асимметрии воздушного зазора, ИК-излучение, линза, фильтр, модулятор.

Асимметрия магнитного поля в воздушном зазоре мощных гидрогенераторов, как известно, возникает вследствие асимметрии воздушного зазора и короткозамкнутых витков в обмотках возбуждения полюсов. Первое обусловлено неправильными формами расточки статора или огибающей полюсов ротора, либо совместным их действием. Для выяснения возможных последствий асимметрии воздушного зазора, например, магнитной асимметрии, принято рассматривать гармонический состав, определяемый пространственным разложением в гармонический ряд измеренных тем или иным способом существующих форм расточки статора и огибающей полюсов ротора. В этом случае первая гармоника разложения характеризует эксцентриситет статора (расцентровка), а для ротора – несовпадение его геометрического центра с центром его вращения, в то время как вторая гармоника характеризует эллиптичность статора или ротора и т.д. [1].

Для удобства анализа любых методов контроля указанной асимметрии целесообразно исходить из принципа наложения, смысл которого заключается в рассмотрении влияния на возникающую асимметрию со стороны статора и ротора в отдельности. В первом случае за идеальный цилиндр и без короткозамкнутых витков в обмотках полюсов принимают ротор, а во втором случае – напротив, статор, в котором отсутствуют пазы и зубцы. Допущение такой модели позволяет считать, что асимметрия статора является причиной возникновения в спектре кривой магнитного поля пространственных низкочастотных гармоник, не зависящих от углового положения ротора.

В связи с этим асимметрию магнитного поля, вызванную влиянием неправильной формы статора, условно называют “неподвижной”. И наоборот, асимметрию, обусловленную влиянием неправильной формы ротора и наличием короткозамкнутых витков, по существу, вращающуюся вместе с ротором, называют “вращающейся”.

Актуальность проблемы разработки новых или совершенствования существующих методов рассматриваемого контроля объясняется необходимостью своевременного предсказания появления и обнаружения целого ряда нежелательных

последствий, в конечном итоге приводящих к отказу гидрогенератора в случае несвоевременного их устранения. Даже неполный перечень всех последствий, таких как касание листами активной стали полюсов ротора и пробой изоляции обмотки статора, вибрация и разрушение опорных конструкций и фундамента, повышенный местный и общий нагрев и натирания сегментов направляющих подшипников, может служить убедительным аргументом, подчеркивающим важность рассматриваемой проблемы, и позволяет сделать вывод о принципиально широких возможностях использования ряда физических процессов для обнаружения возникшей асимметрии. Однако в настоящее время существует только три практически реализуемых способа – электромагнитный, механический и оптический с широтно-импульсной модуляцией, которым свойственны существенные недостатки.

Главный недостаток электромагнитного способа, в основе которого лежит явление наведения в установленном на статоре измерительном витке или датчике индукции ЭДС, возбужденной за счет магнитной асимметрии, заключается в том, что из двух асимметрий магнитного поля – подвижной и неподвижной, удается обнаружить только первую из них.

Недостатки механического способа заключаются в том, что для обнаружения магнитной асимметрии производят измерение воздушного зазора на остановленном гидрогенераторе, что само по себе нежелательно. Кроме того, не учитываются изменения зазоров при вращающемся и остановленном роторе из-за деформации конструктивных элементов ротора в радиальном направлении, возникающей только при вращении, а также смещения в этом же направлении отдельных пластин пакетов стали статора. Все это приводит в ряде случаев к погрешности механических измерений, достигающей порядка 0,5 мм, что может быть соизмеримо с отклонениями воздушного зазора под полюсами.

Основным недостатком оптического способа является то, что в этой системе используется модулятор сложной конфигурации, осаждение на котором различных аэрозолей органического и неорганического происхождения приводит к искажению геометрии указанной конфигурации, вследствие чего могут возрасти погрешности измерения.

Реализуемый на базе предлагаемого метода способ обнаружения магнитной асимметрии, основанный на использовании инфракрасного (ИК) излучения и уравнения дальности радиометрии, выгодно отличается от вышеуказанных способов тем, что в нем отсутствуют все перечисленные недостатки, характерные каждому из них.

Для выяснения сущности метода, очевидно, необходимо прежде всего представить принцип измерения воздушного зазора.

Схема измерения воздушного зазора при неподвижной магнитной асимметрии представлена на рис.

В соответствии с приведенной схемой для измерения воздушного зазора при неподвижной асимметрии на ободе ротора в точке А между полюсами I и II устанавливается ИК-излучатель постоянной силы (диодный лазер) с узким лучом с диаметром не более 0,1...0,2 мм и с расходом не более нескольких секунд так, чтобы луч на всем пути распространения можно было бы считать по своей форме неизменным.

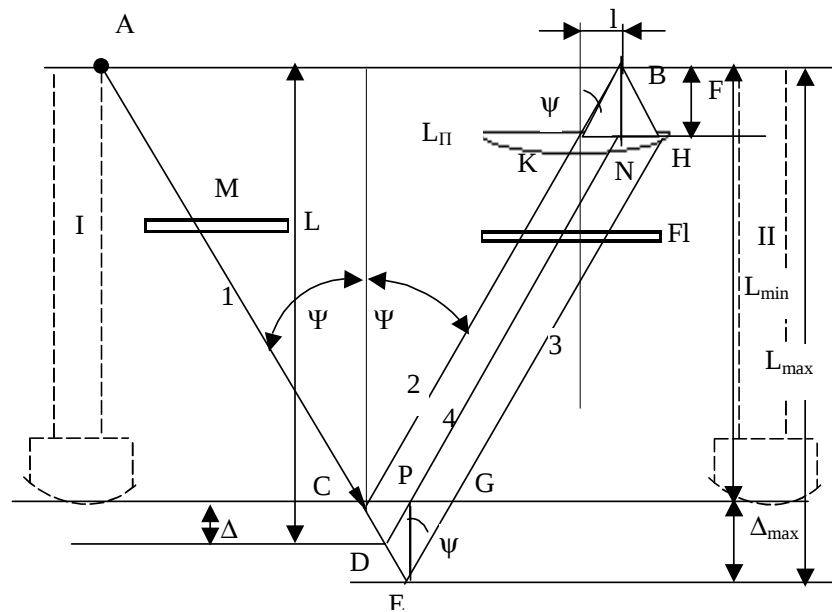


Рис.1

Кроме того, между теми же полюсами на определенном удалении от излучателя устанавливается пироприемник ИК-излучения ППИК, воспринимающий это излучение, проходящее через модулятор М и инфракрасный широкополосный фильтр F в полосе волн длиной $\lambda = 8...12 \text{ мкм}$ или больше, соответствующей интервалу температур $300...340 \text{ К}$ или ниже. Перед ППИК установлена линза L_p (выпукло-плоская) ИК-излучения таким образом, чтобы луч 1, отражаясь от статора в точках С и Е, соответствующих уровням минимального и максимального удаления ротора от статора, попадал на линзу L_p через ИК-фильтр FL вдоль параллельных лучей 2 и 3, собираемых в точке В ее фокальной плоскости. Для измерения используется короткофокусная линза, например, с фокусным расстоянием $F=0,1 \text{ м}$ так, что при малых углах $\psi \leq 10^\circ \approx 0,17 \text{ рад}$ значение $CG = 2CP = 2PG = 2(L_{\max} - L_{\min}) \tan \psi$, где $\Delta_{\max} \leq 10^{-3} \text{ м}$. Линза диаметром $D_0 \leq 0,5 \Delta_{\max}$ устанавливается так, чтобы ее ось оказалась параллельной поверхности статора, что допустимо при диаметре статора, во много раз превосходящем $D_0 \leq 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, и, кроме того, отраженный луч 2 совпадал с оптической осью СВ или проходил параллельно ей со смещением не более десятых долей миллиметра. В этом случае лучи 2 и 3, пройдя через линзу, сфокусируются в точке В так, что $l = F \cdot \tan \psi \approx F \cdot \psi = 10^{-2} \cdot 0,17 \text{ м} = 1,7 \text{ мм}$ при $CP = PG = \Delta_{\max} \cdot \tan \psi \approx \Delta_{\max} \cdot \psi = 10^{-2} \cdot 0,17 \text{ м} = 1,7 \text{ мм}$, а т.к. $KN = CP$ и $NH = PG$, то $NB \approx KB = NB = F / \tan \psi = 10^{-2} / 0,93 \approx 1,07 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. На некотором промежуточном уровне L удаления обода ротора от статора, соответствующем зазору $\Delta = \Delta_{\max} / 2$, луч 1 отразится в точке D вдоль луча, параллельного лучам 2 и 3. Таким образом, при отражении крайних 2 и 3, а также промежуточного 4 лучей в точках С, Е и D соответственно расстояния от этих точек отражения до точки В вдоль путей распространения указанных лучей определяются следующим образом: $CK + KB$, $EG + GH + NB$ и $DP + PN + NB$. Принимая во

внимание, что $CK=PN=GH$, $KB=BH \approx NB$, $DP=DR/\cos\psi=\Delta/\cos\psi$ и $EG = PE/\cos\psi=\Delta_{\max}/\cos\psi$, можно записать: $S_1=CK+KB=\text{const}$, $S_2=S_1+\Delta_{\max}/\cos\psi$ и $S_3=S_1+\Delta/\cos\psi$. При этом для произвольного зазора Δ , такого, что $0 \leq \Delta \leq \Delta_{\max}$, получим

$$S = a + b\Delta, \quad (1)$$

где $a=S_1=\text{const}$ и $b=1/\cos\psi=\text{const}$.

Это означает, что указанные расстояния в зависимости от зазора (изменяются линейно. Лучи, отраженные от различных точек поверхности статора, можно рассматривать как исходящие от вторичных точечных источников, помещенных в этих точках. При $J=\text{const}$ и $\rho=\text{const}$, где ρ – коэффициент отражения поверхности статора, для этих точек можно записать [2]:

$$J'=J=\frac{2R^2(\beta\Delta f)^{1/2}}{\pi D_0(NA)D \cdot \alpha_a \cdot \alpha_0} \left(\frac{V_s}{V_n} \right) \left(\frac{V_s}{V_p} \right), \quad (2)$$

где R – расстояние от точки отражения до точки B , m ; 2β – угол зрения линзы, *рад*; D_0 – диаметр линзы, m ; NA – числовая апертура линзы, безразмерное число; α_a – коэффициент пропускания ИК-излучения воздушного пространства между статором и ротором, безразмерный коэффициент; α_0 – коэффициент пропускания ИК-излучения оптики, фильтра, модулятора и защитного стекла окна ППИК, безразмерный коэффициент; V_s – максимальная амплитуда сигнала на выходе ППИК, B ; V_p – амплитуда импульса напряжения на выходе ППИК, B ; V_n – среднеквадратичное напряжение шумов (джонсоновых) на выходе ППИК, B ; Δf – полоса пропускания схемы обработки сигнала на выходе ППИК, $Гц$, определяемая как $\Delta f=1/4\tau$, причем τ – постоянная времени схемы обработки выходного сигнала ППИК, c ; V_s/V_n – отношение сигнал-шум, безразмерная величина; D – обнаружительная способность детектора ППИК, $m \cdot Гц^{1/2} \cdot B \cdot \tau^{-1}$.

Отношение V_p/V_s в (2) характеризует степень уменьшения сигнала на выходе детектора, обусловленного отличием формы выходного импульса детектора от синусоидальной. Это связано с тем, что в отношении V_s/V_n числитель и знаменатель должны быть выражены в виде среднеквадратичных значений, причем за среднеквадратичное значение выходного сигнала детектора берется значение амплитуды выходного импульса V_p , т.е. $V_p=V_s$, а это допустимо только для вышеуказанной формы и бесконечно широкой полосы пропускания. При прямоугольной импульсной модуляции ИК-излучения выходные импульсы детектора содержат весьма широкий спектр частот при ограниченной полосе пропускания схемы обработки указанных сигналов. Поэтому в этом случае за среднеквадратичное значение берется амплитуда основной гармоники спектра, которая меньше амплитуды импульса в $2^{1/2}/\pi$ раза, т.е. $V_p/V_s = 2^{1/2}/\pi = 0,45$. Следует отметить, что рассмотрение импульсной модуляции вообще и прямоугольной, в частности, вызвано необходимостью использования динамического режима работы ППИК, наиболее просто реализуемого при рассматриваемой форме модуляции.

С учетом сказанного на основе (1) уравнение (2) можно записать в несколько ином виде:

$$R^2 = \frac{0,45J'\pi D_0(NA)D\alpha_a\alpha_0}{2(\beta\Delta f)^{1/2} V_s/V_n}, \quad (3)$$

или

$$(a + b\Delta)^2 = \frac{0,45J'\pi D_0(NA)D_1\alpha_a\alpha_0}{2(\beta\Delta f)^{1/2} V_s/V_n}. \quad (4)$$

Извлекая корень из обеих частей (4), получим

$$a + b\Delta = \left[\frac{0,45J'\pi D_0(NA)D_1\alpha_a\alpha_0}{2(\beta\Delta f)^{1/2} V_s/V_n} \right]^{1/2}, \quad (5)$$

откуда следует, что линейный размер $a+b\Delta$ обратно пропорционален корню квадратному из максимальной амплитуды импульса выходного напряжения ППИК, для получения которого на выходе ППИК, очевидно, следует включить корнеизвлекающее устройство. Поэтому, обозначив выходное напряжение указанного устройства через V_s' , можно записать

$$a + b\Delta = K/V_s' = (k/k_{sq})/V_s', \quad (6)$$

где K – постоянный коэффициент, определяемый отношением k/k_{sq} ; k – выражение, стоящее в квадратных скобках в (5) без V_s , а k_{sq} – коэффициент преобразования V_s в выходное напряжение V_s' корнеизвлекавателя, т. е. $V_s' = k_{sq}(V_s)^{1/2}$.

Легко заметить, что коэффициенты обратного (6) и прямого преобразования $V_s' = K/(a+b\Delta)$ одинаковы, вследствие чего значительно упрощается анализ влияния составляющих этих коэффициентов на погрешности измерения. Кроме того, из (6) также следует, что напряжение V_s' содержит информацию о постоянном линейном размере a и собственно воздушном зазоре Δ , распределенном случайным образом вдоль расточки статора. Поскольку $\Delta > 0$ и изменяется в пределах от $\Delta_{\min}$ до $\Delta_{\max}$, т.е. $\Delta_{\min} \leq \Delta \leq \Delta_{\max}$, то крайние значения этого предела определяют соответственно $V_s'^{\max}$ и $V_s'^{\min}$, промежуточные значения которых будут соответствовать колебаниям промежуточных значений Δ . Если длину расточки принять за линейную координату, пропорциональную времени при постоянной скорости вращения ротора, то очевидно, что случайное распределение зазора вдоль пространственной координаты (длины расточки) можно заменить его случайным распределением во времени, имеющим циклический характер с периодом, равным периоду вращения ротора.

Что касается влияния температур нагрева различных точек внутренней поверхности статора, эквивалентных действию источников изменяющейся во времени силы света J^- , на результаты измерения воздушного зазора с помощью модулируемой и неизменной по значению J , то оно полностью будет исключено благодаря фильтрации излучения с J^- , поскольку излучение J реализуется в области с $\lambda_J > \lambda_{J^-}$. Таким образом, установив две такие системы (одну на роторе, а другую на статоре), можно относительно просто осуществить измерение как неподвижной, так и

подвижной асимметрий воздушного зазора с обеспечением всех необходимых требований, предъявляемых к указанным системам контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обнаружение дефектов гидрогенераторов / Под ред. Л.Г. Мамиконянца и Ю.М. Элькинда. – М. : Энергоиздат, 1985. - 224 с.
2. Хадсон Р. Инфракрасные системы. – М. : Мир, 1972. - 534 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 26. 10.1999.

Գ. Վ. ԲԵՐԲԵՐՅԱՆ

ՀԶՈՐ ՀԻՊԵՐԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՕԴԱՅԻՆ ԲԱՅԱԿԻ ՈՉ ՀԱՄԱՉԱՓՈՒԹՅԱՆ ՀՄԿՄԱՆ ՄԻ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Հզոր հիպերգեներատորների օդային բացակի բաշխման աղավաղումները կարող են առաջացնել նրա մագնիսական դաշտի զգալի անհամաչափություն, ինչը բազմաթիվ անցանկալի հետևանքների պատճառ է դառնում: Այդ նպատակով անհրաժեշտ է լինում հսկել նշված աղավաղումները՝ հնարավոր բացասական հետևանքները զարգացման վաղ փուլում կանխելու համար: Կատարված վերլուծությունն առնչվում է շոշափված խնդրի լուծման ժամանակակից մեթոդներից մեկի իրագործմանը, որը, ըստ նախնական գնահատականների, աչքի է ընկնում ներկայացվող պահանջների բավարարման կատարելությամբ:

G.V. BERBERYAN

ON AN ASYMMETRY CONTROL METHOD OF HIGH-POWER HYDROGENERATOR AIR-GAP

Air-gap control systems being used at present have a number of disadvantages and therefore do not completely meet the requirements. An attempt has been made to create a new method based on propagation and reflection process of IR radiation permitting to solve the present problem in all its aspects.

Г.Г. КИРАКОСЯН, Г. А. МАКАРЯН, А.В. ПЕТРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ P-N - ПЕРЕХОДА С ГЛУБОКИМИ УРОВНЯМИ

Проведено исследование рекомбинационного тока через p-n-переход, обусловленного безызлучательным захватом носителей тока на глубокий уровень в области пространственного заряда (ОПЗ). Найдена полуэмпирическая формула, позволяющая определить параметры глубоких уровней в ОПЗ.

Ключевые слова: глубокий уровень, рекомбинация, область пространственного заряда, p-n - переход, вольт-амперная характеристика.

Известно, что основным критерием рекомбинации в области пространственного заряда (ОПЗ) является характерная зависимость тока от напряжения $\exp(qV/2kT)$. При этом не учитывался тот факт, что с ростом уровня инжекции стационарное заполнение глубоких уровней изменяется, так как изменяется положение квазиуровня Ферми. Если на начальном участке вольт-амперная характеристика (ВАХ) определяется скоростями эмиссии свободных носителей, то при более высоком уровне инжекции - их скоростями захвата. Таким образом, происходит перезарядка центров рекомбинации и изменяется ее темп.

Цель настоящей работы - найти границы применимости теории рекомбинации в ОПЗ p-n- перехода [1] и методики определения параметров центров по ВАХ на этом участке изменения токов.

Темп рекомбинации через простой центр определяется в виде [2]

$$R(x) = \frac{c_n c_p N_t [n(x)p(x) - n_i^2]}{c_n [n(x) + n_1] + c_p [p(x) + p_1]}, \quad (1)$$

где c_n, c_p - усредненные по всем состояниям коэффициенты захвата электрона и дырки на данный центр; N_t - концентрация глубоких центров (ГЦ); E_t - положение глубокого уровня в запрещенной зоне; $n_1(p_1)$ численно равно концентрации электронов (дырок), когда квазиуровень Ферми $F_n(F_p)$ совпадает с уровнем ловушки E_t .

Обычно рассматривают рекомбинацию в квазинейтральных областях. Но, как показывает эксперимент, в кремнии и других более широкозонных полупроводниках на начальном участке токи рекомбинации в ОПЗ равны или больше инжекционных токов. Поэтому рассмотрение процессов рекомбинации в ОПЗ p-n-перехода при низком уровне инжекции необходимо в том числе и для понимания процессов в маломощных и быстродействующих транзисторах, работающих в качестве малосигнальных усилителей.

Если изгиб зон в ОПЗ р-п- перехода описать потенциалом $\Phi(x)$, началом отсчета которого является дно зоны проводимости в п-области, то распределение концентрации электронов $n(x)$ и дырок $p(x)$ в ОПЗ имеет вид [1]

$$\begin{aligned} n(x) &= n_n \exp\left(-\frac{\Phi(x)}{kT}\right), \\ p(x) &= p_p \exp\left[-\frac{q(\phi_0 - V) - \Phi(x)}{kT}\right]. \end{aligned} \quad (2)$$

После подстановки (2) в (1), имеем

$$R(x) = \frac{c_n c_p N_i n_i^2 (\exp \frac{qV}{kT} - 1)}{C_n [n_n \exp(-\phi_1) + n_i] + c_p [p_p \exp(-\phi_2) + p_i]}, \quad (3)$$

где $\phi_1 = \Phi(x)/kT$; $\phi_2 = [q(\phi_0 - V) - \Phi(x)]/kT$; ϕ_0 – контактная разность потенциалов.

Интегрируя скорость рекомбинации $R(x)$ по объему ОПЗ, найдем значение рекомбинационного тока

$$i_r = qS \int_{-d_p}^{d_n} R(x) dx, \quad (4)$$

где S – площадь р-п- перехода.

Но так как зависимость $R(x) = R(\Phi(x))$ определяется конкретной формой р-п- перехода, интеграл (4) в общем случае не решается простой подстановкой (3) в (4), а определяется значением подынтегральной функции в окрестности ее максимума, которое достигается при значении потенциала

$$\Phi_{\max} = \frac{q(\phi_0 - V)}{2} + \frac{kT}{2} \ln \left(\frac{c_n n_n}{c_p p_p} \right). \quad (5)$$

Скорость рекомбинации в этой точке равна

$$R_{\max} = \frac{c_n c_p n_i^2 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]}{2n_i \sqrt{c_n c_p} \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) + c_n n_i + c_p p_i}. \quad (6)$$

Приближенное значение интеграла (4) выражается через значение подынтегральной функции в точке ее максимума и некоторый дополнительный множитель, соответствующий длине того отрезка интегрирования, на котором значение подынтегральной функции достаточно близко к максимальному:

$$\int_{-d_p}^{d_n} R(x) dx \approx 2R_{\max} \Delta x = \frac{2kT}{qE} R_{\max},$$

где E – средняя напряженность поля в р-п- переходе, $E = \frac{q(\phi_0 - V)}{d(V)}$.

Тогда для величины тока получаем

$$i_r(V) = qSd(V) \frac{c_n c_p n_i^2 N_i (e^{qV/kT} - 1)}{2n_i \sqrt{c_n c_p} \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) + c_n n_i + c_p p_i} \frac{2kT}{q(\phi_0 - V)}. \quad (7)$$

В случае нескольких глубоких центров результирующий ток представляет собой сумму токов рекомбинации через каждый глубокий центр:

$$i_r = \sum_{m=1}^p \frac{qSd(V)c_{nm}c_{pm}n_i^2(e^{qV/kT}-1)N_{tm}}{2n_i\sqrt{c_{nm}c_{pm}}e^{qV/2kT} + c_{nm}n_{1m} + c_{pm}p_{1m}} \frac{2kT}{q(\phi_0 - V)}, \quad (8)$$

где $d = d_n + d_p$ - ширина ОПЗ; p - число ГЦ.

При получении формулы (8) предполагается, что точка максимума $x_{\max}$ темпа рекомбинации находится в интервале $[-d_p, d_n]$. Граничное напряжение V_{rp} определяется из условия, что точка максимума $x_{\max}$ располагается на границе ОПЗ.

Таким образом, граничное напряжение V_{rp} для разных p - n - переходов имеет вид

$$\begin{aligned} qV_{rp} &= E_g - kT \ln(c_p N_c N_v / c_n n_n^2) & - \text{в случае } p^+ - n - \text{перехода,} \\ qV_{rp} &= E_g - kT \ln(c_p N_c N_v / c_n p_p^2) & - \text{в случае } p - n^+ - \text{перехода,} \\ V_{rp} &= \phi_0 - (kT/q) \ln(c_n / c_p) & - \text{в случае симметричного перехода.} \end{aligned}$$

Проведем анализ рекомбинационных токов при малом уровне инжекции. При этом рассмотрим рекомбинационную методику, позволяющую из ВАХ, при известной ширине ОПЗ, получать параметры глубоких уровней [3]. Упростим выражение (7). Допустим, что глубокий уровень лежит выше середины запрещенной зоны, т.е. $c_n n_1 \gg c_p p_1$. В зависимости от приложенного напряжения меняются условия заполнения центра. Рассмотрим два предельных случая.

В первом случае предположим, что

$$2n_i \sqrt{c_n c_p} \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) \ll c_n n_1. \quad (9)$$

Из выражения (7) получаем

$$i_r(V) \approx qSd(V)N_t c_p \frac{n_i^2}{n_1} \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \cdot \frac{2kT}{q(\phi_0 - V)} \approx \exp\left(\frac{qV}{kT}\right). \quad (10)$$

Во втором случае предположим, что

$$2n_i \sqrt{c_n c_p} \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) \gg c_n n_1. \quad (11)$$

Тогда выражение (7) примет вид

$$i_r(V) \approx qSd(V)N_t n_i \sqrt{c_n c_p} \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) \frac{2kT}{q(\phi_0 - V)} \approx \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right). \quad (12)$$

Изменение вида ВАХ связано с процессом перезарядки глубокого уровня. Формулы (10) и (12) позволяют вычислить параметры глубокого уровня. Однако для проведения анализа ВАХ удобнее ввести другую физическую величину - приведенный темп рекомбинации R_{rp} , которая определяется как

$$R_{rp}(V) = \frac{i_r(V)}{qSd(V)n_i \left[\exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) - 1 \right]} \frac{q(\phi_0 - V)}{2kT}, \quad (13)$$

где i_r - ток, протекающий через p - n -переход.

С учетом (7) и (13) $R_{rp}(V)$ можно выразить через параметры глубоких центров:

$$R_{np}(V) = \frac{c_n c_p n_i N_t \left[\exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) + 1 \right]}{2n_i \sqrt{c_n c_p} \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) + n_i c_n + p_i c_p}. \quad (14)$$

В первом случае (участок 1, рис. 1) имеем

$$R_{np} = \text{const} \cdot \exp(qV / 2kT),$$

а во втором (участок 2, рис. 1) -

$$R_{np} = R_{np}^{\max} = \sqrt{c_n c_p} N_t / 2. \quad (15)$$

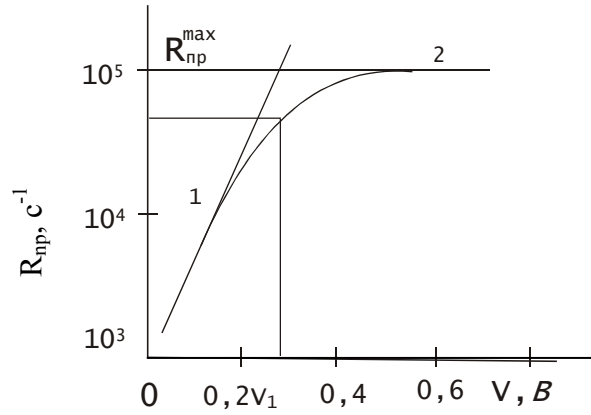


Рис.1

При рассмотрении напряжения V_1 , при котором выполняется условие $R_{np} = R_{np}^{\max} / 2$, имеем $c_n n_1 + c_p p_1 = 2n_i \sqrt{c_n c_p} \exp(qV_1 / 2kT)$. Положение ГЦ в запрещенной зоне можно рассчитать из трансцендентного уравнения

$$c_n N_c \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) = 2n_i \sqrt{c_n c_p} \exp\left(\frac{qV_1}{2kT}\right) - c_p N_v \exp\left[-\frac{(E_g - E_t)}{kT}\right]. \quad (16)$$

Учитывая, что для большинства кремниевых p-n-переходов E_t лежит в диапазоне от 0,4 до 0,8 эВ, при расчете E_t из (16) воспользуемся методом итераций, подставив в правую часть (16) в качестве начального приближения значение

$$E_t = \frac{(E_g - qV_1)}{2} + \delta, \quad \delta = \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{1}{4} \frac{c_n N_c}{c_p N_v}\right). \quad (17)$$

Однако в ОПЗ часто имеется несколько глубоких уровней, и процессы рекомбинации через них протекают параллельно. Поэтому соответствующие каждому глубокому центру рекомбинационные токи складываются в общий ток по принципу суперпозиции. Следовательно, реальная зависимость $R_{np} = f(V)$ представляет собой сумму нескольких “полочек”.

Алгоритм разделения на составляющие экспериментальной кривой опирается на условие (15) и состоит в следующем.

1) измеряется ВАХ прямосмещенного р-п - перехода при напряжениях, меньших ϕ_0 (точек должно быть достаточно много). Для каждой точки находится R_{np} по (13). Величины $d(V)$ и ϕ_0 определяются из емкостных измерений;

2) полученная зависимость $\ln R_{np}(V)$ методом графического разделения раскладывается на составляющие. Каждая составляющая ее полочка, согласно (15), на начальном участке должна иметь наклон, соответствующий $q/2kT$, а на конечном участке она равна постоянной величине;

3) для каждой найденной полочки находим V_1 так, чтобы $R_{np}(V_1) = R_{np}^{max} / 2$, и оцениваем энергию активации соответствующего глубокого центра по итерационной формуле (16). Можно также оценить энергию активации ГЦ согласно (17), пренебрегая величиной δ . Систематическая ошибка, связанная с пренебрежением δ , определяется отношением коэффициентов захвата c_n / c_p и составляет $\approx 0,05$ эВ при $T=300$ К;

4) если известно значение отношения коэффициентов захвата c_n / c_p (из других экспериментов или из расчета), то можно вычислить времена жизни в сильно легированных материалах п-типа τ_{p0} и р-типа τ_{n0} по формулам [4]

$$\tau_{p0} = (c_p N_t)^{-1} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c_n}{c_p}} (R_{np}^{max})^{-1},$$

$$\tau_{n0} = (c_n N_t)^{-1} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c_p}{c_n}} (R_{np}^{max})^{-1}.$$
(18)

Таким образом, не прибегая к температурным измерениям, можно приближенно найти параметры глубоких уровней из ВАХ и емкостных измерений.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ А-140-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зи С.** Физика полупроводниковых приборов.- М.: Мир, 1984. - Т.1. - 455 с.
2. **Аут И., Генцов Д., Герман К.** Фотоэлектрические явления. – М.: Мир, 1980. –208 с.
3. **Kang Y.Q., Zheng J.H., Tan H.S., Ng S.C.** Applied Physics. - 1996. – V. А 63, N 1. - Р. 37-43.
4. **Коварский В.А., Перельман Н.Ф., Авербух И.Ш.** Многоквантные процессы.- М.: Энергоатомиздат, 1985 . - 160 с.

ГИУА, ЗАО «Виасфер Технопарк». Материал поступил в редакцию
10.02.2000.

Գ.Հ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Գ.Ա. ՄԱԿԱՐՅԱՆ, Ա.Վ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԽՈՐԸ ՄԱԿԱՐԴԱԿՆԵՐՈՎ P-N ԱՆՑՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հետազոտված է p-n անցումում վերամիավորման հոսանքը, որը պայմանավորված է տարածական լիցքի տիրույթում (SLS) խորը մակարդակի վրա հոսանքի լիցքակիրների չճառագայթող զավթումով: Գտնված է կիսափորձնական բանաձև, որը թույլ է տալիս որոշել խորը մակարդակների պարամետրերը SLS-ում:

G.H. KIRAKOSSYAN, G.A. MAKARYAN, A.V. PETROSSYAN

**INVESTIGATION OF THE P-N JUNCTION WITH
DEEP LEVELS**

The recombination current of the p-n –junction associated with the non-radiative capture of carriers to deep level in space charge region(SCR) is studied. A semiempirical formula permitting to determine parameters of deep levels in SCR is found.

М. К. БАГДАСАРЯН

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ

Предлагается модель для теоретического исследования активной мощности, потребляемой мельницей. Освещены основные подходы формирования алгоритмов, на основе которых создана модель.

Ключевые слова: потребляемая мощность, рудоразмольная мельница, случайный фактор, момент сопротивления.

Известно, что процесс измельчения руд, а следовательно, и мощность, потребляемая приводным двигателем в рудоразмольной мельнице, носит случайный характер.

Статистическая взаимосвязь между параметрами процесса измельчения и мощности, потребляемой двигателем мельницы, обусловлена случайной функцией времени момента сопротивления. Известные методы определения активной мощности мельницы учитывают только ее средние значения и, следовательно, непригодны для анализа случайного характера мощности приводного двигателя мельницы.

Целью работы является разработка модели активной мощности, потребляемой приводным двигателем рудоразмольной мельницы, случайным образом меняющейся во времени.

Поставленная задача реализуется:

- формированием алгоритма, определяющего количество материала на каждом такте измельчения;
- формированием случайной функции времени момента сопротивления мельницы $M(t)$.

Для разработки алгоритма, определяющего количество материалов на каждом такте, процесс измельчения представляется действием элементарных процессов, проходящих на отдельных участках прохождения материала (круговой, параболический, малоподвижный). В целом процесс измельчения рассматривается как последовательность тактов измельчения (один такт соответствует времени одного цикла). Это значит, что количество рудных пульпов перед каждым измельчением будет [1]

$$m_{ip} = \sum_{j=1}^k F_{ij}, \quad (1)$$

где $F_{ij} = F_{i-1j} X$, $X = \frac{(1-C)(BD+1-D)}{1-C(BD+1-D)}$;

B, C, D - матрицы разрушения, классификации и отбора, соответствующие конкретным классам крупности; k - класс крупности, для которого выполняется условие $d_k < d_{доп}$.

При вращении барабана мельницы материал поднимается по круговым траекториям на высоту, различную для отдельных слоев материала, затем падает по параболическим траекториям обратно на круговые. В результате рудные частицы попадают под удар шаров [2], приводя к разрушению материала, вероятность которого зависит от массы внутримельничной загрузки, находящейся в параболической траектории, в свою очередь, зависящей от скорости вращения и заполнения мельницы. Очевидно, что изменение загрузки падающих материалов (параболическая траектория) приводит к изменению загрузки и на других участках мельницы, вследствие чего изменяется и момент сопротивления на этих участках. Из сказанного следует, что мощность электродвигателя расходуется на преодоление нескольких моментов (момент, создаваемый силами тяжести, действующими на круговых M_k и параболических M_n траекториях, момент малоподвижного участка M_c), случайным образом меняющихся во времени.

Вероятность попадания тех или иных частиц под удар шаров в процессе измельчения регулируется величиной циркулирующей нагрузки. При контролируемой крупности слива классификатора замедление измельчения зерен той или иной крупности приводит к возрастанию циркулирующей нагрузки, что увеличивает вероятность измельчения накапливающегося продукта до необходимого уровня за счет рассредоточения более крупных кусков руды в массе циркулирующего материала. Таким образом, для определения случайной функции времени момента сопротивления необходимо определить изменение циркулирующей нагрузки в зависимости от интенсивности попадания рудных частиц под удар шаров в i -ом такте измельчения.

Учитывая, что в начале измельчения циркулирующая нагрузка возрастает прямолинейно (первый этап), а по мере уменьшения диаметров рудных кусков (конечный этап) становится почти постоянной, получим

$$D = \begin{cases} KS \frac{t}{t_1}, & \text{если } t_i \leq t < t_i + t_1, \\ KS, & \text{если } t_i + t_1 \leq t < t_i + t_2, \\ 0, & \text{если } t_i > t > t_i + t_2, \end{cases} \quad (2)$$

где t_i – момент попадания частиц под удар шаров; t_1 , t_2 – продолжительность первого и конечного этапов соответственно; K – коэффициент твердости материала; S – матрица циркуляции количества материалов всех классов крупности, подаваемой в процесс измельчения.

Число рудных частиц и шаров в i -ом такте на круговой (N_{ipk} , N_{gk}) и параболической (N_{inp} , N_{ng}) траекториях будет

$$N_{ikp} = \frac{\pi - 2\alpha}{\pi} t_n N_{ip}, \quad N_{inp} = \frac{\sin 2\alpha}{\pi} t_n N_{ip}, \quad (3)$$

$$N_{kg} = \frac{\pi - 2\alpha}{\pi} t_n N_g, \quad N_{ng} = \frac{\sin 2\alpha}{\pi} t_n N_g, \quad (4)$$

$$\text{где} \quad N_{ip} = \frac{6m_i}{d_p^3 \gamma_p \pi}, \quad \alpha = \arccos \frac{\omega^2 R}{g},$$

N_{ip} - количество рудных частиц; α - угол отрыва материалов внешнего слоя; t_n - время одного оборота барабана.

Учитывая, что вес материала, находящегося на круговых траекториях, во столько раз больше веса материала, находящегося на параболических траекториях, во столько раз время нахождения материала на круговых траекториях больше времени нахождения материала на параболических траекториях, можно определить вес рудных материалов (m_{ikp} , m_{inp}) и шаров (m_{kg} , m_{ng}) на круговой и параболической траекториях, что позволяет определить момент, создаваемый силой тяжести, действующей на круговой и параболической траекториях M_{ik} , M_{in} , и коэффициенты φ_{ik} , φ_{in} заполнения на этих участках в i -ом такте измельчения:

$$\begin{aligned} M_{ik} &= g(m_{ikp} + m_{kg})\ell_{ik}, \\ M_{in} &= g(m_{inp} + m_{ng})\ell_{in}, \\ \varphi_{ik} &= \frac{m_{ikp}}{\gamma_p V} + \frac{m_{kg}}{\gamma_g V} = \varphi_{ikp} + \varphi_{kg}, \\ \varphi_{in} &= \frac{m_{inp}}{\gamma_p V} + \frac{m_{ng}}{\gamma_g V} = \varphi_{inp} + \varphi_{ng}, \end{aligned}$$

где V - объем мельницы; γ_p - удельный вес рудной пульпы; γ_g - удельный вес шаров; ℓ_{ik}, ℓ_{in} - соответственно плечо силы тяжести по параболической и круговой траекториям.

Момент малоподвижного участка определяется, исходя из восстанавливающей силы G_τ и силы трения F между внешними поверхностями малоподвижного участка и участка, движущегося с угловой частотой (ω) барабана мельницы:

$$M_{ic} = G_\tau R_{io} + FR_{i2}, \quad (5)$$

$$\text{где} \quad G_\tau = 0,5g\gamma_p R_{i2}^2 (\beta_i - \sin \beta_i) \sin \theta,$$

$$\begin{aligned} R_{io} &= \frac{1}{3} R \sin^3 \frac{\beta_i}{2} \left(\frac{\beta_i}{2} - 0,5 \sin \beta_i \right)^{-1}, \\ R_{i2} &= 1,5 R_{io} \left(\frac{\beta_i}{2} - 0,5 \sin \beta_i \right) \left(\sin^3 \frac{\beta_i}{2} \right)^{-1}. \end{aligned}$$

Центральный угол ω_i малоподвижного участка определяется решением следующего трансцендентного уравнения:

$$\varphi_{ic} = 0,5 \frac{\beta_i - \sin \beta_i}{\pi} . \quad (6)$$

Исходя из того, что в каждом такте измельчения с большой вероятностью рудные частицы попадают под удар шаров, моментом появления которого является случайный поток событий, рассматривается характер их распределения с учетом следующих предположений.

Для процесса измельчения руд характерны следующие особенности: попадания частиц под удар шаров на каждом исследуемом участке единичны; момент появления удара в данный момент времени не зависит от того, в какие моменты появлялись удары в прошлом; число появления ударов на разных участках одинаковой длины имеет одинаковое распределение.

Из сказанного очевидно, что поток событий обладает свойствами ординарности, стационарности и без последствий, следовательно, является стационарным пуассоновским потоком. Итак, функция распределения интервалов периодов появления удара (разрушение) между соседними кусками в i -ом такте ΔT_{iab} ($a = 1, N_{ip}, b = 1, N_{ig}$) (в дальнейшем индексы a и b опускаем) будет [3]

$$F(\Delta T_i) = 1 - \exp(-\lambda_i \Delta T_i) . \quad (7)$$

Дифференцируя (7), найдем плотность распределения случайной величины ΔT_i :

$$f(\Delta T_i) = \lambda_i \exp(-\lambda_i \Delta T_i) . \quad (8)$$

Интенсивность появления разрушения λ_i определяется в виде

$$\lambda_i = \frac{N_{ip}}{T_i} ,$$

где

$$T_i = t_i - N_{ip} \Delta t_k - \Delta t_i ;$$

t_k - продолжительность удара; Δt_i - продолжительность разрушения в i -ом такте за счет последнего куска предшествующего такта.

Условная плотность [3] распределения случайной величины ΔT_i в интервале $(0, T_i)$ будет

$$f^*(\Delta T_i) = \frac{\lambda_i \exp(-\lambda_i \Delta T_i)}{1 - \exp(-\lambda_i T_i)} . \quad (9)$$

Так как точка (T_i) появляется на участке $(0, T_i)$ совершенно случайно, то при этом она будет иметь равномерное распределение на участке $(0, T_i)$ [3]. Исходя из этого, генерировав величину v , равномерно распределенную в интервале $(0, 1)$, можно из соотношения $f^*(\Delta T_i) = f(v)$ определить последовательность ΔT_i :

$$\Delta T_i = (\lambda_i v - \ln(1 - \exp(-\lambda_i T_i))) / \lambda_i .$$

Имея шаг дискретизации ΔT_i , можно определить активную мощность, потребляемую приводным двигателем мельницы:

$$P(t) = (M_k(t) + M_{II}(t) + M_c(t))\omega.$$

Приведенная модель позволяет теоретически исследовать состояние активной мощности приводного двигателя мельницы, а использование результатов позволит повысить эффективность управления процессом измельчения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Линч А.Дж.** Циклы дробления и измельчения / Пер. с англ. - М.: Недра, 1981. - 343 с.
2. **Крюков Д.К., Миронюк А.Ф.** Учет ударных явлений в барабанных мельницах // Горный журнал. - 1983.- № 11. - С. 78-83.
3. **Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. - М.: Наука, 1991.- 381 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 7.06.2001.

Մ.Ք. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՅԻ ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՍՊԱՌՄԱՆ ՄՈՂԵԼԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՐՅԻ ՇՈՒՐՁ

Առաջարկվում է հանքաքարի աղացի՝ սպառող ակտիվ հզորության տեսական հետազոտման մոդել: Լուսաբանվում են մոդելի ստեղծման հիմք հանդիսացող ալգորիթմի ձևավորման հիմնական մոտեցումները:

M.K. BAGHDASARYAN

ON PROBLEM OF ACTIVE POWER MODEL DEVELOPMENT CONSUMED BY ORE – MILLED MILLS

A model for theoretical studies of active power consumed by the mill is proposed. The basic approaches to algorithm formation based on the model are considered.

В.Б. НЕРСИСЯН

МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Рассматриваются некоторые конструкции магнитных цепей функциональных преобразователей с переменной структурой. Сравниваются их функциональные возможности. В частности, приводятся конструкции с магниторезисторами, датчиками Холла, набором основных и дополнительных контуров. Наилучшими показателями по воспроизведению заданной функциональной зависимости обладает преобразователь трансформаторного типа малых перемещений.

Ключевые слова: переменная структура, функция, гальваномагнитные, трансформаторные, функциональные преобразователи.

В информационно-измерительных системах (ИИС) наиболее перспективными являются измерительные функциональные преобразователи (ФП) с переменной структурой, у которых алгоритм функционирования может быть изменен в любой требуемый момент времени без изменения конструктивной и схемной основы системы. В связи с этим весьма актуальной является задача разработки различных типов измерительных преобразователей с переменной структурой, составляющих элементную базу ИИС.

Такая задача для ФП больших перемещений была поставлена и решена в ряде известных работ [1 и др.]. Однако при конструировании ФП необходим качественно новый подход, заключающийся в существенном увеличении разрешающей способности в малом диапазоне перемещения. Рассмотрим некоторые возможные конструкции преобразователей, у которых выходная характеристика может быть изменена на любом требуемом участке в сравнительно малом диапазоне перемещения.

Повышение точности обычных ФП с жесткой характеристикой ограничено технологическими трудностями, поскольку в этом случае допуски на изготовление отдельных элементов ФП должны быть очень жесткими. Располагая функциональным преобразователем с переменной структурой (ФППС), принципиально можно устранить все систематические погрешности до уровня случайных. Используя основные принципы построения ФППС, рассмотрим некоторые конструктивные разновидности преобразователей как с непосредственной, так и с дистанционной перестройкой функции преобразования.

Гальваномагнитные ФППС. На рис.1 схематично показана конструкция ФППС с магниторезисторами [2], содержащая магнитопровод 1 с обмоткой возбуждения 2. В зазоре магнитопровода расположена часть кассеты 4 с набором магниторезисторов 3, каждый из которых закреплен в каркасе с помощью поворотных осей 5. Магниторезисторы включены последовательно между собой и являются плечом моста 6.

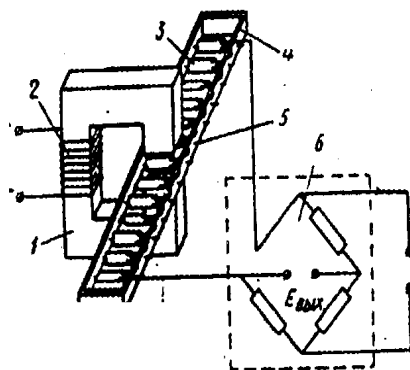


Рис. 1. ФППС с магниторезисторами

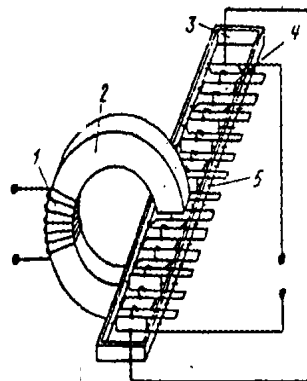


Рис. 2. ФППС с датчиками Холла

Устройство работает следующим образом. При подаче в обмотку возбуждения 2 постоянного тока в зазоре магнитопровода образуется магнитный поток, пронизывающий соответствующий магниторезистор. При перемещении кассеты 4 в плоскости зазора все магниторезисторы поочередно пронизываются магнитным потоком. Сопротивление магниторезистора зависит не только от магнитного поля, но и от угла наклона плоскости магниторезистора относительно направления магнитного поля. Меняя угол наклона каждого магниторезистора, находящегося при данной координате перемещения в зазоре магнитопровода, подбирают его сопротивление, что обеспечивает необходимое изменение ЭДС в диагонали моста.

Таким образом, при перемещении кассеты 4 получим требуемое изменение выходной ЭДС; при этом имеется возможность ее регулировки на любом участке. Выходная ЭДС может быть получена как по переменному, так и по постоянному току, что зависит от вида напряжения, подключаемого к мосту 6.

Применение вместо магниторезисторов датчиков Холла позволяет создать более простую конструкцию ФППС без мостовой схемы (рис.2).

Датчики 4 укреплены в каркасе 3 с помощью поворотных осей 5. Обмотка возбуждения 1 размещена на С-образном магнитопроводе 2. На управляемые элементы, соединенные между собой последовательно, подается напряжение, а с выходных клемм, соединенных таким же образом, снимается ЭДС Холла при перемещении либо магнитной системы, либо каркаса с датчиками Холла, причем, как и в предыдущем случае, вид выходной ЭДС зависит от углов наклона элементов Холла.

Наличие управляющих элементов Холла позволило создать конструкции ФППС с дистанционной регулировкой функции преобразования (рис.3).

Магнитная система преобразователя состоит из постоянного магнита 1 и двух Г-образных магнитопроводов 2 из магнитомягкого материала, скрепленных с соответствующими полюсами постоянного магнита.

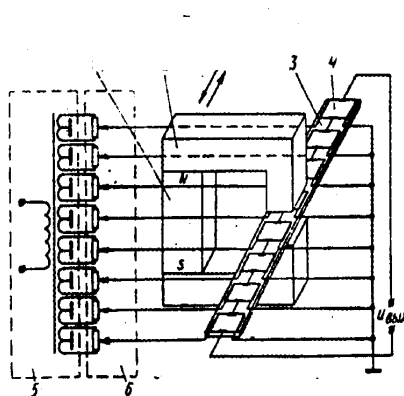


Рис.3. ФППС с управляемыми датчиками Холла

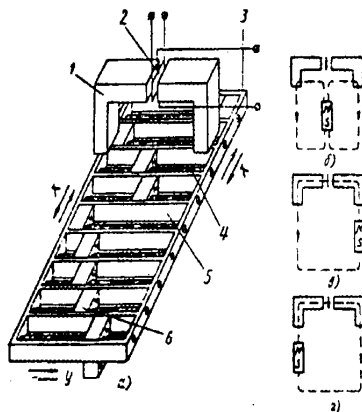


Рис.4. ФППС с набором подвижных магнитов

В зазоре магнитной системы на изоляционной пластине 3 расположены датчики Холла 4 с последовательным включением выходных зажимов. Управляющий ток подается на каждый датчик Холла с соответствующих вторичных обмоток трансформатора 5. Резисторы 6 предназначены для регулировки управляющего тока.

Магнитный поток пронизывает соответствующий датчик Холла, находящийся в зазоре магнитопровода при данной координате перемещения магнитопровода 2 или пластины 3. Выходная ЭДС при этом определяется значением магнитного поля и величиной управляющего тока. Изменяя с помощью резисторов 6 управляющий ток каждого датчика, получаем требуемое изменение величины ЭДС на выходе устройства.

Таким образом, при взаимном перемещении магнитной системы и наборе датчиков Холла получаем требуемое изменение выходной ЭДС. При этом существует возможность дистанционной регулировки на любом участке.

Возможна также конструкция ФППС с непосредственной и дистанционной регулировкой одновременно. Непосредственная местная регулировка осуществляется с помощью поворотных осей до установки ФППС на объекте, а дистанционная - во время эксплуатации, когда не имеется доступа к устройству. В данном случае получаем комбинированное регулирование характеристики, что расширяет функциональные возможности преобразователя, но конструкция при этом несколько усложняется.

Малые резисторы гальваномагнитных датчиков позволяют создать многоканальные и многофункциональные преобразователи, реализующие ансамбли функций. Это обеспечивает возможность решать задачи, свойственные достаточно сложным ИИС.

С целью увеличения надежности и уменьшения стоимости в качестве подвижных элементов используют наборы магнитов или ферромагнитных шунтов. Одна из конструкций с магнитопроводом и датчиком Холла приведена на рис. 4а.

Подвижным элементом является набор постоянных магнитов 6, установленных на общем каркасе 3 с помощью винтов 4. Направляющие 5 служат для предотвращения поворота магнитов вокруг винтов. При перемещении каркаса с магнитами по координате χ происходит перераспределение потока, пронизывающего датчик Холла 2, находящийся в зазоре магнитной системы 1. Перераспределение потока при расположении магнита в зоне действия чувствительного элемента показано на рис. 4 б, г. При перемещении постоянного магнита в направлении y магнитные силовые линии могут не пересекать плоскость датчика Холла (рис.4б), пересекать ее справа налево (рис.4в) или слева направо (рис.4г). Получающиеся при этом кривые зависимости напряжения Холла от перемещения магнита имеют вид положительной и отрицательной полувольт. Отличительными признаками этих кривых являются большая крутизна в окрестности нуля и наличие экстремума.

При перемещении каркаса с магнитами по координате χ величина ЭДС на выходе преобразователя изменяется по закону, зависящему от взаимного расположения магнитов. Изменяя при помощи винтов местоположение магнитов, можно получить практически любую функциональную зависимость.

Сильная температурная зависимость, временная нестабильность выпускаемых гальваномагнитных элементов накладывают ограничения на применение их в ФППС, однако успехи полупроводниковой техники позволяют очистить их перспективными элементами.

Аналогичным образом могут быть построены терморезистивные ФППС, где в качестве регулируемых элементов используют наборы терморезисторов, перемещающихся относительно нагревательной нити.

Трансформаторные ФППС. Трансформаторные ФППС получили в ИС наибольшее распространение. Это объясняется прежде всего их преимуществами по сравнению с другими типами преобразователей с переменной структурой: простотой и высокой надежностью при малых габаритах, стабильностью в работе, низкой чувствительностью к изменению условий окружающей среды, низкой стоимостью и пр.

На рис. 5 схематично показана конструкция ФППС с повышенной надежностью, состоящего из Ш-образного магнитопровода 2, выходных обмоток 1 и 5, включенных последовательно и встречно, обмотки возбуждения 3, каркаса 4 с набором ферромагнитных шунтов 6 и винтов 7, позволяющих изменить взаимное расположение шунтов на общем каркасе. Магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения 3, распределяется в крайних сердечниках Ш-образного магнитопровода на потоки Φ_1 и Φ_2 , которые, будучи сцеплены с обмотками 1 и 5, индуцируют в них частичные ЭДС E_1 и E_2 . Результирующее значение ЭДС вследствие противоположного направления E_1 и E_2 равно их разности и зависит от положения ферромагнитного шунта, находящегося под Ш-образным магнитопроводом. Располагая шунты соответствующим образом, получаем требуемое изменение ЭДС при перемещении каркаса по координате χ .

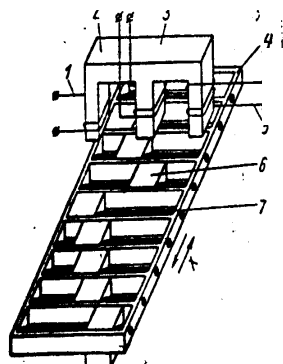


Рис.5. Конструкция ФППС с
Ш - образным магнитопроводом

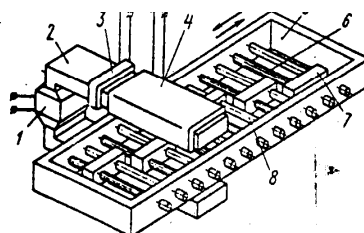


Рис.6. ФППС с набором
ферромагнитных шунтов

Конструкция ФП с набором ферромагнитных шунтов показана на рис.6. На П-образный магнитопровод 2 укладываются обмотка возбуждения 1, создающая рабочий магнитный поток, и измерительная обмотка 4, равномерно распределенная вдоль одного из стержней магнитопровода. На общем каркасе 5 расположены ферромагнитные шунты 7, которые можно перемещать в поперечном направлении с помощью винтов 6. Оси 8 служат для предотвращения поворота шунтов вокруг своей оси. Компенсационная обмотка 3 служит для компенсации начального значения ЭДС, вызываемой потоками рассеяния. При перемещении магнитопровода 2 вдоль каркаса 5 рабочий магнитный поток пронизывает различное число витков измерительной обмотки 4, определяемое взаимным расположением шунтов 7. При вращении винтов происходит перемещение ферромагнитных шунтов, что позволяет установить их по требуемому закону. Взаимное расположение шунтов и определяет соответствующее изменение выходной ЭДС. Данная конструкция ФП имеет широкие функциональные возможности, высокую надежность и используется как задатчик программ, генератор специальных импульсов и т.д.

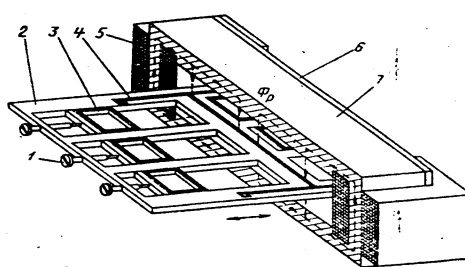


Рис.7. ФППС малых перемещений

На рис. 7 представлена конструкция трансформаторного регулируемого преобразователя малых перемещений [3]. Магнитопровод 7 имеет О-образную форму и содержит две секции обмотки возбуждения 5, соединенные последовательно и встречно. В зазоре преобразователя расположена изоляционная рамка 2 с прямоугольным основным контуром 4, пронизываемым потоком Φ_r . Контур 4 состоит из двух прямоугольных измерительных обмоток, соединенных встречно.

Это определяет линейный характер ЭДС при перемещении контура 4 от его среднего положения. На изоляционной рамке 2 расположены также корректирующие контуры 3, которые можно перемещать один относительно другого с помощью винтов 1. Для уменьшения потоков выпучивания предусмотрены боковые электромагнитные экраны 6.

При перемещении изоляционной рамки 2 или магнитопровода 7 за счет основного контура 4 на выходе получаем линейную характеристику. Одновременно за счет контуров 3 появляются дополнительные ЭДС, включенные согласно или встречно с основной ЭДС контура, что обуславливает подъем или опускание характеристики на требуемых участках. Моменты появления дополнительных ЭДС определяются положением корректирующих контуров относительно друг друга и основного контура. Сравнительный анализ магнитных цепей ФППС различных типов [4] показал, что по функциональным возможностям преобладают преобразователи малых перемещений с применением основных и дополнительных контуров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куликовский Л.Ф., Конюхов Н.Е., Медников Ф.М.** Трансформаторные функциональные преобразователи с профилированными вторичными контурами.- М.: Энергия, 1971.- 103 с.
2. А.с 437096 (СССР). Функциональный преобразователь перемещений / **Нерсисян В.Б.** и др. Опубл. в.Б.И. - 1974г. - № 27.
3. А.с. 452838 (СССР). Функциональный преобразователь перемещений / **Нерсисян В.Б.** и др. Опубл. в.Б.И. - 1975.- № 45.
4. **Нуберт Г.П.** Измерительные преобразователи неэлектрических величин.-М.: Энергия, 1970.- 360 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.09.2000.

Վ.Բ. ՆԵՐՏԵՍՅԱՆ

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՁԵՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐԸ

Քննարկվում են փոփոխական կառուցվածքով ֆունկցիոնալ ձևափոխիչների մագնիսական շղթաների որոշ կոնստրուկցիաներ: Մագնիսառեզիստորային, հոլի տվիչով, շարժական մագնիսներով, շարժական ֆեռոմագնիսական շունտերով և, շարժական կոնտուրներով ֆունկցիոնալ ձևափոխիչների համեմատությունից պարզվում է, որ լավագույն ֆունկցիոնալ ձևափոխման հնարավորություններով օժտված են տրանսֆորմատորային ձևափոխիչները:

V.B. NERSESSYAN

MAGNETIC CIRCUITS OF SOME FUNCTION GENERATORS WITH A VARIABLE STRUCTURE

Some function generator designs with a variable are considered. Their functional capabilities are compared. In particular, constructions with magnetoresistors, Hall sensors, a set of main and supplementary profiles are given. The transformer type converter with small travels has the best results of indices for the given functional dependence reproduction.

С.О. СИМОНЯН, А.Г. АВЕТИСЯН

ПРЯМОЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОТОЧЕЧНЫХ
КРАЕВЫХ ЗАДАЧ

Предложен эффективный метод решения многоточечных краевых задач, основанный на дифференциально-тейлоровских преобразованиях. Рассмотрены модельные примеры

Ключевые слова: краевые задачи, дифференциально - тейлоровские преобразования, комбинированный подход.

Рассмотрим многоточечную краевую задачу [2], в которой:

- движение характеризуется линейной нестационарной системой дифференциальных уравнений

$$\frac{dX(t)}{dt} = A(t)X(t) + f(t), \quad (1)$$

где $X(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))^T$ - n -мерный вектор переменных состояния;
 $A(t) = (a_{ij}(t))$, $i, j = \overline{1, n}$ - матрица системы порядка n ; $f(t) = (f_1(t), \dots, f_n(t))^T$ - n -мерный вектор возмущений;

- граничные условия при $q+1$ значениях аргумента t , т.е. в точках $t_0, t_1, \dots, t_q$, заданы связанной системой конечных соотношений

$$\Gamma_0 X(t_0) + \sum_{r=1}^q \Gamma_r X(t_r) = \gamma, \quad (2)$$

где $\Gamma = (\Gamma_{rsj})$, $r = \overline{0, q}$; $s = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$ - постоянные матрицы с размерами $m(n)$ ($m(n)$); $\gamma = ((\gamma_1, \dots, \gamma_m)^T$ - m -мерный вектор правых частей с постоянными элементами.

Требуется определить вектор $X(t)$, одновременно удовлетворяющий системам (1) и (2) с точностью до ε .

Теперь предположим, что система краевых условий (2) такова, что задача имеет хотя бы одно решение. Предположим также, что элементы $a_{ij}(t)$ матрицы $A(t)$ и $f_j(t)$ вектора $f(t)$ таковы, что на отрезке $[t_0, t_q]$ решение системы (1) можно представить векторным рядом Тейлора. В качестве основного математического аппарата для нахождения этого решения используем дифференциально-тейлоровские (точнее, дифференциально-маклореновские, т.к. $t_0=0$) преобразования [1]:

$$x(t) = \sum_{K=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^K X(K) \stackrel{\text{---}}{=} X(K) = \frac{H^K}{K!} \frac{\partial^K x(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_0=0}, \quad (3)$$

Теперь систему (1) из области оригиналов $X(t)$ переведем в область изображений $X(K)$. При этом алгебраический эквивалент системы (1) выглядит так:

где индекс k указывает на степень аппроксимирующего приближенное решение задачи многочлена Тейлора.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{X}(1)_{\mathbf{K}} = \mathbf{X}_1(\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}}, \mathbf{H}) = [\mathbf{B}_1(\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}})\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}} + \mathbf{C}_1]\mathbf{H}, \\ \mathbf{X}(2)_{\mathbf{K}} = \mathbf{X}_2(\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}}, \mathbf{H}^2) = [\mathbf{B}_2(\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}})\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}} + \mathbf{C}_2]\mathbf{H}^2, \\ \dots\dots\dots \\ \mathbf{X}(\mathbf{K})_{\mathbf{K}} = \mathbf{X}_{\mathbf{K}}(\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}}, \mathbf{H}^{\mathbf{K}}) = [\mathbf{B}_{\mathbf{K}}(\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}})\mathbf{X}(0)_{\mathbf{K}} + \mathbf{C}_{\mathbf{K}}]\mathbf{H}^{\mathbf{K}}, \\ \dots\dots\dots \end{array} \right. \quad (5)$$

Далее в соответствии с (3) имеем

причем $B_0(X(0))_K = E$, где E – единичная матрица порядка n , а $C_0 = (0)$ – нулевой вектор-столбец с размерами $n \times 1$.

$$X(t_r)_K = D_{rK} X(0)_K + G_{rK}, r = \overline{1, q}, \quad (7)$$

С учетом последних связанная система краевых условий (2) приобретает вид

$$\left[\Gamma_0 + \sum_{r=1}^q \Gamma_r D_{rK} \right] X(0)_K + \sum_{r=1}^q \Gamma_r G_{rK} = \gamma,$$

откуда

$$\left[\Gamma_0 + \sum_{r=1}^q \Gamma_r D_{rK} \right] X(0)_K = \gamma - \sum_{r=1}^q \Gamma_r G_{rK},$$

или

$$Q_K X(0)_K = d_K, \quad (8)$$

где

$$Q_K = \Gamma_0 + \sum_{r=1}^q \Gamma_r D_{rK}, \quad d_K = \gamma - \sum_{r=1}^q \Gamma_r G_{rK}.$$

Теперь рассмотрим два возможных варианта.

1. Пусть $m=n$. Тогда:

$$a) X(0)_K = Q_K^{-1} d_K, \text{ если } \text{rang} Q_K = n; \quad (9)$$

$$б) X(0)_K = Q_K^+ d_K, \text{ если } \text{rang} Q_K < n, \quad (10)$$

где $+$ - знак псевдообратной матрицы (иными словами, при определенной, но вырожденной системе (8) с бесконечным множеством решений ищется решение (вектор $X(0)_K$) с минимальной длиной).

2. Пусть $m < n$. Тогда, умножая обе части соотношения (8) на транспонированную матрицу Q_K^T , получим

$$Q_K^T Q_K X(0)_K = Q_K^T d_K,$$

откуда

$$a) X(0)_K = [Q_K^T Q_K]^{-1} Q_K^T d_K, \text{ если } \text{rang}[Q_K^T Q_K] = n; \quad (11)$$

$$б) X(0)_K = [Q_K^T Q_K]^+ Q_K^T d_K, \text{ если } \text{rang}[Q_K^T Q_K] < n \quad (12)$$

(иными словами, при недоопределенной системе (8) также с бесконечным множеством решений опять-таки ищется вектор $X(0)_K$ с минимальной длиной).

Ввиду того, что при невырожденности матрицы обратная ей матрица совпадает с ее псевдообратной, то, как наиболее общие соотношения, при организации численных процедур можно воспользоваться представлениями (10) и (12) соответственно при $m=n$ или $m < n$.

Таким образом, определив в соответствии с (10) или (12) вектор начальных дискрет $X(0)_K$, при аппроксимации решения многочленом K -й степени с учетом системы (5) можно вычислить также векторы дискрет $X(1)_K, X(2)_K, \dots, X(K)_K$, а в дальнейшем и приближенное решение $X(t)_K$ в соответствии с выражением (6).

При этом, однако, чаще всего не удастся получить точное решение задачи (если, конечно, оно существует) либо из-за недостаточности степени используемых аппроксимирующих многочленов, либо из-за использования псевдообратных матриц, в общем случае, обуславливающих, хотя в некотором смысле, “оптимальные”, но все же приближенные решения (начальный вектор дискрет

$X(0)_K$ с минимальной длиной при недоопределенных системах, или начальный вектор дискрет $X(0)_K$, обеспечивающий минимальную суммарную невязку при переопределенных системах (метод наименьших квадратов)). Поэтому требуется поиск других, более эффективных путей решения проблемы. К счастью, оказывается, что есть такая возможность (комбинированный подход)!

Суть этого подхода заключается в следующем: ввиду того, что при всех процедурах основные вычисления сводятся к нахождению такого начального вектора дискрет $X^*(0)$ решения задачи, при котором одновременно должны быть удовлетворены системы дифференциальных уравнений и краевых условий, то с целью использования наиболее полной информации для предотвращения энтропии, обусловленной условием $\text{rang} Q_K < n$ (при $m=n$) или недоопределенностью системы краевых условий (при $m < n$), необходимо использовать любую из подсистем (порядка $\geq n$), порожденных гиперсистемой

$$\begin{cases} Q_1 X(0)_1 = d_1, \\ Q_2 X(0)_2 = d_2, \\ \dots\dots\dots \\ Q_K X(0)_K = d_K, \\ \dots\dots\dots \end{cases} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} Q_1 \\ \dots\dots\dots \\ Q_K \\ \dots\dots\dots \end{bmatrix} X^*(0) = \begin{pmatrix} d_1 \\ \dots\dots\dots \\ d_K \\ \dots\dots\dots \end{pmatrix}$$

с матрицей с размерами $m \cdot k \times n$ и вектором свободных членов с размерами $m \cdot k \times 1$.

Пример 1 ([1], стр. 259-262; $m=n=3$). Пусть имеется система дифференциальных уравнений

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} -3 & -1 & -1 \\ 0 & -t & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad t \in [t_0, t_1] \in [0, 1]$$

при граничных условиях

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \\ x_3(0) \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \\ x_3(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix},$$

и требуется найти решение $(x_1(t), x_2(t), x_3(t))^T$.

Спектральная модель (4) в данном примере имеет вид

$$\begin{cases} X_1(K+1) = \frac{H}{K+1} (-3X_1(K) - X_2(K) - X_3(K) + \mathcal{B}(K-1)), \\ X_2(K+1) = \frac{H}{K+1} (-X_2(K-1) + X_3(K)), \\ X_3(K+1) = \frac{H}{K+1} (-3X_2(K) + 2\mathcal{B}(K)), \end{cases}$$

откуда

$$B_1 = \begin{bmatrix} -3 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} H, C_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} H, D_{11} = \begin{bmatrix} -2 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}, G_{11} = \begin{pmatrix} 5 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 9/2 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 \end{bmatrix} H^2, C_2 = \begin{pmatrix} -1/2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} H^2, D_{12} = \begin{bmatrix} -2 & -2/3 & -5/6 \\ 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & -2/3 & 1/2 \end{bmatrix}, G_{12} = \begin{pmatrix} 1 \\ 8/3 \\ -2/3 \end{pmatrix},$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} -9/2 & -5/3 & -5/6 \\ 0 & 0 & -1/2 \\ 0 & 1/3 & 0 \end{bmatrix} H^3, C_3 = \begin{pmatrix} -1/6 \\ 0 \\ -1/3 \end{pmatrix} H^3, D_{13} = \begin{bmatrix} -13/20 & -4/15 & -67/120 \\ 0 & 1/3 & 5/8 \\ 0 & -1/15 & 5/8 \end{bmatrix}, G_{13} = \begin{pmatrix} 7/3 \\ 7/3 \\ -2/5 \end{pmatrix}$$

и т.д.

Теперь перейдем к получению начальных векторов дискрет $(X_1(0), X_2(0), X_3(0))^T$ соответственно при линейной ($K=1$), квадратической ($K=2$) и кубической ($K=3$) аппроксимациях решений.

а) при линейной аппроксимации имеем

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 4 \\ 0 & 3 & -1 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \det Q_1 = 6 \neq 0, d_1 = \begin{pmatrix} 5 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$Q_1^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -4/3 & -8/3 \\ 0 & 1/3 & 1/6 \\ 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

б) при квадратической аппроксимации имеем

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 8/3 & -1/2 \\ 0 & -2/3 & 1 \end{bmatrix}, \det Q_2 = 7/3 \neq 0, d_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ -1 \end{pmatrix},$$

$$Q_2^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -0,571429 & -2,285714 \\ 0 & 0,428571 & 0,214286 \\ 0 & 0,285714 & 1,142857 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

в) при кубической аппроксимации имеем

$$Q_3 = \begin{bmatrix} 1 & 4/3 & 5/2 \\ 0 & 41/15 & -5/8 \\ 0 & -2/5 & 5/4 \end{bmatrix}, \det Q_3 = 19/6 \neq 0, d_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 8/3 \\ -2/3 \end{pmatrix},$$

$$Q_3^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -0,842105 & -2,421053 \\ 0 & 0,394737 & 0,197368 \\ 0 & 0,126316 & 0,863158 \end{bmatrix}, \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

и т.д.

Очевидно, что в этой задаче при всех типах аппроксимаций начальный вектор дискрет $(X_1(0), X_2(0), X_3(0))^T = (1, 1, 0)^T$ определяется однозначно в соответствии с (9), при котором имеем следующую картину (табл. 1):

Таблица 1

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_1(K)$	1	-4	6	-6	4.5	-2.7	1.35	-0,57857	0,21696	-0,07232	0,02169
$X_2(K)$	1	0	$0, \forall K = \overline{2, \infty}$								
$X_3(K)$	0	1	$0, \forall K = \overline{2, \infty}$								

Наконец, решение задачи выглядит так:

$$\begin{cases} x_1(t) = 1 - 4 \cdot t + 6 \cdot t^2 - 6 \cdot t^3 + 4.5 \cdot t^4 - 2.7 \cdot t^5 + 1.35 \cdot t^6 - \dots, \\ x_2(t) = 1, \\ x_3(t) = t. \end{cases}$$

Заметим, что в отличие от [1] здесь получено решение, одновременно удовлетворяющее системам дифференциальных уравнений и краевых условий.

Пример 2. ($m=2 < n=3$). Пусть имеется система дифференциальных уравнений

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} t^2 & 2t & 0 \\ t & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1-t^2 \\ 1-t-\frac{1}{2}t^2 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad t \in [0, 2]$$

при граничных условиях

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \\ x_3(0) \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1(2) \\ x_2(2) \\ x_3(2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Требуется найти решение $(x_1(t), x_2(t), x_3(t))^T$.

Спектральная модель (4) имеет вид

$$\begin{pmatrix} X_1(K+1) \\ X_2(K+1) \\ X_3(K+1) \end{pmatrix} = \frac{H}{K+1} \begin{pmatrix} H^2 X_1(K-2) + 2HX_2(K-1) + B(K) - H^2 B(K-2) \\ HX_1(K-1) + X_2(K) + B(K) - HB(K-1) - \frac{1}{2} \cdot H^2 B(K-2) \\ -X_1(K) + X_3(K) \end{pmatrix}.$$

Отсюда при $K = \overline{1, 5}$ получим

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} H, \quad C_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} H, \quad D_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ -2 & 0 & 3 \end{bmatrix}, \quad G_{11} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ -0,5 & 0 & 0,5 \end{bmatrix} H^2, \quad C_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -0,5 \end{pmatrix} H^2, \quad D_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 0 \\ 2 & 5 & 0 \\ -4 & 0 & 5 \end{bmatrix}, \quad G_{12} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ -2 \end{pmatrix},$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1/3 & 2/3 & 0 \\ 1/6 & 1/6 & 0 \\ -1/6 & -1/3 & 1/6 \end{bmatrix} H^3, \quad C_3 = \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/6 \\ -1/6 \end{pmatrix} H^3, \quad D_{13} = \begin{bmatrix} 11/3 & 28/3 & 0 \\ 10/3 & 19/3 & 0 \\ -16/3 & -8/3 & 19/3 \end{bmatrix}, \quad G_{13} = \begin{pmatrix} 14/3 \\ 10/3 \\ -10/3 \end{pmatrix},$$

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1/4 & 1/4 & 0 \\ 1/24 & 7/24 & 0 \\ -1/8 & -1/4 & 1/24 \end{bmatrix} H^4, \quad C_4 = \begin{pmatrix} 1/4 \\ 1/24 \\ -1/8 \end{pmatrix} H^4,$$

$$D_{14} = \begin{bmatrix} 23/3 & 40/3 & 0 \\ 4 & 11 & 0 \\ -22/3 & -20/3 & 7 \end{bmatrix}, \quad G_{14} = \begin{pmatrix} 26/3 \\ 4 \\ -16/3 \end{pmatrix},$$

$$B_5 = \begin{bmatrix} 1/15 & 4/15 & 0 \\ 3/40 & 23/120 & 0 \\ -3/40 & -1/10 & 1/120 \end{bmatrix} H^5, \quad C_5 = \begin{pmatrix} 1/15 \\ 3/40 \\ -3/40 \end{pmatrix} H^5,$$

$$D_{15} = \begin{bmatrix} 49/5 & 328/15 & 0 \\ 32/5 & 257/15 & 0 \\ -126/15 & -148/15 & 109/15 \end{bmatrix}, \quad G_{15} = \begin{pmatrix} 54/5 \\ 32/5 \\ -116/15 \end{pmatrix}$$

и т.д.

С учетом этих данных имеем следующие недоопределенные системы линейных алгебраических уравнений:

а) при K=1:

$$\begin{bmatrix} 3 & 5 & 0 \\ -3 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_1 = \begin{pmatrix} -5 \\ 3 \end{pmatrix}; \quad \begin{matrix} \text{(П1)} \\ \text{(П2)} \end{matrix}$$

б) при K=2:

$$\begin{bmatrix} 5 & 15 & 0 \\ -5 & -3 & 4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_2 = \begin{pmatrix} -5 \\ 5 \end{pmatrix}; \quad \begin{matrix} \text{(П3)} \\ \text{(П4)} \end{matrix}$$

в) при K=3:

$$\begin{bmatrix} 35/3 & 27 & 0 \\ -9 & -11 & 16/3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_3 = \begin{pmatrix} -35/3 \\ 9 \end{pmatrix}; \quad \begin{matrix} \text{(П5)} \\ \text{(П6)} \end{matrix}$$

г) при K=4:

$$\begin{bmatrix} 61/3 & 119/3 & 0 \\ -15 & -19 & 6 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_4 = \begin{pmatrix} -61/3 \\ 15 \end{pmatrix}; \quad (\text{П7})$$

д) при K=5:

$$\begin{bmatrix} 27 & 943/15 & 0 \\ -293/15 & -461/15 & 94/15 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_2(0) \\ X_3(0) \end{pmatrix}_5 = \begin{pmatrix} -27 \\ 293/15 \end{pmatrix} \quad (\text{П9})$$

и т.д.

Результаты решения задачи согласно комбинированному подходу для 10-и экспериментов при различных комбинациях уравнений гиперсистемы (П1)-(П10) представлены в табл. 2, откуда имеем следующую картину: при экспериментах 1 и 2 получены приближения вектора $(X_1(0), X_2(0), X_3(0))^T$, при которых соответствующие векторы $(x_1(t), x_2(t), x_3(t))^T$ не удовлетворяют ни системе дифференциальных уравнений, ни системе краевых условий; при экспериментах 3 и 6 матрицы систем вырожденные; при экспериментах 4, 5, 7, 9, 10 получено точное значение вектора $(X_1(0), X_2(0), X_3(0))^T = (-1, 0, 0)^T$, при котором соответствующее решение имеет вид: $(x_1(t), x_2(t), x_3(t))^T = \left(-1+t, t-\frac{1}{2}t^2, t\right)^T$.

Таблица 2

Экс.	Подсистемы уравнений	$X_1(0)$	$X_2(0)$	$X_3(0)$
1	П1, П2, П3	-2,5	0,5	-2,5
2	П1, П2, П6	1,759259	0,055556	-1,166666
3	П1, П3, П5	Матрица системы вырожденная		
4	П2, П3, П6	-1	0	0
5	П3, П4, П5	Матрица системы вырожденная		
6	П3, П4, П6	-1	0	0
7	П4, П5, П6	-1,014926	0,033807	-0,000601
8	П4, П5, П9, П10	-1	0	0
9	П4, П6, П9, П10	-1	0	0
10	П2, П5, П6, П9, П10	-1	0	0

Последнее точно удовлетворяет и системе дифференциальных уравнений, и системе краевых условий, причем при экспериментах 4, 5, 7 использованы определенные системы 3-го порядка, а при экспериментах 9 и 10 - переопределенные системы 4-го и 5-го порядка соответственно. При эксперименте 8 использована переопределенная система 4-го порядка и получено достаточно близкое к точному решение, несмотря на то, что гиперплоскости, порожденные уравнениями П5 и П9, почти параллельны.

Заметим, что при решении этой задачи некомбинированным способом на всех шагах вычислительных процедур функционируют схемы вида (12), а получаемые при их использовании приближения $(x_1(t), x_2(t), x_3(t))^T$ не удовлетворяют ни системе дифференциальных уравнений, ни системе краевых условий. Между тем, при использовании комбинированного подхода в подавляющем большинстве случаев удалось получить точное решение задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений. –Киев: Наукова думка, 1984. – 420 с.
2. **Самойленко А.М., Ронто Н.И.** Численно-аналитические методы исследования решений краевых задач. –Киев: Наукова думка, 1986. – 224 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.06.2000.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ. Ա.Գ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

**ԳԾԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱԿԵՏ ԵԶՐԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ
ՈՒՂՂԱԿԻ ՄԵԹՈԴ**

Առաջարկված է բազմակետ եզրային խնդիրների լուծման արդյունավետ մեթոդ՝ հիմնված դիֆերենցիալ-թեյլորյան ձևափոխությունների վրա: Դիտարկված են մոդելային օրինակներ:

**S.H. SIMONYAN, A.G. AVETISSYAN
DIRECT METHOD OF LINEAR MULTIPPOINT BOUNDARY
PROBLEMS SOLUTION**

An effective method to the solution of multipoint boundary problems using differential-Taylor transforms is proposed. Some model examples are considered.

Б.М. МАМИКОНЯН, Э.Р. МАНУСАДЖЯН, В.В. ШАХБАЗЯН

**ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
РАЗРЫХЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Рассмотрены особенности автоматизации управления технологическим процессом разрыхления и очистки волокнистых материалов. Предложены и исследованы новые конструкции разрыхлительно-очистительных машин, предназначенных для использования в автоматизированной системе.

Ключевые слова: технологический процесс, хлопок, волокно, очистка, разрыхление, автоматизация.

Объектом исследования является технологический процесс разрыхления и очистки (ТПРО) волокнистого материала, в том числе и хлопка машинного сбора. Цель работы - улучшение технико-экономических показателей данного ТП путем автоматизации и оптимизации управления процессом.

Применяющиеся в настоящее время на хлопкопрядильных фабриках разрыхлительно-трепальные агрегаты (РТА) могут обеспечивать очистку хлопкового волокна (ХВ) на уровне 45-58% в зависимости от его засоренности. Однако для хлопка машинного сбора, засоренность которого в 2-3 раза выше засоренности хлопка ручного сбора, необходимо создание РТА, способного эффективно очищать ХВ засоренностью 5% и выше. Существуют два способа повышения эффективности очистки ХВ на РТА:

- увеличение числа разрыхлительно-очистительных машин (РОМ) в составе РТА;
- повышение очистительной способности РОМ, входящих в состав РТА, и осуществление оптимального управления процессом очистки с помощью АСУ.

Настоящее исследование посвящено второму способу.

Как и любой объект управления, ТПРО ХВ характеризуется входными, режимными и выходными параметрами.

К входным параметрам относятся характеристики исходного ХВ: сортность, содержание и характер примесей, длина и толщина волокон. Эти параметры известны для каждой партии ХВ и приведены в документах поставки. При необходимости должна быть создана возможность для их контрольной проверки.

Режимные параметры определяют состояние процесса. К ним относятся скорость подачи (загрузки) ХВ, сила и кратность воздействия рабочего органа по клочку, разводка между колосниками (угол наклона колосников).

Выходные параметры представляют собой количественные и качественные характеристики переработанного волокна и отходов, по которым можно судить о технико-экономических показателях ТПРО ХВ: остаточная засоренность, степень

разрыхленности, степень зажгученности, длина волокон, количество отходов и содержание в них прядомых волокон.

При исследовании ТПРО ХВ определен характер изменения перечисленных параметров, выделены детерминированные параметры, определены законы распределения случайных параметров. Анализ показывает, что все случайные параметры можно аппроксимировать нормальным распределением с соответствующими средними значениями и среднеквадратическими отклонениями. Предварительные исследования выявили, что для осуществления оптимального управления ТПРО ХВ с помощью АСУ необходимо решить следующие основные задачи:

1. Построить достаточно гибкую, адекватную и оптимальной сложности математическую модель ТПРО ХВ.
2. Разработать сопряженный с управляющим компьютером комплекс измерительной аппаратуры с требуемыми метрологическими характеристиками для измерения параметров ТП, а также исполнительные органы для управления режимными параметрами.
3. Выбрать наиболее приемлемый для данного ТП технико-экономический показатель и осуществить его оптимизацию.
4. Построить имитационную модель ТПРО ХВ.

Исследования ТПРО ХВ и существующих конструкций РОМ привели к выводу, что первым шагом на пути автоматизации управления ТПРО ХВ должно быть создание новой конструкции РОМ, обладающей многопараметрууправляемостью. Для обоснования этого вывода рассмотрим вкратце сущность процесса очистки ХВ.

Очистка хлопка состоит из двух последовательных процессов: разрушения связи между волокнами и примесями и отделение примесей от волокон. На РОМ связи между волокнами разрушаются в результате скользящего удара, наносимого непосредственно по хлопку (клочку или бородке) ударным органом (трепалом, ножами или колками барабана), скользящего удара хлопка по острой грани колосников или при комбинации обоих указанных способов. Процесс отделения примесей от волокон заключается в том, что эти усилия прилагаются к клочку, продвигающемуся над колосниковой решеткой, которая удерживает волокна на своей поверхности, в то время, как примеси отделяются от волокон и выпадают между колосниками решетки в расположенную под ними камеру для отходов.

Мерой воздействия ударного органа на клочок или бородку волокнистого материала служит импульс силы, возникающей при ударе. Промышленность использует в основном однобарабанные РОМ (условно названы здесь РОМ1). В этих машинах ударный орган совершает вращательное движение с постоянной скоростью [1]. При этом изменение скорости вращения ударного органа влечет за собой изменение как степени трепания (т.е. числа ударов, приходящихся на единицу массы обрабатываемого материала), так и импульса силы, возникающей при ударе. Такая взаимосвязь степени трепания и импульса силы делает невозможным раздельное управление указанными двумя параметрами процесса, что является главным недостатком РОМ1 с точки зрения автоматизированного управления ТПРО ХВ.

В [2, 3] разработана многобарабанная РОМ (условно названа РОМ2), в которой ударный орган совершает планетарное движение. Она (рис. 1) состоит из главного вала 1 с неподвижно закрепленными на нем торцевыми стенками 2; четырех колковых барабанов 3, установленных равномерно по окружности в торцевых стенках 2; колосниковой решетки 4; камеры для отходов 5; планетарного механизма, состоящего из неподвижного зубчатого колеса 6 и шестерен 7, закрепленных на валах колковых барабанов.

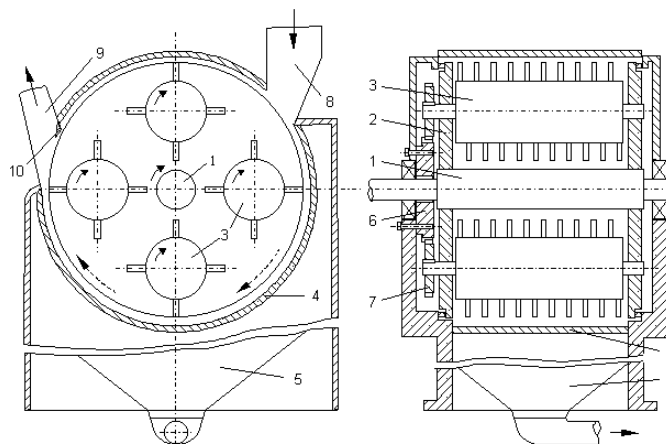


Рис. 1. Упрощенная схема РОМ2

Главный вал 1, вращаясь по часовой стрелке, приводит во вращение торцевые стенки 2 с установленными в них колковыми барабанами 3. При этом шестерни 7, закрепленные на валах колковых барабанов, обкатывая зубчатое колесо 6, приводят во вращение барабаны. В результате колковые барабаны перемещаются относительно колосниковой решетки 4, одновременно вращаясь вокруг своей оси.

Технологический процесс осуществляется следующим образом.

Клочки волокнистого материала в свободном состоянии поступают в приемный патрубок 8, захватываются колками рабочих барабанов 3 и сбрасываются на колосниковую решетку 4. По мере вращения главного вала рабочие барабаны 3 перемещаются над колосниковой решеткой из зоны питания в рабочую зону, где встряхивание и очистка клочков повторяется в течение всего времени продвижения колкового барабана над колосниковой решеткой. Сорные примеси, выделившиеся через колосниковую решетку, попадают в камеру 5 для отходов. Разрыхленный и очищенный хлопок выводится из очистительной камеры через патрубок 9, соединенный пневмопроводом с конденсором, установленным на последующей машине; при этом отбойный нож 10, установленный над выводной щелью, содействует его выводу, препятствуя продвижению клочков в зону питания.

Проведено теоретическое исследование узла очистки РОМ2, получено выражение скорости вершины колка [4]. Благодаря такой конструкции машины в узле очистки колки совершают равнопеременные движения по эпициклоиде; при этом скорость вершины колка синусоидально возрастает до достижения крайнего

положения, при котором вершина колка максимально приближается к колосниковой решетке, после чего начинает убывать.

Проведено экспериментальное исследование очистительной способности опытной стендовой установки РОМ2 в лабораторных условиях. Анализ полученных теоретических и экспериментальных результатов показывает, что конструкция РОМ2 позволяет повысить очистительный эффект хлопка тонковолокнистых сортов машинного сбора в среднем на 12% при средневзвешенной засоренности 3,6% исходного волокна без значительного повышения степени зажатости перерабатываемых клочков. Одновременно снижается выход прядомых волокон в отходы: 2,46% вместо 3,09% в случае РОМ1. При этом очистительный эффект не снижается: в отходах, выделенных на РОМ2, содержится до 60% всего количества кожицы с волокном, содержащейся в исходном волокне, и до 80% незрелых и битых семян, в то время, как в случае РОМ1 эти показатели составляют соответственно 30% и 60%.

Ниже перечислены основные технологические преимущества РОМ2 по сравнению с РОМ1, которыми обусловлено улучшение показателей очистительного процесса.

1. Увеличение числа воздействий на клочок за время одного цикла (один оборот системы).

2. Увеличение эффективности очистки за счет увеличения угла падения клочка на колосниковую решетку (за счет увеличения угла направления удара относительно колосниковой решетки).

3. Уменьшение вероятности послеударного захвата клочка ударным органом (до удара скорость выше, а после удара – ниже, чем у прототипа).

4. В РОМ1 имеет место постоянство зазора (разводок) δ_0 между ударным органом и колосниковой решеткой. В РОМ2 этот зазор меняется от $\delta_{\min} = \delta_0$ до $\delta_{\max} = l + \delta_0$, где l – длина ударного органа. В результате возникает возможность транспортного запаздывания клочков (увеличение времени пребывания клочка в зоне воздействия, т.е. длительности процесса воздействия, без уменьшения силы удара).

С точки зрения поставленной в работе цели – автоматизации управления ТПРО, наряду с вышеуказанными преимуществами, РОМ2 также имеет недостаток: наличие жесткой кинематической связи между временем воздействия и силой ударного воздействия, т.е. невозможность их отдельного (независимого) регулирования.

С целью устранения этого недостатка разработана усовершенствованная конструкция РОМ (условно названа РОМ3), в которой разделены приводы несущих стенок 2 и колковых барабанов 3 (рис. 2). Это позволяет сохранить в РОМ3 все преимущества РОМ2 и получить дополнительную возможность отдельного регулирования длительности воздействия и силы ударного воздействия в широких пределах путем изменения скоростей вращения главного несущего вала 1 (n_1) и шкива 11 привода колковых барабанов (n_3).

Количественная зависимость скорости вращения n_2 колкового барабана от скоростей n_1 и n_3 определяется выражением

$$n_2 = k(n_1 \pm n_3), \quad (1)$$

где $k = n_3/n_1$ – передаточное отношение между зубчатым колесом 6 и шестерней 7, а знаки перед n_3 соответствуют согласному и встречному направлениям вращения n_3 относительно n_1 . При этом в случае знака (+) увеличивается число воздействий ударного органа на клочок по сравнению с РОМ2, а в случае знака (–) уменьшается, поэтому в настоящей работе выражение (1) будет рассматриваться со знаком (+).

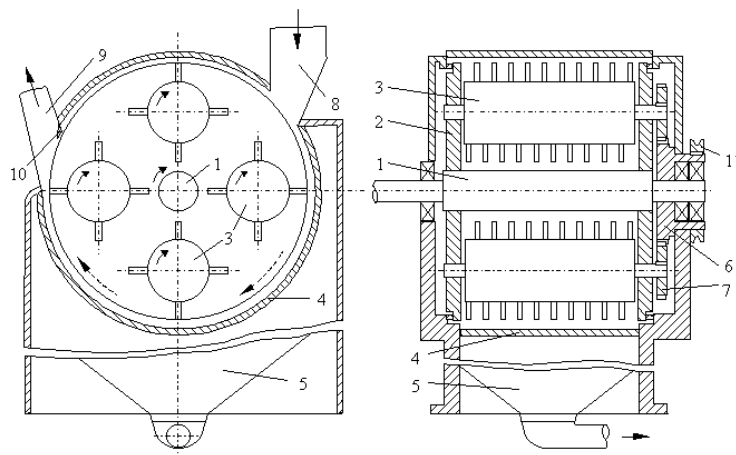


Рис. 2. Упрощенная схема РОМЗ

Проведено количественное сравнение очистительных возможностей рассмотренных трех типов машин. В качестве критерия сравнения выбрана величина

$$Q = V\tau, \quad (2)$$

которая условно названа **показателем очистительной способности** (ПОС) машины, где V – скорость рабочего органа при ударе по клочку; τ – время пребывания клочка в зоне воздействия, т.е. длительность процесса воздействия. Выбор выражения (2) обусловлен следующими соображениями. Как было указано выше, мерой воздействия ударного органа на клочок служит импульс силы, который при постоянстве массы ударного органа определяется скоростью V удара. Степень же очистки определяется числом ударов, приходящихся на единицу массы обрабатываемого материала, что определяется временем τ пребывания клочка в зоне воздействия.

1. Для РОМ1: если обозначить через R радиус окружности, описываемой конечной точкой ударного органа при вращении, через L – длину дуги рабочей зоны этой окружности, и принять в выражении скорости значение коэффициента размерности равным единице, то получится: $V_1 = n_1 R$; $\tau_1 = L/V_1$. Следовательно,

$$Q_1 = V_1 \tau_1 = L = \text{const}.$$

2. Для РОМ2: $V_2 = n_1 R + n_2 r = n_1 (R + kr)$; $\tau_2 = L/n_1 R$.
Следовательно,

$$Q_2 = V_2 \tau_2 = (1 + h_2) Q_1,$$

где $h_2 = km$; $m = r/R$; r – радиус окружности, описываемой конечной точкой ударного органа РОМ2 при вращении колкового барабана вокруг своей оси.

3. Для РОМ3: $V_3 = n_1 R + n_2 r = n_1 R + k(n_1 + n_3)r$; $\tau_3 = L/n_1 R$.

Следовательно,

$$Q_3 = V_3 \tau_3 = (1 + h_3) Q_1,$$

где $h_3 = (1 + k)km$.

Полученные выражения показывают, что $Q_2 > Q_1$, $Q_3 > Q_1$ и $Q_3 > Q_2$ при любых значениях параметров машин. Построенные графики зависимостей h_2 и h_3 от параметров k и m (рис. 3) позволяют оценить степень повышения ПОС РОМ2 и РОМ3 по сравнению с РОМ1 и выбрать необходимые значения параметров с целью обеспечения требуемого значения ПОС.

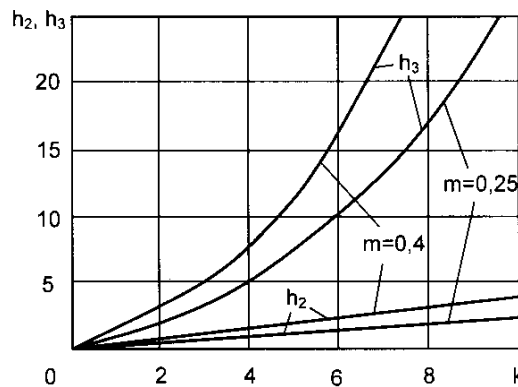


Рис. 3. К сравнительной оценке ПОС разрыхлительно-очистительных машин

Таким образом, в основу разрабатываемой АСУ ТПРО ХВ должна быть положена машина РОМ3, обладающая как более высоким значением ПОС, так и дополнительным управляемым параметром (n_3), что облегчает реализацию оптимального управления процессом.

Предварительные исследования ТПРО ХВ в качестве объекта управления показали, что при построении математической модели процесса можно использовать методику и подходы, изложенные в [5] – построить математическую модель методом группового учета аргументов, что позволит создать иерархическую модель оптимальной сложности при небольшой статистической выборке. В основу разработки измерительной и исполнительной аппаратуры могут быть положены принципы, изложенные в [6, 7], с широким использованием новейших микропроцессоров и метода цифровой коррекции погрешностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Широков В.П., Владимиров Б.М., Полякова Д.А.** и др. Справочник по хлопкопрядению. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1985. – 472 с.
2. **Манусаджян Э.Р.** Многобарабанная разрыхлительно- очистительная машина с системой изменения интенсивности разрыхления и очистки для тонковолокнистого хлопка /ЦНИИТЭИЛегпром, р.с. «Текстильная промышленность». – 1983. - № 11. – С. 1-5.
3. **Манусаджян Э.Р., Гончаров В.Г., Дамский Д.А.** Повышение эффективности переработки тонковолокнистого хлопка на машинах разрыхлительно -трепального агрегата / ЦНИИТЭИЛегпром, экспресс-информация, серия «Текстильная промышленность». – 1984. - Вып. 7. – 28 с.
4. **Манусаджян Э.Р.** Повышение эффективности очистки тонковолокнистого хлопка машинного сбора на очистителях с колковыми и ножевыми барабанами: Автореферат дис. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук / МТИ. – М., 1985. – 26 с.
5. **Кюрегян С.Г., Мамиконян Б.М., Абгарян С.В., Баласанян С.Ш.** Разработка автоматизированной системы управления флотационным процессом обогащения руды / Докл. Межд. семинара «Конверсионный потенциал Армении и программы МНТЦ». Ч. II. – Ереван, 2000. – С. 181-184.
6. **Мамиконян Б.М., Мамиконян Х.Б.** Особенности применения интегральных микросхем в преобразователях параметров датчиков // Полупроводниковая микроэлектроника: Мат. 2-й Национ. конф. – Ереван: Изд-во ЕГУ, 1999. – С. 246-249.
7. **Мамиконян Б.М., Мамиконян Х.Б.** Микропроцессорное устройство для обработки и передачи измерительной информации / Proceedings of the CSIT Conference. – Yerevan, 1999. – S. 524-526.

ГОК ГИУА. Материал поступил в редакцию 07.09.2000.

Բ.Մ. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ, Է.Ռ. ՄԱՆՈՒՍԱՋՅԱՆ, Վ.Վ. ՇԱՀԲԱՋՅԱՆ

ՄԱՆՐԱԹԵԼԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԳԶՄԱՆ ԵՎ ՄԱՔՐՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԻՄՆԱՀԱՐՑԵՐԸ

Դիտարկված են մանրաթելային նյութերի զգման և մաքրման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման ավտոմատացման առանձնահատկությունները, առաջարկված և հետազոտված են զգման-մաքրման մեքենաների նոր կառուցվածքներ, որոնք նախատեսված են ավտոմատացված համակարգերում օգտագործելու համար:

B.M. MAMIKONYAN, ED.R. MANUSAJYAN, V.V. SHAHBAZIAN

COMPUTER-AIDED CONTROL SYSTEM DEVELOPMENT PROBLEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR LOOSENING AND REFINING FIBROUS MATERIALS

Computer-aided control characteristics of a technological process for loosening and refining fibrous materials are viewed. New loosening and refining machine constructions designated for use in a computer-aided system are studied and proposed.

Н.Л. КАЗАРЯН, В.В. ГЕВОРГЯН

ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МНОЖЕСТВО ПЛОСКИХ ИНВЕРСИЙ
ОТНОСИТЕЛЬНО СЕЧЕНИЙ КОНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ВРАЩЕНИЯ

Излагается метод пространственного преобразования, основанного на множестве плоских инверсий, индуцируемых расслоением 3D пространства на однопараметрическое множество плоскостей, перпендикулярных заданной прямой J . Описываются результаты исследования образов, полученных погружением некоторой прямой в пространство преобразования. Рассмотрены случаи частного и общего расположения прямой - образа относительно элементов определителя преобразования. Выведены аналитическая формула преобразования и аналитические выражения линий - образов, полученных в процессе преобразования. Разработан пакет прикладных программ, осуществляющий данное преобразование и выводящий результаты в виде графических моделей-рисунков и чертежей.

Ключевые слова: нелинейное преобразование, плоская инверсия, кубическое преобразование, кривые третьего порядка.

Преобразование 3D пространства на основе однопараметрических множеств плоских инверсий (ОПИ) задается линией L - множеством центров окружностей инверсии, лежащих в ∞^1 плоскостей Ω_i , линией J , точки пересечения которых с плоскостями Ω_i определяют радиусы окружностей инверсий [1-2].

Рассмотрим случай, когда линии L и J суть две пересекающиеся прямые. Тогда преобразование 3D пространства осуществится относительно конической поверхности. Назовем его преобразованием однопараметрического множества

плоских инверсий относительно конической поверхности (ОПИ.КП). Оно задается прямой J и величиной угла α между прямыми L и J .

Примем ось J конической поверхности совпадающей с осью Z , а вершину поверхности совместим с началом O прямоугольных координат (рис. 1).

Через произвольную точку A_i пространства проходит единственная плоскость Ω_i , перпендикулярная оси J и пересекающая ее в точке O_i [1]. Линией пересечения конической поверхности и плоскости Ω_i является окружность c_i с радиусом R_i и с центром в точке O_i . Преобразование в плоскости Ω_i осуществляется относительно окружности c_i ,

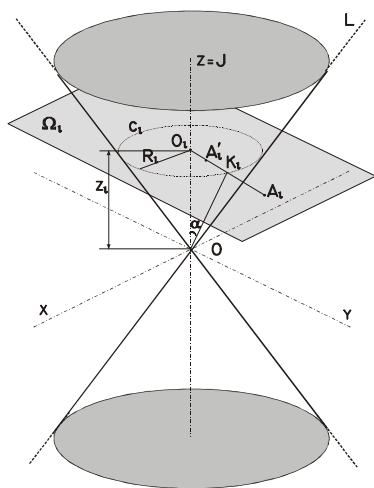


Рис. 1

которая и является окружностью инверсии. Тогда точка A_i преобразуется в точку A' так, что $O_i A_i \cdot O_i A'_i = R_i^2$.

В каждой плоскости Ω_i сохраняются все свойства инверсии.

В отличие от преобразования ОПИ.ЦП [1], где радиус R_i инверсии – постоянная величина, в преобразовании ОПИ.КП R_i есть функция от величины угла α и координаты z .

Отрезок $O_i A_i$ пересекает коническую поверхность в точке K_i . Из прямоугольного треугольника $\Delta O O_i K_i$ имеем

$$O_i K_i / O_i O = \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где $O_i K_i$ – радиус R_i окружности σ_i ; $O_i O$ – координата z_i плоскости Ω_i .

Следовательно,

$$R_i = z_i \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Подставив значение R из (2) в формулу преобразования ОПИ.ЦП [1]:

$$x' = \frac{x R^2}{x^2 + y^2}, \quad y' = \frac{y R^2}{x^2 + y^2}, \quad z' = z, \quad (3)$$

получим формулу преобразования ОПИ.КП:

$$x' = \frac{x z^2}{x^2 + y^2} \operatorname{tg}^2 \alpha, \quad y' = \frac{y z^2}{x^2 + y^2} \operatorname{tg}^2 \alpha, \quad z' = z. \quad (4)$$

Из определения преобразования следует, что преобразование ОПИ.КП является точечным, непрерывным, взаимно-однозначным, т.е. сохраняет размерность фигур.

Рассмотрим преобразование прямой в ОПИ.КП. Как и при преобразовании ОПИ.ЦП, геометрическая форма и положение образа в 3D зависит от взаимного положения прообраза и оси J .

Прямые, подлежащие преобразованию, классифицируем следующим образом:

- 1) прямая параллельна оси J ;
- 2) прямая пересекает ось J ;
- 3) прямая и ось J скрещивающиеся.

1. Прямая m параллельна оси J (рис. 2) и определена системой уравнений

$$\begin{cases} x = c, \\ y = d. \end{cases} \quad (5)$$

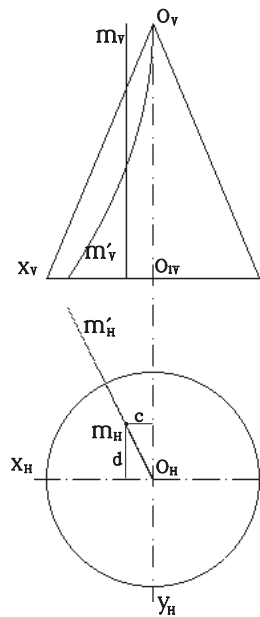


Рис. 2

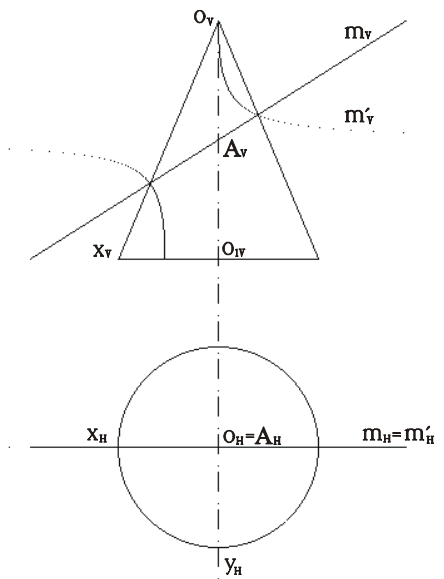


Рис. 3

Подставляя формулы преобразования (4) в (5), получим аналитическое выражение линии m :

$$\begin{cases} x' = \frac{z'^2 c}{c^2 + d^2} \operatorname{tg}^2 \alpha, \\ y' = \frac{z'^2 d}{c^2 + d^2} \operatorname{tg}^2 \alpha, \end{cases} \quad (6)$$

которая представляет собой параболу с вершиной в точке O (начало координат) и с осью симметрии $\begin{cases} x = cy/d, \\ z = 0. \end{cases}$

Ось симметрии параболы принадлежит плоскости (xoy) и пересекает ось J в точке O .

2. Прямая m пересекает ось J под углом, отличным от 90° (рис.3), и определена системой уравнений

$$\begin{cases} z = ax + c, \\ y = bx. \end{cases} \quad (7)$$

Подставляя формулы преобразования (4) в (7), получим аналитическое выражение линии m' :

$$\begin{cases} x' = \frac{az'^2}{(z'-c)(1+b^2)} \operatorname{tg}^2 \alpha, \\ y' = bx', \end{cases} \quad (8)$$

которая представляет собой кривую второго порядка – гиперболу, лежащую в плоскости $y=bx$.

Если прямая m

$$\begin{cases} z = ax, \\ y = bx \end{cases} \quad (9)$$

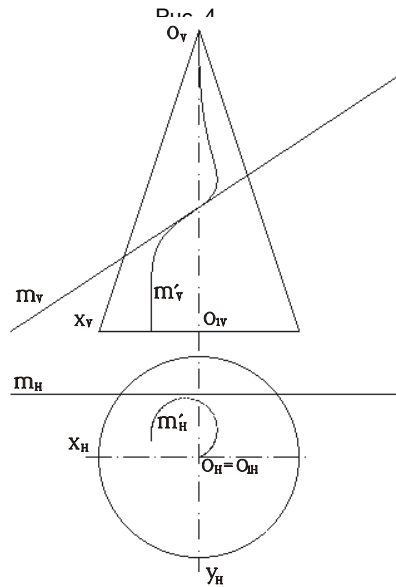
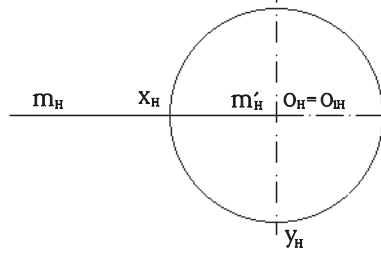
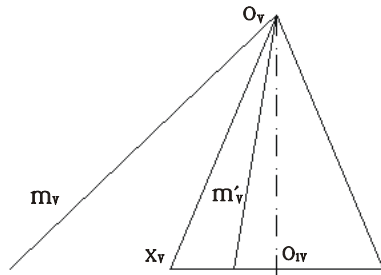


Рис. 5

пересекает ось J в точке O вершины конической поверхности (рис. 4), то ее образом является прямая m' , определяемая системой уравнений

$$\begin{cases} x' = \frac{z' a}{1 + b^2} \operatorname{tg}^2 \alpha, \\ y' = bx'. \end{cases} \quad (10)$$

В частном случае, если прямая m пересекает ось J под углом 90° в точке, отличной от O , или совпадает с одной из образующей конической поверхности, то ее образом является прямая m' , совпадающая с прообразом m (это свойство характерно и для преобразования ОПИ.ЦП [1]).

3. Прямая m образует с осью J пару скрещивающихся прямых (рис.5) и определена системой уравнений

$$\begin{cases} z = ax + c, \\ y = bx + d. \end{cases} \quad (11)$$

Подставляя формулы преобразования (4) в (11), получим аналитическое выражение линии m' :

$$\begin{cases} x' = \frac{z'^2 (z' - c)}{(z' - c)^2 (1 + b^2) + 2abd(z' - c) + a^2 d^2} \operatorname{tg}^2 \alpha, \\ x'^2 + y'^2 = \frac{z'^2 (y' - x' b)}{d} \operatorname{tg}^2 \alpha. \end{cases} \quad (12)$$

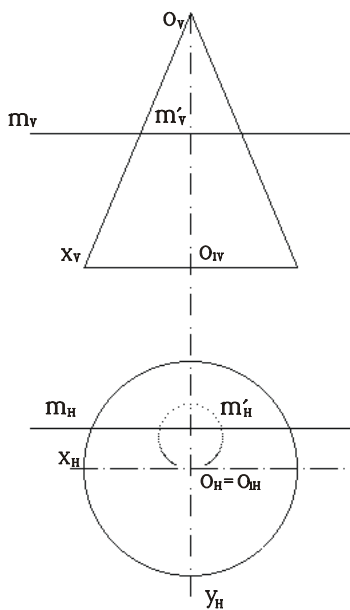


Рис. 6

Линия m' представляет собой пространственную кривую третьего порядка.

В частном случае, если прямая m перпендикулярна оси J (рис.6), ее образом является окружность m' , плоскость которой перпендикулярна оси J .

Таким образом, в преобразовании ОПИ.КП прямая в общем случае преобразуется в пространственную кривую третьего порядка, пересекающую ось J в вершине конической поверхности.

Разработан пакет прикладных программ, работающий в среде Microsoft Windows`98. Результаты работы пакета использованы в исследовании образов прямых в ОПИ.КП, а также при получении чертежей, представленных в настоящей статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Казарян Н. Л.** Нелинейное преобразование пространства ОПИ.ЦП применительно к моделированию геометрических форм // Информационные технологии и управление // ИА Армении. - 1999. - № 2. - С. 102-113.
2. **Казарян Н. Л.** Моделирование циклических поверхностей на основе нелинейного преобразования пространства ОПИ.ЦП // Ежеквартальный реферативный сборник.-2000. - № 1. - Деп. в АрмНИИНТИ, № 13 - Ар00.
3. **Казарян Н. Л., Степанян А. Н., Арамян Л. М.** Нелинейное преобразование пространства как множество однопараметрических инверсий // Ежеквартальный реферативный сборник.-1999. - № 4. - Деп. в АрмНИИНТИ, № 66 - Ар99.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.04.2001.

Ն. Լ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Վ. Վ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

**ՊՏՏՄԱՆ ԿՈՆԱԿԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՀԱՏՈՒՅԹՆԵՐԻ ՆԿԱՏՄԱՍԲ ՀԱՐԹ
ԻՆՎԵՐՍԻԱՆԵՐԻ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԲԱԶՄՈՒԹՅՈՒՆ**

Ներկայացված է առաջադրված J ուղղին ուղղահայաց հարթությունների միապարամետրական բազմությամբ շերտավորվող 3D տարածության ձևափոխություն, որն առաջանում է բազմության ամեն մի հարթության մեջ կոնական մակերևույթի համապատասխան հատույթի՝ շրջանագծի նկատմամբ ինվերսիայի ձևափոխությունից: Ուսումնասիրված և ներկայացված են տարածության կամայական ուղղի կերպարները՝ կախված J առանցքի նկատմամբ նրա գրաված դիրքից: Մշակված են Windows 98-ի միջավայրում աշխատող ձևափոխությունների կիրառական ծրագրերի փաթեթները:

N. L. GHAZARYAN, V. V. GEVORGYAN

**SINGLE PARAMETER SET OF FLAT INVERSIONS RELATIVE TO
ROTATING CONICAL CROSS-SECTIONS**

A transformation method of layering 3D spaces by J line perpendicular to a set of single parameter planes is presented. This transformation results in a corresponding conical surface in each of the plane due to the inversion with respect to the transformation. A study of the images obtained from the positions of random lines with respect to the J axis is also presented. Applications software for the transformation processes has been developed in programs based on Windows 98.

М.Ю. САРКИСЯНЦ

**АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ
МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Рассмотрены линейные модели многомерных динамических систем. Представлен алгоритм построения приближенных моделей на основе теории Я. Виллемса.

Ключевые слова: динамическая система, полиномиальная матрица, модель, сложность, несогласованность, алгоритм.

1. Основные положения теории моделирования многомерных динамических систем. В [1] рассмотрены: линейные динамические системы; детерминированный подход к теории систем; подход к проблеме приближенного моделирования систем. Основным объектом исследования являются авторегрессивные (AR)-системы, описываемые системой (AR)-уравнений, имеющих следующий вид:

$$R_1 w(t+1) + R_{1-1} w(t+1-1) + \dots + R_0 w(t) = 0. \quad (1)$$

Соотношение (1) в компактной форме имеет вид

$$R(s) w = 0, \quad w = (w_1, w_2, \dots, w_q),$$

где w - векторные временные ряды (экспериментальные данные); s - оператор левого сдвига, $sw(t) = w(t+1)$.

Полиномиальная матрица порядка q определяется формулой

$$R(s) = R_1 s^1 + R_{1-1} s^{1-1} + \dots + R_0.$$

Полиномиальная матрица R существует только в том случае, когда система (1) линейна, стационарна и полна (конечно-мерна).

Уравнение (1) определяет общую авторегрессивную модель. При построении приближенной модели возникает сложность и несогласованность между наблюдаемым временным рядом и моделью.

Сложность $c_t(w)$, $t=1,2,\dots$, рассматривается как понятие, обратное силе модели, и служит количественной мерой, выражающей, насколько модель сильна. Несогласованность между наблюдаемым временным рядом и моделью $\varepsilon(Z, M)$ показывает, насколько модель M далека от измерений Z .

Нежелательные свойства модели - большая сложность и большая несогласованность [1]. Модель с большой сложностью дает объяснения наблюдениям более широко, а модель, для которой велика несогласованность, - скудные объяснения. Наилучшим вариантом является низкая сложность и высокая точность.

Понятия сложности и несогласованности применяются в нижеизложенном методе приближенного моделирования. При этом фиксируется максимально допустимая сложность, обозначаемая через $c_{\text{доп}}$. Это сводится к заданию числа (AR)-уравнений и их запаздываний и поиску приближенной модели с максимальной допустимой сложностью.

В классе моделей M для измерения Z оптимальная приближенная модель обозначается через M^* , если удовлетворяются следующие условия:

$$c(M^*) \leq c^{\text{доп}}, \quad (2)$$

$$\{M^* \in M, c(M) \leq c^{\text{доп}}\} \Rightarrow \{\varepsilon(Z, M^*) \leq \varepsilon(Z, M)\}, \quad (3)$$

$$\{M^* \in M, c(M) \leq c^{\text{доп}}, \varepsilon(Z, M) = \varepsilon(Z, M^*)\} \Rightarrow \{c(M^*) \leq c(M)\}. \quad (4)$$

Как видно, оптимальная приближенная модель обладает некоторым уровнем сложности (2) и минимальной несогласованностью (3) внутри данного класса моделей. Однако, если имеется много моделей, достигающих указанного минимума, то среди них логично выбрать модель с наименьшей сложностью (4).

На основе этого метода разработан алгоритм построения приближенных моделей. В качестве экспериментальных данных принят q -мерный временной ряд.

До представления алгоритма вводится матрица ковариации $\Pi(w)$ временного ряда w , которая имеет следующий вид:

$$\Pi(w) = \begin{pmatrix} |w\rangle\langle w| & |w\rangle\langle sw| & |w\rangle\langle s^2w| & \dots \\ |sw\rangle\langle w| & |sw\rangle\langle sw| & |sw\rangle\langle s^2w| & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ |s^t w\rangle\langle w| & |s^t w\rangle\langle sw| & |s^t w\rangle\langle s^2w| & \dots \end{pmatrix}$$

Матрица $\Pi(w)$ - вещественная; $q \times q$ - мерная матрица.

В алгоритме использованы ограничения этой матрицы, обозначаемые через $\Pi_t(w)$ и состоящие из всех блочных строк с номерами $0, 1, \dots, t$ и всех блочных столбцов с номерами $0, 1, \dots, t$ матрицы $\Pi(w)$.

Вычисляются сингулярные значения [2] последовательных ограниченных корреляционных матриц $\Pi_t(w)$, $t=0, 1, \dots$, и сингулярные векторы для решения вопроса о том, какое количество и каких (AR)-соотношений с заданным запаздыванием должно выполняться на каждом этапе. Главная часть алгоритма является рекурсивной. Алгоритм работает с любыми исходными данными w .

2. Алгоритм построения моделей. Ввод исходных данных: $w(1), w(2), \dots, w(q)$

и $c^{\text{доп}} = (c_0^{\text{доп}}, c_1^{\text{доп}}, \dots, c_t^{\text{доп}})$ $0 < c_t^{\text{доп}} < 1$,

$d_t^{\text{доп}} := q(t+1) c_t^{\text{доп}}$,

$d_t := \min: (d_t^{\text{доп}}, d_{t-1} + (d_{t-1} - d_{t-2})), d_{-1}=0, d_{-2}=-q$.

С помощью d по формуле:

$$k_t := \max(0, (d_{t-1} - d_{t-2}) - (d_t^{\text{доп}} - d_{t-1})) = d_{t-1} - d_{t-2} - (d_t - d_{t-1}).$$

Получение функции $k: Z_+ \Rightarrow \{0, 1, \dots, q\}$.

Рекурсивная часть - вычисление (AR)-соотношений приближенной модели.

Перечисление переменных:

$\Pi_t(w)$ - ограниченная матрица ковариации исходных данных порядка t ;

$n_0^t, n_1^t, \dots, n_t^t$ - число (AR)-соотношений порядка $0, 1, \dots, t$, учитываемых моделью на этапе с номером t ($n_i^t = k_t, \forall 0 \leq i < t$);

$r_{i,j}^t(s) \in R_i^{l_{qj}}[s]$, $i = 0, 1, \dots, t$, $j \in n_i^t$ - (AR) - соотношения, учитываемые приближенной моделью на этапе с номером t ;

$N_t \in R^{q(t+1)}$ - линейная оболочка указанных (AR)-соотношений и соотношений, полученных в результате сдвига;

m_t - размерность пространства N_t ;

$m_t = \sum (t-i+1) n_i^t, i = 0, 1, \dots, t$;

$f_1, f_2, \dots, f_{mt} \in \mathbf{R}^{q(t+1)}$ - ортогональный базис для пространства N_t .

Шаг 1. Вычисление матрицы $\Pi_0(w) = |w\rangle\langle w|$, ее сингулярных значений: $\sigma_1^0, \sigma_2^0 \geq \dots \geq \sigma_{r_0}^0 > 0$ ($r_0 = q$).

k_0 определяется так: если $q c_0^{\text{доп.}} \geq r_0$, то $k_0 = r_0$. В противном случае k_0 выбирают так, что $\sigma_{k_0}^0 > \sigma_{k_0+1}^0 = \sigma_{q c_0^{\text{доп.}}+1}^0$ ($k_0 = q c_0^{\text{доп.}}$).

Шаг 2. Вычисление левых сингулярных векторов матрицы $\Pi_0(w)$: $u_{k_0+1}, u_{k_0+2}, \dots, u_q \in \mathbf{R}^q$.

$r_{0,j}^0 = u_{k_0+j}, f_j = r_{0,j}^0, f_j \in \mathbf{R}^q, j \in m_0$.

Шаг 3. Последующее пошаговое вычисление.

Вычисление матрицы $\Pi_t(w)$ из предыдущей матрицы;

Определение $p_t = \sum (t+1-i) k_i, i=0, \dots, t-1$.

Шаг 4. Определение сингулярных значений матриц $\Pi_t(w)$:

$\sigma_1^t \geq \sigma_2^t \geq \dots \geq \sigma_{n_t}^t > 0$,

$r_t \leq q(t+1) - p_t$.

Выбор чисел d_t : если $q(t+1) c_t^{\text{доп.}} \geq r_t$, то $d_t = r_t$, в противном случае d_t выбираем так, что $\sigma_{d_t}^t > \sigma_{d_t+1}^t = \sigma_{q(t+1) c_t^{\text{доп.}}+1}^t$, полагаем, что $n_t = q(t+1) - d_t - p_t, n_t = k_t$.

Шаг 5. Вычисление левых сингулярных векторов матриц $\Pi_t(w)$, соответствующих ее наименьшим сингулярным значениям:

$u_{d_t+1}, u_{d_t+2}, \dots, u_{d_t+n_t}, f_1, f_2, \dots, f_{p_t} \in \mathbf{R}^{q(t+1)}$,

$r_{i,j}^t(s) = u_{d_t+j}, r_{i,j}^t \in \mathbf{R}^{k \times q}[s]$,

$m_t = p_t + n_t, f_{p_t+j} = u_{d_t+j}, j \in n_t$.

Алгоритм завершен.

Результатом проведенного вычисления является набор полиномов:

$r_{i,j}^t(s) \in \mathbf{R}^{k \times q}[s], i=0, 1, \dots, t, j \in n_i; M^* = M^*(R^*)$ с t , равным этапу, на котором алгоритм завершился.

Модель M^* будет определена всегда, а матрица R^* - получена за конечное число шагов. M^* является оптимальной приближенной моделью. Конечность алгоритма понимается в том смысле, что рекурсивный шаг вычисления вызывается самое большее q раз, и каждый вызов ведет к увеличению общего числа (AR) - соотношений $p_0^t + p_1^t + \dots + p_t^t$ по крайней мере на единицу. В общем случае алгоритм будет оканчиваться на этапе t , если

$$d_{t+1} - d_t = \lim_{t \rightarrow \infty} (d_{t'+1} - d_{t'}) = \min_{t'} (d_{t'+1} - d_{t'}).$$

Сходимость алгоритма вытекает как специальный случай из общей теории, разработанной в [1], откуда, в частности, следует при заданных w и $c^{\text{доп.}}$ и вычисленной M^* модели:

- $c(M^*) \leq c^{\text{доп.}}$;

в общем случае для $\Pi(w)$:

- $\{M \in L, c(M) \leq c^{\text{доп.}}\} \Rightarrow \{\varepsilon(w, M^*) \leq \varepsilon(w, M)\}$;

- $\{M \in L, c(M) \leq c^{\text{доп.}}, \varepsilon(w, M) = \varepsilon(w, M^*)\} \Rightarrow \{M = M^*\}$;

- $c_t(M^*) = d_t / q(t+1), t \in \mathbf{Z}_+$.

Вышеприведенный алгоритм для общей последовательности исходных данных порождает оптимально приближенную (AR)- модель со сложностью, ограниченной $c^{\text{доп.}}$.

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

- приведен алгоритм, допускающий практическую реализацию;
- разработана эффективная компьютерная программа, реализующая этот алгоритм;
- на основе алгоритма решены модельные задачи, которые из-за ограничения в объеме не приведены;
- алгоритм позволяет строить конкретные модели как технических, так и социально-экономических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виллемс Я.К.** От временного ряда к линейной системе // Теория систем, математические методы и моделирование: Сб. ст.- М.: Мир, 1989.- 389 с.
2. **Райс Дж.** Матричные вычисления и математическое обеспечение/ Пер. с англ.- М.: Мир, 1984.- 264 с.
3. **Карслян Э.В.,** Современные методы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза многосвязных САУ: Учебное пособие / ГИУА. - Ереван, 1991.- 121 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 3.04.2000.

Մ. ՅՈՒ. ՍԱՐԳՍՅԱՆՑ

ԲԱԶՄԱԶՈՓ ԴԻՆԱՄԻԿ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԳԾԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ

Դիտարկված են բազմաչափ դինամիկ համակարգերի գծային մոդելները: Ներկայացված է մոտավոր մոդելների կառուցման ալգորիթմը Յան Վիլլեմսի տեսության հիման վրա:

M. YU. SARKISANTS

LINEAR MODEL CONSTRUCTION ALGORITHM OF MULTIDIMENSIONAL DYNAMIC SYSTEMS

Linear models of multidimensional dynamic systems are considered. The approximate model construction algorithm on the basis of J. Willems theory is presented.

Ф. П. ГРИГОРЯН

**СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ С ЖЕЛАЕНЫМ СПЕКТРОМ В
СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Рассматривается задача построения скалярного управления с желаемым спектром в системе автоматического регулирования (САР) при условиях, когда числа желаемого спектра различны между собой и не совпадают с нулем и особыми точками передаточной функции регулятора, а также не совпадают хотя бы с одним из собственных чисел матрицы системы. Полученные результаты использованы при решении задачи управления космических аппаратов в случае их сближения при перехвате цели на заданное расстояние.

Ключевые слова: синтез управления, желаемый спектр, матрица управляемости, импульсная переходная функция, передаточная функция.

В ряде работ [1, 2, 4] рассмотрена задача: для вполне управляемой системы $dx/dt = Ax + hu$ построить управление $u = bx$ (A, h, u, b – матрицы размерностью соответственно $n \times n, n \times m, m \times 1, m \times n$, а для скалярного управления – соответственно $n \times n, n \times 1, 1 \times 1, 1 \times n$) так, чтобы замкнутая система $dx/dt = (A + hb)x$ имела наперед заданный спектр $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, т. е. чтобы матрица $(A + hb)$ была подобна диагональной матрице с заданными диагональными элементами.

В настоящей работе рассматривается задача построения скалярного управления с желаемым спектром в стационарной САР.

Постановка задачи. Рассмотрим следующую стационарную управляемую систему:

$$\begin{cases} dx/dt = Ax + hu, \\ u(t) = \int_{-\infty}^t g(t-t')v(t')dt', \\ v(t) = bx(t), \end{cases}$$

$$dx/dt = Ax + h \int_{-\infty}^t g(t-t')bx(t')dt', \quad (1)$$

или

где $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))'$ – столбцовая матрица размерностью $n \times 1$, вектор состояния процесса; $v(t)$ – скалярный входной сигнал регулятора; $g(t-t')$ – скалярная импульсная переходная функция регулятора; $u(t)$ – скалярное управляющее воздействие, рассматриваемое как выходной сигнал регулятора; $A = (a_{ij})$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$); $h = (h_1, h_2, \dots, h_n)'$; $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ (штрих на матрице здесь и в дальнейшем означает, что матрица транспонированная).

Требуется построить $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ так, чтобы решение системы (1) имело вид

$$x = \bar{K}y = \sum_{i=1}^n \bar{K}_i y_i, \quad (2)$$

$$dy_i / dt = \lambda_i y_i \quad (i = \overline{1, n}), \quad (3)$$

где $\overline{K} = (\overline{K}_1, \overline{K}_2, \dots, \overline{K}_n)$ - некоторая невырожденная матрица, подлежащая отысканию; λ_i ($i = \overline{1, n}$) - наперед заданные желаемые числа, удовлетворяющие условиям:

- 1) $\lambda_i \neq \lambda_j, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n$;
- 2) λ_i не совпадают с нулем и особыми точками передаточной функции регулятора;
- 3) λ_i не равны хотя бы одному из собственных чисел матрицы A .

Решение задачи. Пусть ранг матрицы управляемости $S = (h, Ah, \dots, A^{n-1}h)$ равен n . Выполнив в системе (1) преобразование

$$x = Sz, \quad (4)$$

получим [4]

$$dz/dt = A_0 z + h_0 \int_{-\infty}^t g(t-t') qz(t') dt', \quad (5)$$

где

$$A_0 = S^{-1}AS = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & -\rho_n \\ 1 & 0 & \dots & 0 & -\rho_{n-1} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & -\rho_{n-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -\rho_1 \end{bmatrix}, \quad h_0 = S^{-1}h = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$A^n h = -\rho_n h - \rho_{n-1} Ah - \dots - \rho_1 A^{n-1} h, \quad q = bS = (q_1, q_2, \dots, q_n).$$

Замена переменных в (5)

$$z = Ky = \sum_{i=1}^n K_i y_i, \quad (7)$$

где y_i ($i=1, 2, \dots, n$) есть решение (3):

$$y_i = C_i \exp(\lambda_i t) \quad (i = \overline{1, n}), \quad (8)$$

$K = (K_1, K_2, \dots, K_n)$ - неизвестная матрица, с учетом (3) приводит к виду

$$\sum_{i=1}^n K_i \lambda_i y_i = A_0 \sum_{i=1}^n K_i y_i + h_0 \int_{-\infty}^t g(t-t') q \sum_{i=1}^n K_i y_i(t') dt'.$$

Выбор K_i и q ограничим требованием равенств [1]

$$K_i \lambda_i y_i = A_0 K_i y_i + h_0 \int_{-\infty}^t g(t-t') q K_i y_i(t') dt' \quad (i = \overline{1, n}). \quad (9)$$

Как следует из (8) и (9),

$$K_i \lambda_i \exp(\lambda_i t) = A_0 K_i C_i \exp(\lambda_i t) + h_0 \int_{-\infty}^t g(t-t') q C_i \exp(\lambda_i t') dt',$$

отсюда

$$K_i \lambda_i = A_0 K_i + h_0 \int_{-\infty}^t g(t-t') q K_i \exp[\lambda_i(t-t')] dt' \quad (i = \overline{1, n}). \quad (10)$$

Замена переменной $t - t' = s$ приводит уравнение (10) к виду

$$K_i \lambda_i = A_0 K_i + h_0 \int_0^{\infty} g(s) \exp(-\lambda_i s) ds q K_i \quad (i = \overline{1, n}).$$

В результате имеем

$$(A_0 + h_0 W(\lambda_i) q - \lambda_i E) K_i = 0 \quad (i = \overline{1, n})$$

или

$$(A_0 + h_0 W(\lambda_i) q) K_i = \lambda_i K_i, \quad (11)$$

где $W(\lambda_i) = \int_0^{\infty} g(s) \exp(-\lambda_i s) ds$ - передаточная функция регулятора

при $\lambda = \lambda_i$ ($i = \overline{1, n}$) [1].

Из (11) можно заключить, что λ_i ($i = \overline{1, n}$) является собственным значением

матрицы

$$U^{(i)} = U(\lambda_i) = A_0 + h_0 W(\lambda_i) q \quad (i = \overline{1, n}),$$

а K_i ($i = \overline{1, n}$) - соответствующим ему собственным вектором, т. е.

$$U^{(i)} K_i = \lambda_i K_i \quad (i = \overline{1, n}). \quad (12)$$

На основе (6) вычислим значения характеристического многочлена каждой системы (12) при $\lambda = \lambda_i$ [2]:

$$|U^{(i)} - \lambda_i E| = \lambda_i^n + [\rho_1 - W(\lambda_i) q_1] \lambda_i^{n-1} + [\rho_2 - W(\lambda_i)(q_1 \rho_1 + q_2)] \lambda_i^{n-2} +$$

$$+ [\rho_3 - W(\lambda_i)(q_1\rho_2 + q_2\rho_1 + q_3)]\lambda_i^{n-3} + \dots + [\rho_j - W(\lambda_i)\sum_{k=1}^j q_k\rho_{j-k}] \times \\ \times \lambda_i^{n-j} + \dots + [\rho_n - W(\lambda_i)\sum_{k=1}^n q_k\rho_{n-k}] = 0 \quad (i = \overline{1, n}).$$

Записав последнее выражение для каждого значения $i = \overline{1, n}$, получим систему уравнений относительно $q_1, q_2, \dots, q_n$ неизвестных:

$$W(\lambda_i)q_1\lambda_i^{n-1} + W(\lambda_i)(q_1\rho_1 + q_2)\lambda_i^{n-2} + \dots + W(\lambda_i)\sum_{k=1}^n q_k\rho_{n-k} = \\ = \lambda_i^n + \rho_1\lambda_i^{n-1} + \dots + \rho_{n-1}\lambda_i + \rho_n \quad (i = \overline{1, n}).$$

По второму условию задачи имеем $W(\lambda_i) \neq 0$ ($i = \overline{1, n}$). Тогда последняя система приводится к виду

$$q_1\lambda_i^{n-1} + (q_1\rho_1 + q_2)\lambda_i^{n-2} + \dots + \sum_{k=1}^n q_k\rho_{n-k} = \Delta(\lambda_i)/W(\lambda_i) \quad (i = \overline{1, n}), \quad (13)$$

где $\Delta(\lambda_i) = \lambda_i^n + \rho_1\lambda_i^{n-1} + \dots + \rho_{n-1}\lambda_i + \rho_n$ ($i = \overline{1, n}$) — значения характеристического многочлена матрицы A_0 при $\lambda = \lambda_i$ ($i = \overline{1, n}$) [3].

После некоторых преобразований система (13) принимает вид

$$\begin{bmatrix} (\lambda_1^{n-1} + \rho_1\lambda_1^{n-2} + \rho_2\lambda_1^{n-3} + \dots + \rho_{n-1}) & (\lambda_1^{n-2} + \rho_1\lambda_1^{n-3} + \dots + \rho_{n-2}) & \dots & 1 \\ (\lambda_2^{n-1} + \rho_1\lambda_2^{n-2} + \rho_2\lambda_2^{n-3} + \dots + \rho_{n-1}) & (\lambda_2^{n-2} + \rho_1\lambda_2^{n-3} + \dots + \rho_{n-2}) & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (\lambda_n^{n-1} + \rho_1\lambda_n^{n-2} + \rho_2\lambda_n^{n-3} + \dots + \rho_{n-1}) & (\lambda_n^{n-2} + \rho_1\lambda_n^{n-3} + \dots + \rho_{n-2}) & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta(\lambda_1)/W(\lambda_1) \\ \Delta(\lambda_2)/W(\lambda_2) \\ \dots \\ \Delta(\lambda_n)/W(\lambda_n) \end{bmatrix} \quad (14)$$

Обозначим

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1^{n-1} & \lambda_1^{n-2} & \dots & 1 \\ \lambda_2^{n-1} & \lambda_2^{n-2} & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_n^{n-1} & \lambda_n^{n-2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad \Omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \rho_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{n-1} & \rho_{n-2} & \rho_{n-3} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad \Delta = \begin{bmatrix} \Delta(\lambda_1)/W(\lambda_1) \\ \Delta(\lambda_2)/W(\lambda_2) \\ \dots \\ \Delta(\lambda_n)/W(\lambda_n) \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Тогда система (14) принимает следующий вид:

$$\Lambda\Omega q' = \Delta. \quad (16)$$

Так как

$$\det\Omega = 1, \quad (17)$$

то по первому условию задачи следует, что

$$\det \Lambda \neq 0. \quad (18)$$

Совместное решение (16) – (18) дает

$$q' = (\Lambda \Omega)^{-1} \Delta \quad \text{или} \\ q = ((\Lambda \Omega)^{-1} \Delta)', \quad \text{т. е. } q = \Delta' [(\Lambda \Omega)^{-1}]',$$

которое с учетом (15) принимает вид

$$q = (\Delta(\lambda_1)/W(\lambda_1), \Delta(\lambda_2)/W(\lambda_2), \dots, \Delta(\lambda_n)/W(\lambda_n))[(\Lambda \Omega)^{-1}]'.$$

Отсюда на основе (6) окончательно получаем

$$b = (\Delta(\lambda_1)/W(\lambda_1), \Delta(\lambda_2)/W(\lambda_2), \dots, \Delta(\lambda_n)/W(\lambda_n))[(\Lambda \Omega)^{-1}]' S^{-1}. \quad (19)$$

Столбцы матрицы $K = (K_1, K_2, \dots, K_n)$ определяются из соотношения (12).

Из (3) получаем следующее выражение для $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)'$:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 e^{\lambda_1 t} \\ C_2 e^{\lambda_2 t} \\ \dots \\ C_n e^{\lambda_n t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 t} & & 0 \\ & e^{\lambda_2 t} & \\ & & \ddots \\ 0 & & & e^{\lambda_n t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} = e^{\Lambda_1 t} C, \quad (20)$$

где $\Lambda_1 = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)'$.

Из (4), (7) и (20) окончательно получаем

$$x = S K e^{\Lambda_1 t} C, \quad \text{где } SK = \bar{K}. \quad (21)$$

Пример. Рассмотрим задачу управления при сближении космических аппаратов [5]. Пусть управляемый космический аппарат приближается при перехвате к цели на заданное расстояние. Для этого целесообразно поместить начало относительной системы координат OXYZ в центре масс космического аппарата-цели.

Для простоты рассмотрим подсистему

$$\begin{cases} dx_1 / dt = x_2, \\ dx_2 / dt = -\omega^2 x_1 + \alpha U, \end{cases} \quad (22)$$

которая характеризует отклонение космического аппарата от плоскости цели.

Пусть

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & 0 \end{pmatrix}, \quad h = \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 0 & \alpha \\ \alpha & 0 \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad |S| = -\alpha^2 \neq 0, \quad b = (b_1, b_2), \quad q = bS = (q_1, q_2). \quad (23)$$

Тогда система (22) эквивалентна векторно-матричному уравнению

$$dx/dt = Ax + hU. \quad (24)$$

Требуется построить $b = (b_1, b_2)$ так, чтобы решение (24) имело вид

$$x = \bar{K}y = \bar{K}_1 y_1 + \bar{K}_2 y_2, \quad \bar{K} = (\bar{K}_1, \bar{K}_2) = \begin{bmatrix} \bar{K}_{11} & \bar{K}_{12} \\ \bar{K}_{21} & \bar{K}_{22} \end{bmatrix}, \quad dy_i / dt = \lambda_i y_i \quad (i = 1, 2), \quad (25)$$

где λ_i ($i = 1, 2$) - желаемые числа, удовлетворяющие условиям поставленной задачи.

Решение. Используем формулу (19), которая в настоящем случае принимает вид

$$b = (\Delta(\lambda_1)/W(\lambda_1), \Delta(\lambda_2)/W(\lambda_2))[(\Lambda \Omega)^{-1}]' S^{-1}. \quad (26)$$

$$S^{-1} = -1/\alpha^2 \begin{bmatrix} 0 & -\alpha \\ -\alpha & 0 \end{bmatrix} = 1/\alpha \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (27)$$

В силу (23) имеем

На основании (6) и (23) получаем

$$A_0 = S^{-1}AS = 1/\alpha \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \alpha \\ \alpha & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega^2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (28)$$

Следовательно, характеристический многочлен матрицы A_0 при $\lambda = \lambda_i$ имеет вид

$$\Delta(\lambda_i) = |A_0 - \lambda_i E| = \begin{vmatrix} -\lambda_i & -\omega^2 \\ 1 & -\lambda_i \end{vmatrix} = -\lambda_i^2 + \omega^2 \quad (i = 1, 2). \quad (29)$$

Из (13) и (29) следует

$$\rho_1 = 0, \quad \rho_2 = \omega^2. \quad (30)$$

Из (6) и (28) имеем

$$h_0 = S^{-1}h = 1/\alpha \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Из (15) и (29) находим

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 1 \\ \lambda_2 & 1 \end{bmatrix}, \quad \Omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho_1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Тогда

$$\Lambda\Omega = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 1 \\ \lambda_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 1 \\ \lambda_2 & 1 \end{bmatrix}, \quad \Lambda\Omega = \Lambda,$$

следовательно,

$$\begin{aligned} (\Lambda\Omega)^{-1} &= \Lambda^{-1} = 1/(\lambda_1 - \lambda_2) \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ \lambda_2 & \lambda_1 \end{bmatrix}, \quad [(\Lambda\Omega)^{-1}]' = 1/(\lambda_1 - \lambda_2) \begin{bmatrix} 1 & -\lambda_2 \\ -1 & \lambda_1 \end{bmatrix}, \\ [(\Lambda\Omega)^{-1}]' S^{-1} &= 1/(\lambda_1 - \lambda_2) \begin{bmatrix} 1 & -\lambda_2 \\ -1 & \lambda_1 \end{bmatrix} 1/\alpha \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = 1/\alpha(\lambda_1 - \lambda_2) \begin{bmatrix} -\lambda_2 & 1 \\ \lambda_1 & -1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (32)$$

Из (26), (30) и (32) получаем

$$b = \left(\frac{\lambda_1 + \omega^2}{W(\lambda_1)}, \frac{\lambda_2 + \omega^2}{W(\lambda_2)} \right) \frac{1}{\alpha(\lambda_1 - \lambda_2)} \begin{bmatrix} 1 & -\lambda_2 \\ -1 & \lambda_1 \end{bmatrix}. \quad (33)$$

Окончательно имеем

где $\omega = \sqrt{\mu/a^3}$ – средняя угловая скорость движения цели по орбите [5];

$$b = \frac{1}{\alpha(\lambda_1 - \lambda_2)} \left[\frac{\lambda_1(\lambda_2^2 + \omega^2)}{W(\lambda_2)} - \frac{\lambda_2(\lambda_1^2 + \omega^2)}{W(\lambda_1)}, \frac{\lambda_1 + \omega^2}{W(\lambda_1)} - \frac{\lambda_2 + \omega^2}{W(\lambda_2)} \right], \quad (34)$$

$\mu \approx 4 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{с}^2$ – гравитационный параметр для Земли; a – длина большой полуоси эллиптической орбиты цели, $a \approx 62 \cdot 10^5 \text{ м}$.

При $\omega \approx 0,0013 \text{ 1/с}$, $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = -0,1$, $W(\lambda) = 1/(\lambda - 2)$, $\alpha = \cos 60^\circ = 0,5$, (35)
согласно (26) и (35), имеем

$$b = \frac{1}{0,5(1+0,1)} \left[\frac{0,1(1+\omega^2)}{\frac{1}{(1-2)}} + \frac{(-0,1)^2 + \omega^2}{\frac{1}{(-0,1-2)}}, \frac{1+\omega^2}{1-2} - \frac{(-0,1)^2 + \omega^2}{-0,1-2} \right],$$

или

$$b \approx (-0,242; -2). \quad (36)$$

Так как $W(\lambda) = 1/(\lambda-2)$, то

$$g(t) = e^{2t}. \quad (37)$$

Таким образом, согласно (1), (36) и (37), следует вид для управления

$$U(t) = \int_{-\infty}^t e^{2(t-t')} (-0,242, -2) [x_1(t'), x_2(t')]^T dt'. \quad (38)$$

Из (12) и (35) можно получить вид для матрицы

$$K = \begin{bmatrix} \lambda_1 \gamma_1 & \lambda_2 \gamma_2 \\ \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_1 & -0,1\gamma_2 \\ \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix}, \quad (39)$$

где $\gamma_i \neq 0$ ($i = 1, 2$) - произвольные постоянные.

Из (21), (23), (38) и (39) следует окончательный вид для $U(t) = 2C(cht)$, где C - произвольная постоянная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абгарян К.А.** Один подход к решению задач анализа и синтеза линейных систем // Докл. АН СССР. – 1977. - Т. 232, №5. – С. 1031–1034.
2. **Гальперин Е.А.** Синтез линейных управлений в стационарной линейной системе // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1968. - № 4. – С. 130-136.
3. **Гантмахер Ф. Р.** Теория матриц. – М. : Наука, 1967. - 576 с.
4. **Зубов В.И.** Лекции по теории управления. – М.: Наука, 1967.- 596 с.
5. **Пономарев В.М.** Теория управления движением космических аппаратов. – М., 1965. - 465 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 23.12.1999.

Ֆ. Պ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ՑԱՆԿԱԼԻ ՍՊԵԿՏՐՈՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՍԻՆԹԵԶ ԱՎՏՈՄԱՏ
ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ**

Դիտարկված է ավտոմատ կարգավորման համակարգերում ցանկալի սպեկտրով սկալյար կառավարման կառուցումն ըստ այն պայմանների, երբ ցանկալի սպեկտրի թվերը միմյանցից տարբեր են և չեն համընկնում կարգավորիչի փոխանցման ֆունկցիայի զրոների և եզակի կետերի հետ, ինչպես նաև տարբերվում են համակարգի մատրիցի սեփական արժեքներից զոնե մեկից: Ստացված արդյունքներն օգտագործվել են տիեզերական ապարատների կառավարման խնդրի լուծման համար վերջինիս մերձեցման դեպքում, երբ կատարվում է նպատակակետի որսումը տրված հեռավորության վրա:

F.P. GRIGORYAN

**CONTROL SYNTHESIS WITH DESIRABLE AUTOMATIC
CONTROL SYSTEM**

The scalar control construction problem with desirable spectrum is considered in the conditions when the digits of the desirable spectrum are different from each other and do not coincide with zero and specific points of regulator transfer function. They do not even coincide with one of the eigen value digits of the system matrix. The results obtained are applied is spacecraft problem solving in case of their rendezvous for the target intersection at the given distance.

Т.Г. ГРИГОРЯН

АНАЛИЗ КЭШИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

Изучена проблема кэширования информационных потоков. Приведена модель информационных потоков, представленная при помощи запросов документов, хранимых в кэш-памяти или основной памяти вычислительного комплекса. Решение модели рассмотрено в виде динамической системы принятия решений.

Ключевые слова: информационный поток, кэш-память, запрос, база данных, сеть.

ВВЕДЕНИЕ. В работе [1] изучена проблема кэширования информационных потоков, передаваемых по сети. Отмечено, что объем информации, передаваемой по сети, растет экспоненциально. При этом большая часть трафика [1] приходится на www.

Известно также, что большая часть запрашиваемой информации дублируется, что и обосновывает проблему кэширования информационных потоков.

Таким образом, изучение средств кэширования www-запросов, создание интегрированного набора инструментов для сбора, извлечения, поиска, кэширования и репликации информации через Internet обуславливают необходимость анализа информационных потоков, обеспечивающего возможность повышения эффективности функционирования кэш-серверов.

В настоящей работе предлагаются модель и метод анализа информационных потоков с целью принятия решений об объемах информации, кэшируемой в кэш-серверах и ближайших соседей.

1. Определения и обозначения. Обозначим через $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ - множество классов документов, $M = \{1, 2, \dots, \ell, \dots, m\}$ - множество локальных баз данных (ЛБД).

Пусть [2] $W_{ij}^{\ell}(t)$ - количество обслуженных в момент времени t ℓ -й ЛБД запросов j -го типа документов i -го класса, если запрос поступил в ℓ -ю ЛБД, $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$; $V_{ij}^{\ell}(t)$ - стоимость обслуживания запроса одного документа j -го типа i -го класса ℓ -й ЛБД в момент времени t , если запрос поступил в ℓ -ю ЛБД, $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$; $V_{ij}^{\ell k}(t)$ - стоимость обслуживания запроса одного документа j -го типа i -го класса ℓ -й ЛБД в момент времени t , если запрос поступил в ℓ -ю ЛБД, но из-за его отсутствия в ℓ -й ЛБД он был запрошен из k -й ЛБД, $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$,

$t \in [t_0, T]$; $W_{ij}^{\ell k}(t)$ – количество обслуженных в момент времени ℓ -й ЛБД запросов j -го типа документов i -го класса, если запрос поступил в ℓ -ю ЛБД и был запрошен из k -й ЛБД ввиду его отсутствия в ℓ -й ЛБД, $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$; $S_{ij}^{\ell}(t)(C_{ij}^{\ell}(t))$ – количество обслуженных в момент времени t основной памятью (кэш – памятью) ℓ -й ЛБД j -го типа документов i -го класса, если запрос поступил в ℓ -ю ЛБД, $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$; $S_{ij}^{\ell k}(t)(C_{ij}^{\ell k}(t))$ – количество обслуженных в момент времени t основной памятью (кэш-памятью) k -й ЛБД запросов j -го типа документов i -го класса, если запрос поступил в ℓ -ю ЛБД и ввиду его отсутствия в ℓ -й ЛБД был обслужен кэш-памятью k -й ЛБД, $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$.

Таким образом,

$$W_{ij}^{\ell}(t) = S_{ij}^{\ell}(t) + C_{ij}^{\ell}(t) + \sum_{\ell \neq k} W_{ij}^{\ell k}(t),$$

$$W_{ij}^{\ell k}(t) = S_{ij}^{\ell k}(t) + C_{ij}^{\ell k}(t), \quad k \neq \ell,$$

$$\sum_{\ell \neq k} V_{ij}^{\ell k}(t)W_{ij}^{\ell k}(t) + W_{ij}^{\ell}(t)V_{ij}^{\ell}(t) \quad - \text{стоимость обслуживания в момент}$$

времени t запросов, поступивших в ℓ -ю ЛБД.

Обозначим далее через $Z_{ij}^{\ell}(t)$ – количество запросов, поступивших в ℓ -ю ЛБД в момент времени t , $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$; $U_{ij}^{\ell}(t)$ – средства, выделенные на выдачу запросов в ℓ -ю ЛБД j -го типа документа i -го класса в момент времени t , $\ell \in M$, $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$, $\ell \in M$.

Тогда стоимость обслуживания запросов, обслуженных ℓ -й ЛБД документов i -го типа j -го класса в момент времени t , будет

$$P_{ij}^{\ell}(t) = \sum_{\ell \neq k} V_{ij}^{\ell k}(t)W_{ij}^{\ell k}(t) + W_{ij}^{\ell}(t)V_{ij}^{\ell}(t),$$

$$j \in K_i, \quad i \in I, \quad \ell \in M, \quad t \in [t_0, T].$$

Обозначим через $x_{ij}^{\ell}(t)(y_{ij}^{\ell}(t))$ – объем памяти, выделенной для хранения в основной памяти документа j -го типа i -го класса в ℓ -й ЛБД в момент времени t , где $j \in K_i$, $i \in I$, $\ell \in M$, $t \in [t_0, T]$, $T_{ij}^{\ell}(t)$ – продолжительность хранения j -го документа i -го класса в ℓ -й ЛБД в момент времени t , $j \in K_i$, $i \in I$, $t \in [t_0, T]$, $\ell \in M$.

2. Модель задачи управления информационных потоков. Нетрудно убедиться, что

$$\begin{aligned}\Delta(L) = & \Delta\left(\frac{L}{Q}\right) + \Delta\left(\frac{Q}{C_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{C_{ij}^\ell(t)}{W_{ij}^\ell(t)}\right) + \\ & + \Delta\left(\frac{W_{ij}^\ell(t)}{Z_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{Z_{ij}^\ell(t)}{U_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{U_{ij}^\ell(t)}{P_{ij}^\ell(t)}\right) + \\ & + \Delta\left(\frac{P_{ij}^\ell(t)}{\Delta T_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta T_{ij}^\ell(t),\end{aligned}\tag{1}$$

где $L \in \{X_{ij}^\ell(t), Y_{ij}^\ell(t)\}$, $j \in K_i$, $i \in I$, $\ell \in M$.

Тогда соотношение (1) после подстановки значений L примет вид

$$\begin{aligned}\Delta(Y_{ij}^\ell(t)) = & \Delta\left(\frac{Y_{ij}^\ell(t)}{Y_{ij}^\ell(t) + Y_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{X_{ij}^\ell(t) + Y_{ij}^\ell(t)}{C_{ij}^\ell(t)}\right) + \\ & + \Delta\left(\frac{C_{ij}^\ell(t)}{W_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{W_{ij}^\ell(t)}{Z_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{Z_{ij}^\ell(t)}{U_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{U_{ij}^\ell(t)}{P_{ij}^\ell(t)}\right) + \\ & + \Delta\left(\frac{P_{ij}^\ell(t)}{T_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta T_{ij}^\ell(t), \\ \Delta(X_{ij}^\ell(t)) = & \Delta\left(\frac{X_{ij}^\ell(t)}{X_{ij}^\ell(t) + Y_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{X_{ij}^\ell(t) + Y_{ij}^\ell(t)}{C_{ij}^\ell(t)}\right) + \\ & + \Delta\left(\frac{C_{ij}^\ell(t)}{W_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{W_{ij}^\ell(t)}{Z_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{Z_{ij}^\ell(t)}{U_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta\left(\frac{U_{ij}^\ell(t)}{P_{ij}^\ell(t)}\right) + \\ & + \Delta\left(\frac{P_{ij}^\ell(t)}{T_{ij}^\ell(t)}\right) + \Delta T_{ij}^\ell(t),\end{aligned}\tag{2}$$

где $j \in K_i$, $i \in I$, $\ell \in M$, $t \in [t_0, T]$.

Введем обозначения:

$$X^\ell(t) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in K_i} X_{ij}^\ell(t),\tag{4}$$

$$Y^\ell(t) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in K_i} Y_{ij}^\ell(t).$$

Положим

$$\begin{aligned} \lambda_{ij}^\ell(t) &= \frac{W_{ij}^\ell(t)}{Z_{ij}^\ell(t)}, \quad \mu_{ij}^\ell(t) = \frac{S_{ij}^\ell(t)}{Z_{ij}^\ell(t)}, \quad v_{ij}^\ell(t) = \frac{C_{ij}^\ell(t)}{Z_{ij}^\ell(t)}, \\ \mu_{ij}^{\ell k}(t) &= \frac{S_{ij}^{\ell k}(t)}{Z_{ij}^{\ell k}(t)}, \quad v_{ij}^{\ell k}(t) = \frac{C_{ij}^{\ell k}(t)}{Z_{ij}^{\ell k}(t)}, \quad \phi_{ij}^\ell(t) = \frac{Y_{ij}^\ell(t)}{X_{ij}^\ell(t) + Y_{ij}^\ell(t)}, \\ \psi_{ij}^\ell(t) &= \frac{X_{ij}^\ell(t) + Y_{ij}^\ell(t)}{Y_{ij}^\ell(t)}, \quad \kappa_{ij}^\ell(t) = \frac{S_{ij}^\ell(t)}{C_{ij}^\ell(t)}, \quad \eta_{ij}^{\ell k}(t) = \frac{C_{ij}^{\ell k}(t)}{C_{ij}^\ell(t)}, \\ X_{ij}^{\ell k}(t) &= \frac{S_{ij}^{\ell k}(t)}{C_{ij}^\ell(t)}, \quad \varepsilon_{ij}^{\ell k}(t) = 1 - \phi_{ij}^\ell(t) = \frac{X_{ij}^\ell(t)}{X_{ij}^\ell(t) + Y_{ij}^\ell(t)}, \\ \omega_{ij}^\ell(t) &= \frac{\omega_{ij}^\ell(t) V_{ij}^\ell(t)}{T_{ij}^\ell(t)}, \quad \omega_{ij}^{\ell k}(t) = \frac{S_{ij}^{\ell k}(t) V_{ij}^{\ell k}(t)}{T_{ij}^\ell(t)}, \\ \alpha_{ij}^{\ell k}(t) &= \frac{C_{ij}^{\ell k}(t) V_{ij}^{\ell k}(t)}{C T_{ij}^\ell(t)}, \quad \beta_{ij}^\ell(t) = \frac{C_{ij}^\ell(t)}{W_{ij}^\ell(t)}, \quad \sigma_{ij}^\ell(t) = \frac{P_{ij}^\ell(t)}{T_{ij}^\ell(t)}, \\ \gamma_{ij}^\ell(t) &= \frac{Z_{ij}^\ell(t)}{U_{ij}^\ell(t)} p, \quad \delta_{ij}^\ell(t) = \frac{U_{ij}^\ell(t)}{P_{ij}^\ell(t)}, \quad \text{где } j \in K_i, \quad i \in I, \quad \ell \in M, \\ t &\in [t_0, T]. \end{aligned} \tag{5}$$

После подстановки значений переменных (5) в (2) и (3) и упрощения получим

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{ij}^\ell &= \dot{\phi}_{ij}^\ell(X_{ij}^\ell + Y_{ij}^\ell) + \dot{X}_{ij}^\ell \frac{C_{ij}^\ell Y_{ij}^\ell}{X_{ij}^\ell + Y_{ij}^\ell} + \\ &+ \beta_{ij}^\ell \frac{X_{ij}^\ell [S_{ij}^{\ell k} + C_{ij}^\ell + \sum_{k \neq \ell} (S_{ij}^{\ell k} + C_{ij}^{\ell k})]}{C_{ij}^\ell} + \lambda_{ij}^\ell \cdot \frac{Z_{ij}^\ell}{W_{ij}^\ell} \cdot Y_{ij}^\ell + \\ &+ \gamma_{ij}^\ell \frac{U_{ij}^\ell}{Z_{ij}^\ell} \cdot Y_{ij}^\ell + \delta_{ij}^\ell \frac{P_{ij}^\ell}{U_{ij}^\ell} \cdot Y_{ij}^\ell + \delta_{ij}^\ell \frac{T_{ij}^\ell}{P_{ij}^\ell} \cdot Y_{ij}^\ell + \dot{T}_{ij}^\ell Y_{ij}^\ell, \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
\dot{X}_{ij}^{\ell} &= \dot{\epsilon}_{ij}^{\ell}(X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \psi_{ij}^{\ell} \frac{C_{ij}^{\ell} X_{ij}^{\ell}}{X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}} + \\
&+ \beta_{ij}^{\ell} \frac{X_{ij}^{\ell} [S_{ij}^{\ell k} + C_{ij}^{\ell} + \sum_{k \neq \ell} (S_{ij}^{\ell k} + C_{ij}^{\ell k})]}{C_{ij}^{\ell}} + \lambda_{ij}^{\ell} \cdot \frac{Z_{ij}^{\ell}}{W_{ij}^{\ell}} \cdot X_{ij}^{\ell} + \\
&+ \gamma_{ij}^{\ell} \frac{U_{ij}^{\ell}}{Z_{ij}^{\ell}} \cdot X_{ij}^{\ell} + \dot{\gamma}_{ij}^{\ell} \frac{U_{ij}^{\ell}}{Z_{ij}^{\ell}} \cdot X_{ij}^{\ell} + \dot{\delta}_{ij}^{\ell} \frac{P_{ij}^{\ell}}{U_{ij}^{\ell}} \cdot X_{ij}^{\ell} + \dot{\sigma}_{ij}^{\ell} \frac{T_{ij}^{\ell}}{P_{ij}^{\ell}} X_{ij}^{\ell} + \dot{T}_{ij}^{\ell} X_{ij}^{\ell}.
\end{aligned} \tag{7}$$

Дифференцируя обе части выражений (4) и подставляя их в (6)- (7), получим систему уравнений

$$\begin{aligned}
\dot{Y}^{\ell} &= \sum_{i \in I} \sum_{j \in K_i} \dot{\phi}_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell})^2 + \dot{\psi}_{ij}^{\ell} C_{ij}^{\ell} Y_{ij}^{\ell} + \\
&+ \frac{\beta_{ij}^{\ell} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) [S_{ij}^{\ell} + C_{ij}^{\ell} + \sum_{k \neq \ell} (S_{ij}^{\ell k} + C_{ij}^{\ell k})]}{C_{ij}^{\ell}} + \\
&+ \lambda_{ij}^{\ell} \cdot \frac{Z_{ij}^{\ell}}{W_{ij}^{\ell}} Y_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \dot{\gamma}_{ij}^{\ell} \frac{U_{ij}^{\ell}}{Z_{ij}^{\ell}} Y_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \\
&+ \dot{\delta}_{ij}^{\ell} \cdot \frac{P_{ij}^{\ell}}{U_{ij}^{\ell}} Y_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \dot{\sigma}_{ij}^{\ell} \frac{T_{ij}^{\ell}}{P_{ij}^{\ell}} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \\
&+ \dot{T}_{ij}^{\ell} Y_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}),
\end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
\dot{X}^{\ell} &= \sum_{i \in I} \sum_{j \in K_i} \dot{\epsilon}_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell})^2 + \dot{\psi}_{ij}^{\ell} C_{ij}^{\ell} X_{ij}^{\ell} + \\
&+ \frac{\beta_{ij}^{\ell} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) [S_{ij}^{\ell} + C_{ij}^{\ell} + \sum_{k \neq \ell} (S_{ij}^{\ell k} + C_{ij}^{\ell k})]}{C_{ij}^{\ell}} + \\
&+ \lambda_{ij}^{\ell} \cdot \frac{Z_{ij}^{\ell}}{W_{ij}^{\ell}} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \dot{\gamma}_{ij}^{\ell} \frac{U_{ij}^{\ell}}{Z_{ij}^{\ell}} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \\
&+ \dot{\delta}_{ij}^{\ell} \cdot \frac{P_{ij}^{\ell}}{U_{ij}^{\ell}} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \dot{\sigma}_{ij}^{\ell} \frac{T_{ij}^{\ell}}{P_{ij}^{\ell}} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}) + \\
&+ \dot{T}_{ij}^{\ell} X_{ij}^{\ell} (X_{ij}^{\ell} + Y_{ij}^{\ell}).
\end{aligned} \tag{9}$$

Определим следующие векторы управлений:

$$\begin{aligned}
\Phi &= (\varphi^{\ell})_{\ell \in L} = ((\varphi_{i1}^{\ell}, \dots, \varphi_{i, K_i}^{\ell}))_{i \in I, \ell \in L}, \\
\Psi &= (\psi^{\ell})_{\ell \in L} = ((\psi_{i1}^{\ell}, \dots, \psi_{i, K_i}^{\ell}))_{i \in I, \ell \in L}, \\
\beta &= (\beta^{\ell})_{\ell \in L} = ((\beta_{i1}^{\ell}, \dots, \beta_{i, K_i}^{\ell}))_{i \in I, \ell \in L},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma &= (\gamma^\ell)_{\ell \in L} = ((\gamma_{i1}^\ell, \dots, \gamma_{i,K_i}^\ell))_{i \in I, \ell \in L}, \\ \delta &= (\delta^\ell)_{\ell \in L} = ((\delta_{i1}^\ell, \dots, \delta_{i,K_i}^\ell))_{i \in I, \ell \in L}, \\ \lambda &= (\lambda^\ell)_{\ell \in L} = ((\lambda_{i1}^\ell, \dots, \lambda_{i,K_i}^\ell))_{i \in I, \ell \in L}, \\ \sigma &= (\sigma^\ell)_{\ell \in L} = ((\sigma_{i1}^\ell, \dots, \sigma_{i,K_i}^\ell))_{i \in I, \ell \in L}\end{aligned}$$

и состояний системы (2), (3):

$$x(t) = (((x_{ij}^\ell(t))_{j \in K_i})_{i \in I})_{\ell \in L}, \quad y(t) = (((y_{ij}^\ell(t))_{j \in K_i})_{i \in I})_{\ell \in L}.$$

3. Решение модели. Обозначим через $C_{t_0}((x(t_0), y(t_0)))$ множество

$$\begin{aligned}C_{t_0}((x(t_0), y(t_0))) &= \\ &= \{(x, y) \mid d((x(t_0), y(t_0)), (x, y)) < d((x(t_0), y(t_0)), (x(t_1), y(t_1)))\}.\end{aligned}$$

Разобьем сегмент $[t_0, T]$ на части

$$t_0 < t_1 < \dots < t_{s-1} < t_s < \dots < t_q = T.$$

Для выбора решения в момент времени t_1 определим множество $C_{t_0, t_1}((x(t_0), y(t_0)))$ и решим задачу

$$\min d(C_{t_0, t_1}(x(t_0), y(t_0)), (\bar{x}, \bar{y})), \quad (10)$$

где $\min$ берется по $\varphi, \psi, \beta, \gamma, \delta, \lambda, \sigma$.

Продолжив этот процесс, на i -м шаге решим задачу

$$\min d(C_{t_{i-1}, i}(x(t_{i-1}), y(t_{i-1})), (\bar{x}, \bar{y})), \quad (11)$$

где $\min$ берется по $\varphi, \psi, \beta, \gamma, \delta, \lambda, \sigma$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крашаков С.А., Шур Л.Н. Кэширование информационных потоков // Freenet' 95 Workshop. - Черногловка, 1995. - С. 1-2.
 2. Лорин Г. Распределенные вычислительные системы: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1984. - 296 с.
- ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.05.2001.

Տ.Գ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՀՈՍՔԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ

Դիտարկվում են տեղեկատվական հոսքերը և մշակվում է այդ հոսքերի մաթեմատիկական մոդելը: Բերվում է մոդելի լուծման եղանակը, որը հնարավորություն է տալիս կատարել տեղեկատվական հոսքերի վերլուծություն:

T.G. GRIGORYAN

ANALYSIS OF CASH INFORMATION FLOWS TO INCREASE COMPUTER NETWORK FUNCTIONING EFFICIENCY

An information flow problem is studied. The information flow model represented by document requests stored in computer complex cash memory or main storage is developed. The model solution is considered as a dynamic system of decision-making.

С.Р. ПАПЯН

АНАЛОГ ДИАГРАММЫ ВЫШНЕГРАДСКОГО ДЛЯ
ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

Получены формулы, позволяющие определить качество переходного процесса в импульсной системе, описываемой разностным уравнением 3-го порядка, без нахождения корней характеристического многочлена.

Ключевые слова: диаграмма, переходной процесс, характеристический многочлен.

Одной из важных задач при рассмотрении динамики систем автоматического регулирования является определение качества переходного процесса в устройстве. Для его оценки необходимо разделить область устойчивости на зоны, соответствующие апериодическому, неколебательному и колебательному характеру установления процессов.

Решение данного вопроса для непрерывных систем 3-го порядка было получено Вышнеградским еще в 1876 году и нашло дальнейшее развитие в [1].

Известно [2], что при использовании в характеристическом многочлене импульсной системы

$$a_3 e^{3q} + a_2 e^{2q} + a_1 e^q + a_0 = 0 \quad (1)$$

подстановки типа

$$e^q = (v + 1) / (v - 1) \quad (2)$$

ее условия устойчивости могут быть сведены к известным ранее для непрерывных устройств неравенствам Гурвица, поскольку на плоскости V неустойчивому состоянию системы соответствуют корни, расположенные правее оси ординат.

В настоящей работе для построения границ апериодического и колебательного переходных процессов также используется вышеописанный метод. В области апериодического переходного процесса все корни (1) должны быть вещественными. Выражение (2) можно представить в виде

$$v = (e^q + 1) / (1 - e^q),$$

откуда видно, что все действительные корни, соответствующие устойчивому состоянию системы, перенесенные из плоскости q в v , располагаются на оси абсцисс от минус единицы до минус бесконечности. В непрерывных системах граница апериодического процесса определяется приравнением нулю дискриминанта характеристического многочлена передаточной функции. Для распространения этого метода на импульсные системы необходимо сместить

область значений на плоскости V вправо на единицу, поскольку в ней действительные корни располагаются, как указывалось выше, начиная от минус единицы, а не нуля. Следовательно, надо применять подстановку типа

$$Z = v + 1$$

или

$$e^q = Z/(Z - 2) . \quad (3)$$

При этом уравнение (1) примет следующий вид:

$$A_3 Z^3 + A_2 Z^2 + A_1 Z + A_0 = 0. \quad (4)$$

Разделив все члены (4) на A_0 и введя новую переменную

$$X = Z\sqrt[3]{A_3/A_0} = Z/\Omega, \quad (5)$$

получим

$$X^3 + AX^2 + BX + 1 = 0, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{A_2}{\sqrt[3]{a_0 A_3^2}} = \frac{3a_0 + a_2 + a_1}{\sqrt[3]{a_0 A_3^2}}, \quad (7)$$

$$B = \frac{A_1}{\sqrt[3]{A_0^2 A_3}} = \frac{3a_0 + a_1}{\sqrt[3]{a_0^2 A_3}}, \quad (8)$$

$$\Omega = \sqrt[3]{A_0/A_3} = -2\sqrt[3]{a_0/A_3}.$$

Поскольку уравнение (6) соответствует выражению, полученному Вышнеградским, для построения границы апериодического переходного процесса импульсной системы можно применять диаграммы для непрерывной системы, но при этом значения коэффициентов A и B должны соответствовать (7) и (8).

При определении области колебательности необходимо рассмотреть взаимное расположение вещественного и комплексных корней (1). Если пара комплексных корней лежит ближе к мнимой оси, чем вещественный, то процесс носит колебательный характер, а если наоборот – неколебательный характер. Границей между этими двумя случаями является расположение корней на одинаковом расстоянии от мнимой оси. При построении области колебательного переходного процесса для импульсных систем возникает затруднение, связанное с тем, что в случае перехода из плоскости X в q нарушается равноудаленность корней от мнимой оси. Предположим, что в плоскости X значения корней соответственно равны

$$X_1 = \alpha + \Delta,$$

$$X_2 = \alpha + j\beta,$$

$$X_3 = \alpha - j\beta.$$

Необходимо найти значение Δ , при котором вещественные части корней в плоскости q равны. С учетом (3) и (5) можно записать

$$q_1 = \ln \frac{X_1 \Omega}{X_1 \Omega - 2}, \quad (9)$$

$$q_2 = \ln \frac{X_2 \Omega}{X_2 \Omega - 2}. \quad (10)$$

Подставив в (10) значение X_2 и приравняв вещественные части корней, получим

$$\Delta^2 + \left[\frac{(\alpha^2 - \beta^2)\Omega - 2\alpha}{\alpha\Omega - 1} \right] \Delta - \beta^2 = 0. \quad (11)$$

Поскольку значение вещественной части корня при переходе из плоскости X в q не зависит от знака мнимой части, то рассмотрение может быть распространено и на X_3 .

Приняв значения корней характеристического многочлена равными соответственно X_1, X_2, X_3 , можно записать

$$X^3 + AX^2 + BX + 1 = (X - \alpha - j\beta)(X - \alpha + j\beta)(X - \alpha - \Delta).$$

Раскрыв скобки и приравняв коэффициенты при одинаковых степенях, с учетом (11) получим уравнение границы колебательного переходного процесса:

$$\begin{aligned} & B^4 \Omega^2 + B^3 (\Omega^3 + 2A\Omega + 4) + B^2 \Omega (18 - 3A\Omega) + \\ & + B\Omega (27\Omega - 4,5A\Omega^2 - 12A^2) + 13,5\Omega^3 - 9A^2 \Omega^2 - 4A^3 + 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Из (12) видно, что граница колебательного переходного процесса в импульсной системе в области параметров A и B определяется не одной кривой, а их семейством. Применяя методы решения уравнений 4-й степени Декарта-Эйлера или Феррари с использованием ЭВМ, можно легко построить кривые, аналогичные диаграмме Вышнеградского. Результаты такого построения приводятся на рис.

Учитывая, что диаграммы, приведенные в области параметров A и B , позволяют в основном решать только задачи анализа (даны параметры системы и необходимо определить качество переходного процесса), представляет интерес вывод уравнений, описывающих границы апериодического переходного процесса [3]:

$$A^2 B^2 - 4(A^3 + B^3) + 18AB - 27 = 0.$$

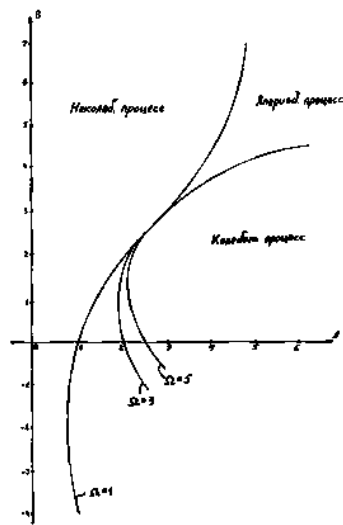


Рис.

При этом вычисления должны проводиться конкретно для каждой системы, что дает возможность выбрать ее параметры, исходя из требуемого качества переходного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапожников Р.А., Мокиенко Т.Н. Исследование диаграммы Вышнеградского // Автоматическое управление. - Л., 1960. - № 12. - С. 23-37.
2. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем. - М.: Наука, 1977. - 560 с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1972. - 768 с.

ГАОЗТ "Телевизионная сеть Армении". Материал поступил в редакцию 12.10.2000.

Ս.Ր.ՊԱՊՅԱՆ

ՎԻՇՆԵԳՐԱՅԿՈՒ ԴԻԱԳՐԱՄԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐՐՈՐԴ ԿԱՐԳԻ ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ստացվել են բանաձևեր, որոնք թույլ են տալիս որոշել անցումային պրոցեսի որակը իմպուլսային համակարգում, որը նկարագրվում է երրորդ կարգի տարբերակման հավասարումով՝ առանց բնութագրական բազմանդամի արմատները գտնելու:

S.R. PAPYAN

VISHNEGRADSKY'S DIAGRAM DETERMINATION FOR PULSE SYSTEMS OF THE THIRD ORDER

Formulas for determination of the transient performance in the pulse system are obtained. The system is described by the difference equation of the third order without finding the characteristic polynomial.

М.О. ПОГОСЯН, В.Г. ЯГДЖЯН

АНАЛИЗ ОДНОГО МЕТОДА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

Приводится математический анализ поведения дискретной схемы преобразователя частоты, на основе которого синтезируются необходимые телевизионные сигналы для системы СЕКАМ [1]. Вычисляются значения мгновенных частот, возникающих на выходе схемы, период повторения процесса, а также количество вхождений различных частот в этом периоде.

Ключевые слова: дискретная схема, частота, сумматор, модуль, выходной сигнал.

Описание работы схемы преобразователя частоты (рис.1). На вход сумматора по модулю a с частотой f_0 подается число b . При m -ом такте, когда выполняется условие $mb \geq a$, на выходе сумматора появляется сигнал. При этом значение сумматора становится равным

$$R = mb - a, \quad (1)$$

где $0 \leq r < b$.

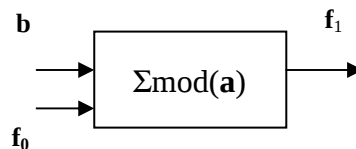


Рис.1

Из (1) имеем $m = (a+r)/b$, т.е. m - целая часть числа $a/b+1$, если a не делится на b , в противном случае, $m = a/b$.

Пусть начальное значение сумматора равно "0". Найдем k - количество выходных сигналов от первого до второго нулевого значения сумматора. Это условие равносильно сравнению

$$ka = 0 \bmod (b). \quad (2)$$

Наименьшее k , при котором выполняется сравнение, равно

$$K = b/d,$$

где $d = (a, b)$ - наибольший общий делитель чисел a и b [2].

Ясно, что после k выходных сигналов процесс повторяется. Соответственно количество тактов в одном периоде повторения процесса будет a/d .

i – ым шагом называется процесс от i – го до $(i(1))$ -го выходного сигнала. Для i – го шага выполняется равенство

$$r_{i-1} + m_i b - r_i = a, \quad (3)$$

где m_i – количество тактов в i -ом шаге; r_{i-1}, r_i – значения сумматора после $i, (i-1)$ -ых шагов соответственно $0 \leq r_{i-1}, r_i < b$. Для двух любых i, j –ых шагов имеем

$$r_{j-1} + m_j b - r_j = r_{i-1} + m_i b - r_i,$$

откуда получим

$$(r_{j-1} + r_i) - (r_j + r_{i-1}) = (m_i - m_j)b.$$

Так как разность двух чисел, меньших $2b$, меньше $2b$, имеем

$$0 \leq (m_i - m_j)b < 2b.$$

Решениями в указанных границах будут

$$(m_i - m_j)b = 0, \text{ или } (m_i - m_j)b = b,$$

откуда или $m_i = m_j$, или $m_i - m_j = 1$.

Таким образом, количества тактов внутри двух различных шагов или равны, или отличаются на единицу. Т.е. количество тактов равно или $\lfloor a/b \rfloor$, или $\lfloor a/b \rfloor + 1$, где $\lfloor a/b \rfloor$ – целая часть a/b .

Количество x_1 и x_2 вхождений этих шагов в одном периоде повторения процесса найдем из условий

$$x_1 + x_2 = b/d, \quad x_1 \lfloor a/b \rfloor + x_2 \lfloor a/b \rfloor + 1 = a/d.$$

Откуда найдем

$$x_1 = (b-r)/d, \quad x_2 = r/d,$$

где r – остаток от деления числа a на b .

Исходя из вышеизложенного, имеем:

1. Средняя частота выходных сигналов – $f_1 = f_0 b/a$.
2. Частота повторения процесса – $f_n = f_0 d/a$.
3. Значения мгновенных частот внутри процесса – $f_1' = f_0 \lfloor a/b \rfloor$,
 $f_1'' = f_0 \lfloor a/b \rfloor + 1$.
4. Разность этих частот $\Delta f = f_0 (\lfloor a/b \rfloor + 1 - \lfloor a/b \rfloor) / ((\lfloor a/b \rfloor + 1) a/b) = 1/a$.
5. $\Delta f/f_1 = (\lfloor a/b \rfloor + 1 - \lfloor a/b \rfloor) a/b / ((\lfloor a/b \rfloor + 1) a/b) = 1/a$.
6. Долевое содержание этих частот в процессе:
для $f_1' = (b-r)/b$, для $f_1'' = r/b$, где r – остаток от деления a на b .

Приведем пример расчета при следующих значениях:

$$f_0 = 12 \cdot 10^6 \text{ Гц}, \quad a = 4096, \quad b = 1504.$$

При этом $d = 32$ – наибольший общий делитель чисел a и b ; $r = 1088$ – остаток от деления a на b , $\lfloor a/b \rfloor = 2$, $\lfloor a/b \rfloor + 1 = 3$.

1. Средняя частота выходных сигналов – $f_1 = f_0 b/a = 4,406 \cdot 10^6 \text{ Гц}$.
2. Частота повторения процесса – $f_n = f_0 d/a = 0,09374 \cdot 10^6 \text{ Гц}$.
3. Значения истинных частот внутри процесса $f_1' = f_0 \lfloor a/b \rfloor = 6 \cdot 10^6 \text{ Гц}$,
 $f_1'' = f_0 \lfloor a/b \rfloor + 1 = 4 \cdot 10^6 \text{ Гц}$.
4. Разность этих частот $\Delta f = f_0 (\lfloor a/b \rfloor + 1 - \lfloor a/b \rfloor) / ((\lfloor a/b \rfloor + 1) a/b) = 2 \cdot 10^6 \text{ Гц}$.
5. $\Delta f/f_1 = (\lfloor a/b \rfloor + 1 - \lfloor a/b \rfloor) a/b / ((\lfloor a/b \rfloor + 1) a/b) = 0,4539$.

6. Долевое содержание этих частот в процессе:

$$f_1' - (b-r)/b = 0,2766, \quad f_1'' - r/b = 0,7234.$$

На рис. 2 приведены процентные соотношения мгновенных частот.

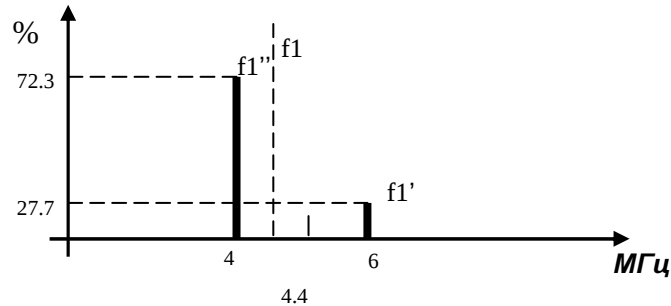


Рис.2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н.** Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
2. **Макклеплан Д.Х., Рехдер Ч.М.** Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.

ГИУА РА . Материал поступил в редакцию 05.07.2000.

Մ.Հ. ՊՈԴՈՍՅԱՆ, Վ.Գ. ՅԱԴՅԱՆ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՁԵՎԱՓՈԽՄԱՆ ՄԵԿ ՄԵԹՈԴԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Բերված է հաճախականության այնպիսի ձևափոխիչի դիսկրետ սխեմայի վարքի մաթեմատիկական վերլուծությունը, որի հիման վրա սինթեզվում են SEKAM համակարգի համար անհրաժեշտ հեռուստատեսային ազդանշաններ: Աշխատանքում հաշվարկվում են սխեմայի ելքում առաջացող ակնթարթային հաճախականությունների արժեքները, գործընթացի կրկնության պարբերությունը և տվյալ պարբերությունում տարբեր հաճախականությունների ընդգրկման քանակը:

M.H. POGHOSSYAN, V.G. YAGHJYAN ANALYSIS OF FREQUENCY TRANSFORM METHOD

A mathematical analysis of the discrete circuit behavior of the frequency transformer is proposed. Based on this analysis, the indispensable television signals for the SECAM system are synthesized. The instantaneous frequency values at the system output, the recurring period of the process, as well as the amount of different frequency occurrences during this period are computed.

С.М. КАЗАРЯН, Г.А. АЛОЯН

**РАСЧЕТ СКВАЖИНЫ В ДВУХСЛОЙНОЙ ГРУНТОВО-НАПОРНОЙ
ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИ ОТКАЧКЕ ВОДЫ ИЗ НАПОРНОГО
ГОРИЗОНТА**

Рассматривается задача определения давления в двухслойных грунтово-напорных гидравлически связанных, неограниченных водоносных толщах при постоянной откачке воды из напорного горизонта одиночными скважинами. Система уравнений решена методом операционного исчисления. Предложены расчетные формулы для любых малых и больших времен откачки.

Ключевые слова: напорный горизонт, грунтово-водоносный, откачка воды, скважина, фильтрующая среда.

Рассматриваются аналитические решения задачи определения понижения уровней воды в любых точках двухслойных грунтово-напорных, гидравлически связанных, неограниченных пластов в любой момент времени. При этом неустановившаяся фильтрация происходит в одиночных скважинах, через которые производится постоянная суммарная откачка воды из напорного водоносного горизонта (рис.).

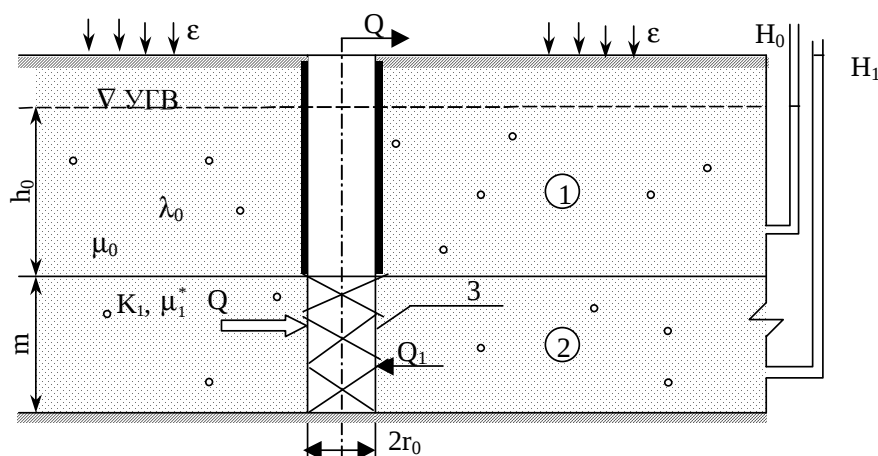


Рис. Гидродинамическая расчетная схема грунтово-напорной фильтрующей среды: 1 – слой грунтовых вод; 2 – напорный водоносный горизонт; 3 – скважина

Процесс фильтрации подземных вод в неограниченной, гидравлически связанной двухслойной грунтово-напорной среде с учетом инфильтрации поверхностных стоков, упругого режима, напорного и жесткого режимов грунтово-

водоносных горизонтов описывается следующей системой дифференциальных уравнений и краевыми условиями [1]:

$$b_0(S_1 - S_0) - e = \frac{\partial S_0}{\partial t},$$

$$a_1 \left(\frac{\partial^2 S_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial S_1}{\partial r} \right) - b_1(S_1 - S_0) = \frac{\partial S_1}{\partial t}, \quad (1)$$

$$S_i(r, t) = 0, \quad t = 0, \quad (2)$$

$$S_i(r, t) = 0, \quad t > 0, \quad r \rightarrow \infty, \quad i = 0, 1, \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_0}{\partial r} = 0, \quad \lim_{r \rightarrow r_0} r \frac{\partial S_1}{\partial r} = -\frac{Q}{2\pi T_1} = \text{const}, \quad t > 0, \quad (4)$$

где

$$a_1 = \frac{k_1 m_1}{\mu_1^*}, \quad b_0 = \frac{\lambda_0}{h_0 \mu_0}, \quad b_1 = \frac{\lambda_0}{h_0 \mu_1^*}, \quad e = \frac{\varepsilon}{\mu_0}, \quad (5)$$

$$S_0(r, t) = H_{0e} - H_0(r, t), \quad S_1(r, t) = H_{1e} - H_1(r, t). \quad (6)$$

Здесь a_1 – коэффициент пьезопроводности; b_i – коэффициент перетекания; ε – модуль инфильтрации поверхностных стоков; μ_0, μ_1^* – коэффициенты гравитационной и упругой водоотдачи; $S_i(r, t)$ – понижение уровней подземных вод; $k_1 m_1 = T_1$ – водопроводимость – произведение коэффициента фильтрации и мощности; λ_0 – коэффициент фильтрации грунтового горизонта; h_0 – мощность грунтового горизонта; H_{1e} – пьезометрические напоры в естественных условиях; $H_i(r, t)$ – напор в любой точке в любой момент времени, $i = 0, 1$.

Применяя для уравнения (1) преобразование Лапласа относительно времени t и учитывая начальные условия (2), получим [2-4]

$$\bar{S}_0 = \frac{b_0 \bar{S}_1}{b_0 + P} - \frac{e}{P(b_0 + P)},$$

$$a_1 \left(\bar{S}_1'' + \frac{1}{r} \bar{S}_1' \right) - \frac{P^2 + (b_1 + b_0)}{b_0 + P} \bar{S}_1 = \frac{e b_1}{P(b_0 + P)}, \quad (7)$$

где $\bar{S}_i(r, p)$ – “изображение” $S_i(r, t)$; $S_i(r, t)$ – “оригинал” $\bar{S}_i(r, p)$; P – операционный параметр Лапласа.

Частное решение неоднородной системы уравнений (7) после перехода к оригиналу по теореме Фурье-Мелина имеет вид [2]

$$\begin{aligned}
S_{00}(t) &= -\frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} \left(\frac{B}{\lambda^2(\lambda+1)(\lambda+B_1^0)} + \frac{\bar{e}}{\lambda(\lambda+1)} \right) e^{\lambda\tau} d\lambda, \\
S_{10}(t) &= -\frac{B}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} \frac{e^{\lambda\tau} d\lambda}{\lambda^2(\lambda+B_1^0)},
\end{aligned} \tag{8}$$

где $\lambda = P/b_0$ – безразмерный параметр Лапласа;

$$B^0 = \frac{b_1}{b_0}, \quad B_1^0 = B^0 + 1, \quad B = \bar{e}B^0, \quad \bar{e} = \frac{e}{b_0}. \tag{9}$$

Решение однородной части системы (7) с учетом граничных условий (3), (4) и после перехода к оригиналу имеет вид

$$\begin{aligned}
S_1(r, t) &= \frac{Q}{2\pi T_1} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} \frac{e^{\lambda\tau}}{\lambda} K_0(\omega \bar{r}) d\lambda, \\
S_0(r, t) &= \frac{Q}{2\pi T_1} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} \frac{e^{\lambda\tau}}{\lambda(\lambda+1)} K_0(\omega \bar{r}) d\lambda,
\end{aligned} \tag{10}$$

где

$$\omega = \sqrt{\frac{\lambda(\lambda+B_1^0)}{\lambda+1}}, \quad \bar{r} = \sqrt{\frac{b_0 r^2}{a_1}}. \tag{11}$$

Подынтегральные функции (8) и (10) имеют особые точки в виде полюсов и точки разветвления. На основе леммы Жордана и теоремы Коши, учитывая также теорему свертки и контуры интегрирования при наличии точки разветвления $(0, -1, -B_1^0)$, получим расчетные формулы [1, 3, 4]

$$\begin{aligned}
S_i(r, t) &= S_{i0}(t) + \frac{Q}{4\pi T_1} R_i(r, t), \quad i = 0, 1, \\
S_{00}(t) &= -\frac{B}{B^0 B_1^{02}} \left\{ B^0 [B_1^0(\tau-1) - 1] - B_1^{02} e^{-\tau} - \bar{e}^{B_1^0 \tau} \right\} - \bar{e}^{(1-e^{-\tau})}, \tag{12} \\
S_{10}(t) &= -\frac{B}{B_1^{02}} (B_1^0 \tau + e^{-B_1^0 \tau} - 1), \\
R_0(r, t) &= \int_{B_1^0}^{\infty} F(\rho, \tau) J_0(A_1(\rho)) d\rho + \int_0^1 F(\rho, \tau) J_0(A_3(\rho)) d\rho, \\
R_1(r, t) &= \int_{B_1^0}^{\infty} F_1(\rho, \tau) J_0(A_1(\rho)) d\rho + \int_0^1 F_1(\rho, \tau) J_0(A_3(\rho)) d\rho,
\end{aligned} \tag{13}$$

где

$$\begin{aligned}
\tau &= b_0 t, \quad F(\rho, \tau) = \frac{e^{-\tau}}{\rho} \left[1 - e^{-\rho\tau} - \frac{1 - e^{-\tau(\rho+1)}}{\rho+1} \right], \\
F_1(\rho, \tau) &= \frac{1 - e^{-\rho\tau}}{\rho}, \quad A_1(\rho) = \left(\sqrt{\frac{\rho(\rho - B_1^0)}{\rho - 1}} \quad \bar{r} \right), \\
A_3(\rho) &= \left(\sqrt{\frac{\rho(B_1^0 - \rho)}{1 - \rho}} \quad \bar{r} \right),
\end{aligned} \tag{14}$$

$J_0(z)$ – функция Бесселя истинного аргумента нулевого порядка.

Функции гидравлических сопротивлений $R_i(r, t)$ протабулированы. При асимптотических решениях системы (10) для больших времен эксплуатации скважин в (12) соответствующие обозначения принимают вид

$$\begin{aligned}
S_{00}^\delta(t) &= -B \frac{B^0 [B_1^0 (\tau - 1) - 1]}{B^0 B_1^{02}} - \bar{e} = -e \left(\frac{B^0}{B_1^0} t + \frac{1}{b_0} \right); \\
S_{10}^\delta(t) &= -\frac{B}{B_1^{02}} (B_1^0 \tau - 1) = -e \frac{B^0}{B_1^0} t, \\
R_i^\delta(r, t) &= -E_i \left(-\frac{r^2}{a^* t} \right), \quad i = 0, 1, \quad a^* = \frac{T_1}{\mu_0 + \mu_1^*}.
\end{aligned} \tag{15}$$

Для большого понижения при $r \rightarrow r_0$ имеем

$$R_1^\delta(r_0, t) = \ln \frac{2,25 a^* t}{r_0^2}. \tag{16}$$

Для малых времен откачки в (12) обозначения будут

$$\begin{aligned}
S_{00}^M(t) &= -\frac{\tau}{6} (B\tau^2 + 6\bar{e}), \quad S_{10}(t) = -\frac{B\tau^2}{2}, \\
R_0^M(t) &= -\Phi_1 \left(\frac{r^2}{a_1}, t \right), \quad \Phi_1 \left(\frac{r^2}{a_1}, \tau \right) = \int_0^\tau E_i \left(-\frac{r^2}{4a_1 u} \right) du, \\
R_1^M(r, t) &= -E_i \left(-\frac{r^2}{4a_1 t} \right), \quad R_1^M(r_0, t) = \ln \frac{2,25 a_1 t}{r_0^2},
\end{aligned} \tag{17}$$

где функция $\Phi_1 \left(\frac{r^2}{a_1}, \tau \right)$ протабулирована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Казарян С.М.** Водный обмен на фоне вертикального дренажа.- Ереван: Айастан, 1988.- 269 с.
2. **Полубаринова-Кочина П.Я.** Теория движения грунтовых вод.- М.: Наука, 1977.- 664 с.
3. **Андре-Анго А.** Математика для электро- и радиоинженеров / Пер. с франц. – М.: Наука, 1964.- 772 с.
4. **Казарян С.М., Казарян С.С.** Расчет линейного ряда скважин в многослойной фильтрующей среде при откачке из нижнего водоносного горизонта // ДНАН РА.- 1998.- С. 335-339.

СХА РА . Материал поступил в редакцию 12.03.2001.

Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Գ.Ա. ԱԼՈՅԱՆ

ՋՐՀՈՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԵՐԿՇԵՐՏ ԳՐՈՒՆՏԱ - ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ՖԻԼՏՐԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ, ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ՀՈՐԻԶՈՆԻՑ ՋՐԱՌԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Դիտարկվում է հիդրավիկական կապի մեջ գտնվող երկշերտ անսահմանափակ գրունտա-ճնշումային ջրային հողաշերտերում ճնշումների որոշման խնդիրը, ճնշումային շերտից հաստատուն ելքով առանձին հորատանցքով ջրառի դեպքում: Հավասարումների համակարգը լուծվել է օպերացիոն հաշվի մեթոդով, առաջարկվում են հաշվարկային բանաձևեր՝ ցանկացած փոքր և մեծ ժամանակներում ջրառի համար:

S.M. GHAZARYAN, G.A. ALOYAN

WELL CALCULATION IN TWO-LAYER GROUND-HEAD FILTERING MEDIUM DURING PUMPING OUT WATER FROM HEAD HORIZON

A pressure determination problem in two-layer ground-head hydraulically connected, unlimited water bearing thickness with permanent pumping out water from the head horizon by single wells is considered. Simultaneous equations are solved by the operational computation method. Design formulas for any little or much time required for pumping out are proposed.

УКРАИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ 10 ЛЕТ

Украинская Технологическая Академия (УТА) является общественной, научно-технической организацией, разрабатывающей и внедряющей наукоемкие технологии, направленные на жизнеобеспечение человека, объединяющей на добровольных началах и защищающей общие интересы ученых, производителей и предприятий разных форм собственности.

После получения Украиной независимости и перехода к рыночной экономике появилась необходимость создания гибкой, самостоятельной негосударственной, научно-технической организации, быстро реагирующей на изменившуюся экономическую ситуацию. В соответствии с этим Украинская Технологическая Академия основана Общим собранием ученых разных отраслей 3 марта 1992 года, зарегистрирована 31 июля 1992 года под № 119 в Администрации Президента Украины с последующей дополнительной перерегистрацией по новому закону Украины в Министерстве юстиции 25 августа 1993 года под № 494.

Современная структура УТА основана на отраслевом и территориальном принципах и объединяет индивидуальных и коллективных членов. Имеется более 20 отраслевых отделов, в том числе по легкой, пищевой, полиграфической, целлюлозно-бумажной, фарфоро-фаянсовой и керамической промышленности, полимерным и композиционным материалам, резине, латексам, сертификации технологий, изделий и материалов, экономике новых технологий, информатике и автоматизации технологических процессов, по разработке новой технологии и оборудования для промышленности, сельского хозяйства, медицины, транспорта, культуры и искусства и др.

По территориальному принципу предусмотрено объединение членов УТА по отделениям: Донецкое, Запорожское, Винницкое, Харьковское, Хмельницкое, Мариупольское, Черкасское, Днепропетровское, Крымское и др., объединяющим ученых разных специальностей. Основные научные работы выполняются по отраслям на хозяйственной основе по предложениям промышленности и сельского хозяйства, например, создание новых видов клеевых и композиционных материалов, технологии и оборудования производства пластмассовой тары. Члены УТА принимают участие в ряде государственных программ, например, «Пищевой белок Украины», «Переработка полимерных отходов» и др. По отделениям участвуют в создании региональных программ развития промышленности и науки, например, проект получения попутного газа при добыче угля, переработка отвалов золы электростанций, обработка пищевых продуктов в электромагнитных полях сверхвысоких частот и др.

В 2002 году насчитывается более 580 членов УТА, большинство которых известные на Украине и за рубежом ученые. Широко представлены в Академии вузы Украины, производственные объединения, областные администрации, страны СНГ и Европы.

УТА проводит и просветительскую работу – научные чтения, научно-практические конференции по актуальной тематике ресурсо- и энергосбережения,

технологиям жизнеобеспечения человека, принимает участие в издании 3-х журналов, например, «Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах». Члены УТА издают 4 газеты, в том числе «News of Ukraine» на английском языке, участвуют в руководстве 3-х телевизионных станций, ряда радиостанций и других средств массовой информации.

Деятельность УТА получила широкое признание не только на Украине, но и за рубежом. Это единственная негосударственная научная организация Украины, установившая официальные отношения с ЮНЕСКО и участвовавшая в 1999 году во Всемирном конгрессе ЮНЕСКО по итогам науки в XX веке и перспективам развития в третьем тысячелетии (World conference on science. UNESCO. 2000, p.528).

Начиная с 1997 года, члены Академии выступают с докладами на всех конгрессах НАТО, принимают участие в совместных научных разработках по программам ООН. Получено и реализуется предложение о совместной научной деятельности с одним из крупнейших американских вузов – Массачусетским технологическим институтом.

Представлены материалы о деятельности ученых Академии во Всемирный энергетический форум в Лас-Вегасе, а также на Международный конгресс «Наука и образование на пороге третьего тысячелетия», проведенный академиями наук Беларуси и России в г.Минске.

Опыт показывает, что новые гибкие формы негосударственных научных организаций на этапе перехода к рыночной экономике позволяют быстрее достичь эффекта в развитии экономики и промышленности Украины.

Особо приятно отметить, что в последние годы устанавливаются творческие связи между учеными УТА и Государственного инженерного университета Армении (ГИУА). Имеющийся в ГИУА мощный научный потенциал является весомой предпосылкой для взаимовыгодного сотрудничества по многим отраслям инженерных наук. УТА всемерно поддерживала и впредь будет поддерживать усилия ГИУА по подготовке высококвалифицированных научно-педагогических кадров, проведению совместных исследований в областях технологии текстильной и легкой промышленности, информационно-измерительной техники. Научные проекты ученых ГИУА, представляемые в различные Международные фонды, как правило, всегда поддерживаются учёными УТА. Уверены, что наше творческое сотрудничество впредь станет более тесным, будет ещё больше способствовать развитию науки и современных технологий в обеих республиках.

**Нестеров Владислав Петрович,
Президент УТА, д.т.н., профессор**

ЯГДЖЯН ВИГЕН ГЕВОРКОВИЧ

(1941 – 2001)

К 60 - летию со дня рождения

22 ноября 2001 г. исполнилось 60 лет видному ученому, известному специалисту в области алгебраической теории кодирования и систем управления базами данных, воспитателю нескольких поколений компьютерных специалистов, **Ягджяну Вигену Геворковичу.**



Виген Ягджян вырос в семье профессиональных инженеров в атмосфере духовности и гуманизма. Уже в школьные годы у него проявились незаурядные способности и склонность к точным наукам. Свою первую награду за победу в Республиканской физической олимпиаде 1956 г., а вместе с ней и благословение в науку В. Ягджян получил от Президента Академии наук Армении, академика

Виктора Амбарцумяна.

Степень кандидата технических наук и широкую известность в 1970 г. Вигену Ягджяну принесли его работы по алгебраической теории кодирования, выполненные под руководством академика Рома Варшамова. Были получены фундаментальные результаты по построению оптимальных и близких к оптимальным циклических кодов, найдены их весовые спектры и кодовые расстояния, синтезированы асимметрические коды, исправляющие пачки ошибок, и другие. Эти результаты послужили основой для построения высокоэффективных средств передачи и защиты информации и стали особенно актуальными для компьютерных сетей наших дней. За этот цикл работ В. Ягджян (совместно с С. Оганесяном) в 1974 году был удостоен премии Ленинского комсомола.

Вся научно-педагогическая деятельность В. Ягджяна неразрывно связана с кафедрами вычислительной техники и программного обеспечения ЕрПИ, где с 1969 г. он работал преподавателем, доцентом, а с 1979 г. бессменным заведующим кафедрой.

Под научным руководством В. Ягджяна разработаны крупные системы управления базами данных “МАШТОЦ” и “УМСАП”, успешно внедренные в различных отраслях народного хозяйства и вузах бывшего СССР, созданы система “Абитуриент” для приема вступительных экзаменов в республике, система АСУ ВУЗ и др.

В эти годы В. Ягджян наряду с научно-педагогической ведет большую общественную работу на постах Главного конструктора АСУ образования Минвуза Армении, члена Главных конструкторов Методического Совета и Минвуза СССР,

Целостность характера В. Ягджяна, умение глубоко проникать в суть вещей и непоколебимое служение истине неразрывно связаны с его способностями к искреннему состраданию и бескорыстной помощи всем, кто к нему обращался.

Глубина знаний, компетентность, доброжелательность и скромность сыскали ему всеобщее уважение и любовь.

За более чем 35-летнюю научно-педагогическую и организаторскую деятельность Виген Ягджян воспитал целую плеяду компьютерных специалистов, которые преумножают свет идей и знаний, полученных в годы учебы, и с благодарностью отдают эти знания народу Армении.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍՏԱԿՅԱՆ Մ.Գ., ԴԵՄԻՐԽԱՆՅԱՆ Ա.Ռ., ՍՈՂՈՄՈՆՅԱՆ Ա.Հ. ԼԱՎԱՐԿՎԱԾ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԴՐՎԱԾՔԸ: Հաղորդում 1. Վիճակագրական փորձարկման հաշվարկային մեթոդիկան և ալգորիթմը	3
ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Մ.Ա. ՀԴԿԱՔԱՐԵՐԻ ՈՒՂԴՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ	11
ՆԻԿՈԼԻԿ ՍՐԵՉԿՈ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԸ ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ՉԱՓԱԳԻՏԱԿԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՔՆԵՐ ՕԳՏԱԳՈՐԾԵԼԻՍ	17
ԱՂԲԱԼՅԱՆ Մ.Գ., ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ Ռ.Ս., ՍԱԼՏԻԿՈՎԱ Ե.Ս. ԿՈՒԵԼԻ ԹՈՒՋԻ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԱԳՈՅԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	25
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Հ.Ս. ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐ	30
ԲԱԳՅԱՆ Ս.Է., ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Լ.Ս., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Ռ., ՏՈՆՈՅԱՆ Ա.Հ., ԴԱՎԹՅԱՆ Ս.Պ. ԱԿՐԻԼԱՄԻՐԻ ԵՎ ԱՆՅՈՂԱԿԱՆ ՇԱՐՔԻ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՆԻՏՐԱՏՆԵՐԻ ՄԵՏԱՂԱԿՈՄՊԼԵՔՍՆԵՐԻ ՊԻՆԴՖԱԶԱՅԻՆ ՖՐՈՆՏԱԼ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅՄԱՆ ՅՈՒՐԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ	38
ԱՖՐԻԿՅԱՆ Տ.Հ. ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՎԱԾ ՀԱՏԻԿՆԵՐՈՎ ԱԼՄԱՍՏԵ ՀԴԿԱՔԱՐԵՐԻ ՊԱՏՐԱՍՏՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ	46
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ.Ս., ԲԱԴԱԼՅԱՆ Ն.Պ., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Կ.Վ., ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ Կ.Կ. ԷԼԵԿՏՐՈՒԼԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՇՎՈՒՄԸ P-U ՏԵՍՔԻ ԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ՝ P-Q ՏԵՍՔԻ ԲԵՌԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ ՎԵՐԱԾՎԵԼՈՒ ԴԵՊՔՈՒՄ	52
ՂՈՒԼՈՅԱՆ Լ.Տ., ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ Ա.Լ. ՓՈՔՐ ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՇՈՒՐՋ	59
ՀԱԿՈԲՋԱՆՅԱՆ Գ.Դ., ՍԱՅԱՐՅԱՆ Վ.Ս. ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԱՅԻՆ ԹՎԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԳԾԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐՈՒՄ ԱՆՅՈՒՄԱՅԻՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԸ ՀԱՇՎԵԼԻՍ	63
ԱՐԵՇՅԱՆ Գ.Լ., ՄԱՅԻԼՅԱՆ Ա.Լ., ՄԱՅԻԼՅԱՆ Վ.Ա. ՊԱՐԱՊ ԸՆԹԱՑՔԻ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ՈՒՆԱԿԱՅԻՆ ՄԻՆԽՐՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ԱՆՅՈՒՄԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԸ ԲԵՌՆԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ	67
ԲԵՐԲԵՐՅԱՆ Գ.Վ. ՀԶՈՐ ՀԻԴՐՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՕԴԱՅԻՆ ԲԱՅԱԿԻ ՈՉ ՀԱՄԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ՀՄԿՄԱՆ ՄԻ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ ...	72

ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ Գ. Հ., ՄԱԿԱՐՅԱՆ Գ. Ա., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա. Վ.	
ԽՈՐԸ ՄԱԿԱՐԴԱԿՆԵՐՈՎ P-N ԱՆՑՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ...	78
ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Մ.Ք.	
ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՅԻ ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՍՊԱՌՄԱՆ ՄՈՂԵԼԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՐՅԻ ՇՈՒՐԶ	84
ՆԵՐՄԻՍՅԱՆ Վ.Բ.	
ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ԶԵՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐԸ ..	89
ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ս. Հ., ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Ա. Գ.	
ԳԾԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱԿԵՏ ԵԶՐԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՈՒՂՂԱԿԻ ՄԵԹՈԴ	95
ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ Բ. Մ., ՄԱՆՈՒՍԱԶՅԱՆ Է. Ռ., ՇԱՀԲԱԶՅԱՆ Վ. Վ.	
ՄԱՆՐԱԹԵԼԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԳԶՄԱՆ ԵՎ ՄԱՔՐՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՅՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԻՄՆԱՀԱՐՅԵՐԸ .	104
ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ն. Լ., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Վ. Վ.	
ՊՏՏՄԱՆ ԿՈՆԱԿԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՀԱՏՈՒՅԹՆԵՐԻ ՆԿԱՏՄԱՍԲ ՀԱՐԹ ԻՆՎԵՐՄԻԱՆԵՐԻ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԲԱԶՄՈՒԹՅՈՒՆ	111
ՍԱՐԳՍՅԱՆՅ Մ. ՅՈՒ.	
ԲԱԶՄԱԶՈՓ ԴԻՆԱՄԻԿ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԳԾԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ	117
ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Յ. Պ.	
ՑԱՆԿԱԼԻ ՍՊԵԿՏՐՈՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՍԻՆԹԵԶ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ	121
ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Տ. Գ.	
ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՀՈՍՔԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ	129
ՊԱՊՅԱՆ Ս. Ռ.	
ՎԻՇՆԵԳՐԱԴՄԿՈՒ ԴԻԱԳՐԱՄԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐՐՈՐԴ ԿԱՐԳԻ ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԱՄԱՐ	135
ՊՈՂՈՍՅԱՆ Մ. Հ., ՅԱՂԶՅԱՆ Վ. Գ.	
ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԶԵՎԱՓՈԽՄԱՆ ՄԵԿ ՄԵԹՈԴԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ	139
ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ս. Մ., ԱԼՈՅԱՆ Գ. Ա.	
ԶՐՀՈՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԵՐԿՇԵՐՏ ԳՐՈՒՆՏԱ - ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ՖԻԼՏՐԱՅԻՈՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ, ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ՀՈՐԻԶՈՆԻՑ ԶՐԱՌԻ ԴԵՊՔՈՒՄ	142
ՈՒԿՐԱԻՆԱՅԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ 10 - ԱՄՅԱԿԸ.	147
ՅԱՂԶՅԱՆ ՎԻԳԵՆ ԳԵՎՈՐԳԻ	
ԾՆՆԴՅԱՆ 75-ԱՄՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅԱՄԲ	149

СОДЕРЖАНИЕ

СТАКЯН М.Г., ДЕМИРХАНИЯН А.Р., СОГОМОНЯН А.А. ПОСТАНОВКА ОПТИМАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ Сообщение 1. Расчетная методика и алгоритм статистического эксперимента	3
ГРИГОРЯН М.А. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ	11
НИКОЛИК СРЕЧКО МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА	17
АГБАЛЯН С.Г., ЕГИАЗАРЯН Р.С., САЛТЫКОВА Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОВКОГО ЧУГУНА	25
ПЕТРОСЯН А.С. АРМИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	30
БАГЯН С.Э., МАНУКЯН Л.С., ХАЧАТРЯН А.Р., ТОНОЯН А.О., ДАВТЯН С.П. ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ АКРИЛАМИДА С НИТРАТАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ	38
АФРИКЯН Т.Г. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ АЛМАЗНЫМИ ЗЕРНАМИ	46
ХАЧАТРЯН В.С., БАДАЛЯН Н.П., ХАЧАТРЯН К.В., МАРКАРЯН К.К. РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИ- ЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, КОГДА СТАНЦИОННЫЕ УЗЛЫ ТИПА Р-У ПРЕВРАЩАЮТСЯ В НАГРУЗОЧНЫЕ УЗЛЫ ТИПА Р-Q	52
КУЛОЯН Л.Т., МХИТАРЯН А.Л. ОБ ОЦЕНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК	59
АКОПДЖАНИЯН Г. Д., САФАРЯН В. С. ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЧИСЕЛ К РАСЧЕТУ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ	63
АРЕШЯН Г.Л., МАИЛЯН А.Л., МАИЛЯН В.А. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЕМКОСТНОМ СИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ ПРИ НАБРОСЕ НАГРУЗКИ НА ГЕНЕРАТОР, РАБОТАЮЩИЙ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА	67
БЕРБЕРЯН Г.В. ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ КОНТРОЛЯ АСИММЕТРИИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА МОЩНЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ	72

КИРАКОСЯН Г.Г., МАКАРЯН Г. А., ПЕТРОСЯН А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ P-N - ПЕРЕХОДА С ГЛУБОКИМИ УРОВНЯМИ	78
БАГДАСАРЯН М. К. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ	84
НЕРСИСЯН В.Б. МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ	89
СИМОНЯН С.О., АВЕТИСЯН А.Г. ПРЯМОЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОТОЧЕЧНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ	95
МАМИКОНЯН Б.М., МАНУСАДЖЯН Э.Р., ШАХБАЗЯН В.В. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РАЗРЫХЛЕ- НИЯ И ОЧИСТКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ	104
КАЗАРЯН Н.Л., ГЕВОРГЯН В.В. ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МНОЖЕСТВО ПЛОСКИХ ИНВЕРСИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО СЕЧЕНИЙ КОНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ	111
САРКИСЯНЦ М.Ю. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ	117
ГРИГОРЯН Ф.П. СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ С ЖЕЛАЕНЫМ СПЕКТРОМ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	121
ГРИГОРЯН Т.Г. АНАЛИЗ КЭШИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ	129
ПАПЯН С.Р. АНАЛОГ ДИАГРАММЫ ВЫШНЕГРАДСКОГО ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА	135
ПОГОСЯН М.О., ЯГДЖЯН В.Г. АНАЛИЗ ОДНОГО МЕТОДА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ	139
КАЗАРЯН С.М., АЛОЯН Г.А. РАСЧЕТ СКВАЖИНЫ В ДВУХСЛОЙНОЙ ГРУНТОВО-НАПОРНОЙ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИ ОТКАЧКЕ ВОДЫ ИЗ НАПОРНОГО ГОРИЗОНТА	142
УКРАИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ 10 ЛЕТ	147
ЯГДЖЯН ВИГЕН ГЕВОРКОВИЧ К 60-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ.	149

CONTENTS

<i>STAKYAN M.G., DEMIRKHANYAN A.R., SOGHOMONYAN A.H.</i>	
OPTIMAL FATIGUE TEST ARRANGEMENT	
Information 1. Design procedure and statistical test algorithm	3
<i>GRIGORYAN M.A.</i>	
HEAT PHENOMENA IN GRINDING WHEEL STRAIGHTENING	11
<i>SRECKO NIKOLIC</i>	
A DETERMINATION METHOD OF DYNAMICS FOR THE UTILIZATION OF METROLOGICAL CAPACITIES IN PRODUCTION PROCESSES	17
<i>AGBALYAN S.G., YEGHIAZARYAN R.S., SALTIKOVA E.S.</i>	
BASIC PRINCIPLES OF MALLEABLE CAST IRON STRUCTURE FORMATION	25
<i>PETROSSYAN H.S.</i>	
REINFORCED MATERIALS WITH STRUCTURAL DESIGNATION	30
<i>BAGHYAN S.E., MANUKYAN L.S., KHACHATRYAN H.R., TONOYAN A.O., DAVTYAN S.P.</i>	
PECULIARITIES OF SOLID STATE POLYMERIZATION IN ACRYLAMIDE METAL-COMPLEXES WITH TRANSITION METAL NITRATES	38
<i>AFRIKYAN T.H.</i>	
GRINDING WHEEL MANUFACTURING TECHNOLOGY WITH ORIENTED DIAMOND GRAINS	46
<i>KHACHATRYAN V.S., BADALYAN N.P., KHACHATRYAN K.V., MARKARYAN K.K.</i>	
ELECTRIC POWER SYSTEM STANDARD PRACTICE CONDITION CALCULATION WHEN P-U TYPE STATION NODES TURN INTO P-Q TYPE LOADING NODES	52
<i>GHULOYAN L.T., MKHITARYAN A.L.</i>	
POWER EFFICIENCY ESTIMATION OF SMALL COMBINED SETTINGS	59
<i>HAKOPJANYAN G.D., SAFARYAN V.S.</i>	
STRUCTURAL NUMBER APPLICATION TO THE TRANSITIONAL PROCESS CALCULATION IN LINEAR ELECTRICAL CIRCUITS	63
<i>ARESHYAN G.L., MAILYAN A.L., MAILYAN V.A.</i>	
TRANSITIONAL PROCESSES IN CAPACITIVE SYNCHRONOUS GENERATOR BY ADDING LOAD ON GENERATOR WORKING ON NO-LOAD MODE	67

BERBERYAN G.V. ON AN ASYMMETRY CONTROL METHOD OF HIGH-POWER HYDROGENERATOR AIR-GAP	72
KIRAKOSSYAN G.H., MAKARYAN G.A., PETROSSYAN A.V. INVESTIGATION OF THE P-N JUNCTION WITH THE DEEP LEVELS	78
BAGHDASARYAN M.K. ON PROBLEM OF ACTIVE POWER MODEL DEVELOPMENT CONSUMED BY ORE – MILLED MILLS	84
NERSESSYAN V.B. MAGNETIC CIRCUITS OF SOME FUNCTION GENERATORS WITH A VARIABLE STRUCTURE	89
SIMONYAN S.H., AVETISSYAN A.G. DIRECT METHOD OF LINEAR MULTIPOINT BOUNDARY PROBLEMS SOLUTION	95
MAMIKONYAN B.M., MANUSAJYAN ED.R., SHAHBAZYAN V.V. COMPUTER-AIDED CONTROL SYSTEM DEVELOPMENT PROBLEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR LOOSENING AND REFINING FIBROUS MATERIALS	104
GHAZARYAN N. L., GEVORGYAN V. V. SINGLE PARAMETER SET OF FLAT INVERSIONS RELATIVE TO ROTATING CONICAL CROSS-SECTIONS	111
SARKISIAN TS M. Yu. LINEAR MODEL CONSTRUCTION ALGORITHM OF MULTIDIMENSIONAL DYNAMIC SYSTEMS	117
GRIGORYAN F.P. CONTROL SYNTHESIS WITH DESIRABLE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM	121
GRIGORYAN T.G. ANALYSIS OF CASH INFORMATION FLOWS TO INCREASE COMPUTER NETWORK FUNCTIONING EFFICIENCY	129
PAPYAN S.R. VISHNEGRADSKY'S DIAGRAM DETERMINATION FOR PULSE SYSTEMS OF THE THIRD ORDER	135
POGHOSSYAN M.H., YAGHJYAN V.G. ANALYSIS OF FREQUENCY TRANSFORM METHOD	139
GHAZARYAN S.M., ALOYAN G.A. WELL CALCULATION IN TWO-LAYER GROUND-HEAD FILTERING MEDIUM DURING PUMPING OUT WATER FROM HEAD HORIZON	142
THE UKRAINIAN TECHNOLOGICAL ACADEMY – 10 YEARS	147
YAGHJYAN VIGEN GEVORK ON THE 60-th ANNIVERSARY OF BIRTH	149

«Հայաստանի Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի և Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի տեղեկագիր. տեխնիկական գիտությունների սերիա» հանդեսում տպագրվում են տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները տեխնիկական գիտությունների հետևյալ բաժիններից՝ մեքենաշինություն, նյութագիտություն, շինարարական կառուցվածքներ, հիդրավլիկա և հիդրոտեխնիկական կառույցներ, էներգետիկա, էլեկտրատեխնիկա, գիտական սարքաշինություն և չափողական տեխնիկա, հաշվողական տեխնիկա և ինֆորմատիկա, ռադիոէլեկտրոնիկա, լազերային տեխնիկա, ավտոմատացում և կառավարման համակարգեր:

Հանդեսում լուսաբանվում են ակադեմիական և ճյուղային գիտահետազոտական ինստիտուտների, բուհերի, գիտաարտադրական միավորումների և այլ կազմակերպությունների գիտական գործունեության առավել կարևոր արդյունքները:

Հանդեսի հիմնական նպատակն է՝ խթանել գիտատեխնիկական առաջընթացը և նպաստել արտադրության մեջ այդ արդյունքների ներդրմանը:

Հանդեսը նախատեսված է ճարտարագետների, հետազոտողների և գիտնականների լայն շրջանների համար: Լույս է տեսնում չորս ամիսը մեկ անգամ:

В журнале "Известия Национальной Академии наук РА и Государственного инженерного университета Армении. Серия технических наук" публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований, охватывающих основные разделы технических наук: машиностроение, материаловедение, строительные конструкции, гидравлика и гидротехнические сооружения, энергетика, электротехника, научное приборостроение и измерительная техника, вычислительная техника и информатика, радиоэлектроника, лазерная техника, автоматизация и системы управления.

Журнал является периодическим изданием, освещающим наиболее важные результаты научной деятельности академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных объединений и др.

Основная цель журнала - пропагандировать фундаментальные и прикладные исследования в области технических наук, способствовать внедрению их результатов и ускорению научно-технического прогресса в производстве.

Журнал рассчитан на широкий круг ученых, исследователей и инженеров. Выходит один раз в четыре месяца.

The journal "Reports of the National Academy of Sciences and the State Engineering University of Armenia. Series of Technical Sciences" publishes the results of theoretical and experimental investigations concerning the main branches of technical sciences: mechanical engineering, material sciences, civil engineering constructions, hydraulics and hydrotechnical constructions, power and electrotechnical engineering, measurement techniques, computer sciences and informatics, radioelectronics, laser techniques, automation and control systems.

The journal is a periodical that represents the most important results of the scientific activities at academic and branch scientific-research institutions, Universities, research industrial companies, etc.

The main task of the journal is the propaganda of fundamental and applied investigations in the field of technical sciences and promotion of their introduction and acceleration of the scientific and technological progress in industry.

The journal is oriented towards the wide range of scientists, researchers and engineers. It is published quarterly.

