

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ,
Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ա.Խ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՍԱՐԴԻՍՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա.Թ. ՔՈՒՉՈՒԿՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

ՀԱՍՄԻԿ Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ՀԱՍՄԻԿ Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2013

М.Г. СТАКЯН, Ш.ДЖ. СИСТАНИ, М.С. ТОРОСЯН

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ
ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

На основе комплексного учета проектно-технологических мероприятий дана количественная оценка надежности конструкции машины выводом математических моделей процессов усталостных повреждений и поверхностного упрочнения для ответственных деталей конструкции.

Ключевые слова: вал, параметры кривой усталости, поверхностное пластическое деформирование, надежность, математическая модель.

Проблема создания современной конструкции конкурентоспособной машины, отличающейся высокой производительностью, безотказностью работы за весь срок службы, выпускаемой в крупносерийном или массовом производстве, обладающей минимальной материалоемкостью и затратами на изготовление и эксплуатацию в условиях подорожания конструкционных и горюче-смазочных материалов, выдвигает требования по использованию всего резерва несущей способности ответственных деталей и сборочных единиц конструкции. Этого можно достичь за счет регулирования напряженно-деформированного состояния опасных сечений деталей, выбора доступных и недорогих марок конструкционных сталей и применения упрочняющих технологий для повышения сопротивления усталости и износостойкости их рабочих поверхностей [1-3].

Однако прогнозирование надлежащего уровня безотказности работы элементов конструкции, различных по размерам и формам, технологии изготовления, режимам нагружения и эксплуатационным условиям, является сложной задачей. Это обусловлено тем, что на выносливость деталей влияет большое число факторов, разнообразное сочетание действия которых затрудняет надежную оценку их работоспособности с вероятностных позиций [4].

Для достоверного определения характеристик сопротивления усталости необходимо воспользоваться уравнениями семейств квантильных линий усталости, параметром которых является уровень вероятности неразрушения $P(N)$, представленный квантилем z_p нормированной функции нормального распределения $P(z)$, и которые имеют следующий вид:

- для зоны $N \leq 5 \cdot 10^6$ (левая ветвь) –

$$N \leq N_{G(v)}, \lg N = (\lg \overline{N_{(v)}} + z_{pS_{Nr(v)}}) - (\overline{m_{(v)}} + z_{pS_{m(v)}})(\lg \sigma - \lg \overline{\sigma_{(v)}}) = C_{(v)} - m_{(v)} \lg \sigma; \quad (1)$$

- для зоны $N > 5 \cdot 10^6$ (правая ветвь) -

$$N > N_{G(v)}, \lg N_{G(v)}, \lg \sigma_{R(v)} = (C_{(v)} - \lg N_{G(v)}) / m_{(v)}. \quad (2)$$

В (1)-(2) приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} m_{(v)} &= \overline{m_{(v)}} + z_P s_{m(v)}, \quad C_{(v)} = \overline{C_{(v)}} + z_P s_{C(v)}, \quad \overline{m_{(v)}} = \overline{r_{(v)}} / s_{N(v)}^2, \\ \overline{C_{(v)}} &= \overline{m_{(v)}} \lg \sigma_{(v)} + \lg N_{(v)}, \quad s_{Nr(v)} = s_{N(v)} \sqrt{(1 - r_{(v)}^2)(n-1)/(n-2)}, \\ s_{m(v)} &= (s_{N(v)} / s_{\sigma(v)}) \sqrt{(1 - r_{(v)}^2)(n-1)/(n-2)}, \quad s_{C(v)} = s_{Nr(v)} + s_{m(v)} \lg \sigma_{(v)}, \\ r_{(v)} &= \mu_{(v)} / s_{N(v)} s_{\sigma(v)}, \quad \lg N_{(v)} = \frac{1}{n} \sum_1^n \lg N_{i(v)}, \quad \lg \sigma_{(v)} = \frac{1}{n} \sum_1^n \lg \sigma_{i(v)}, \quad (3) \\ s_{N(v)} &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (\lg N_{i(v)} - \lg N_{(v)})^2}, \quad s_{\sigma(v)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (\lg \sigma_{i(v)} - \lg \sigma_{(v)})^2}, \\ \mu_{(v)} &= \frac{1}{n-1} \sum_1^n (\lg N_{i(v)} - \lg N_{(v)})(\lg \sigma_{i(v)} - \lg \sigma_{(v)}), \end{aligned}$$

где $m_{(v)}, C_{(v)}$ - показатели наклона и параметры квантильных линий усталости; $\lg \sigma_{(v)}, \lg N_{(v)}$ - координаты центров распределения циклических долговечностей; $s_{Nr(v)}$ - меры индивидуального рассеяния данных на уровнях центров распределения; $s_{m(v)}$ - с.к.о. показателей наклона; $\mu_{(v)}$ - корреляционные моменты; $r_{(v)}$ - коэффициенты линейной корреляции; $\lg \sigma_{(v)}, \lg N_{(v)}$ - координаты экспериментальных точек; n - объем испытаний (в (1)-(3) принята краткая форма представления параметров, например, $\overline{m_{(v)}}$ означает $\overline{m}$ или $\overline{m_v}$ для левой ветви квантильных линий).

В уравнениях (1)-(3) величины m, C, N_G, σ_R являются интегральными характеристиками прочности и долговечности деталей в широком интервале многоциклового усталости ($10^5 \leq N \leq 10^7$), практически охватывающем весь срок службы современных машин и технологического оборудования и представляющем значительный интерес. Указанные величины взаимосвязаны. На основании теоретико-экспериментальных разработок, базирующихся на анализе значительного объема вычислений, выведены эмпирические функции [3]

$$m = f_1(\sigma_R), C = f_2(\sigma_R), C = f_3(m), N_G = f_4(\sigma_R), \quad (4)$$

которые являются уравнениями регрессии первой степени ($|r| = 0,85 \dots 0,95$) и позволяют с достаточной точностью расчетным путем определить основные параметры (1)-(3), минуя длительные и дорогостоящие испытания на усталость (особенно натурные).

Эксплуатационные свойства и несущая способность деталей машин в значительной степени определяются физико-механическим состоянием их рабочих поверхностей. Эффективным и доступным методом формирования поверхностного слоя является поверхностное пластическое деформирование (ППД), которое изменяет микроструктуру и свойства материала, повышает его твердость и прочность за счет остаточных сжимающих напряжений, снижает шероховатость поверхности и создает регулярный микрорельеф. Форма микронеровностей этого микрорельефа благоприятна практически для всех случаев эксплуатационных режимов, т.к. пологая форма выступов и впадин на 1...2 порядка ниже, чем при обработке резанием, и характеризуется большей опорной поверхностью [4].

В [5,6] рассмотрено изменение характеристик физико-механического состояния поверхностных слоев валов, изготовленных из среднеуглеродистой и низколегированной стали 40Х в состоянии поставки ($\sigma_B = 870 \text{ МПа}$, $HV = 215 \dots 250$), широко применяемой в передаточных механизмах машин различного назначения, в зависимости от режимных параметров упрочняющей технологии (обкатка роликом). Изменение этих величин представлено в виде многопараметрической зависимости

$$\Psi(HV, \Delta h, R_a, R_z, R_{max}, v, s, t, F) = 0, \quad (5)$$

которая для практического применения, аналогично (4), заменена системой параметрических функций:

$$HV = f_1(\Delta h, F, s), HV_{max} = f_2(F, s), \Delta h = f_3(F, s), R_a, R_z, R_{max} = f_{4,5,6}(F, s), \quad (6)$$

где HV – микротвердость; F и s - нормальная сила (H) и продольная подача обкатываемого элемента, мм/об ; R_a, R_z, R_{max} - параметры шероховатости обработанной поверхности, мкм ; Δh - глубина наклепанного слоя, мм .

Полученный экспериментальный материал обработан по вычислительной программе [5]. Выведены математические модели процесса упрочнения, позволяющие выбрать оптимальные параметры упрочняющей технологии [6].

Логическим завершением вычислений, которые до настоящего времени раздельно относятся к математическому моделированию процессов накопления усталостных повреждений с одной стороны и выполнению упрочняющих технологий - с другой, является третий этап расчетных процедур: установление функциональных связей между двумя группами параметров указанных процессов, позволяющее дать оценку надежности конструкции машины на основе комплексного учета расчетно-проектных и технологических мероприятий.

Для точного воспроизводства регрессионных связей между параметрами (1)-(3) в данной работе рассматривается вариант получения указанных связей только при учете упрочняющих технологий, т.к. взаимное расположение сравниваемых семейств квантильных линий усталости имеет свои отличительные особенности - точка перегиба линий усталости $G(\sigma_R, N_G)$ с увеличением степени наклепа поверхностных слоев деталей до определенной величины перемещается в зону больших циклических перенапряжений и долговечностей, а показатели рассеяния циклических долговечностей несколько снижаются [3]. На градиент параметров (1)-(3) влияют также вид упрочняющей технологии и ее совместное применение с термообработкой или нанесением защитных покрытий. Учитывая весь спектр действия различных факторов, из всего объема ранее выполненных исследований выбраны и классифицированы варианты испытаний, относящиеся к валам, изготовленным из конструкционных сталей 45 и 40Х, подвергнутых пластическому обкатыванию поверхностей упрочняющим инструментом и испытанных при циклическом изгибе или изгибе с кручением. Рассмотренные испытания классифицированы по диаметру d , коэффициенту концентрации напряжений α_σ , глубине наклепанного слоя Δh и режимным параметрам обкатывания V, s, t .

Аналогично (5), для новой группы параметров, характеризующих материало-ведческие, прочностные и технологические аспекты проектирования, предложена новая многопараметрическая связь:

$$\Phi[(\sigma_B, \sigma_R, HB, M), (C, m, N_G, d, \alpha_\sigma), (V, S, t, \Delta h, HV)] = 0, \quad (7)$$

которая также заменена новой системой уравнений

$$\begin{cases} \Delta h = \varphi_1(F, S), \overline{\sigma_R} = \varphi_2(\Delta h, \alpha_\sigma, d), d = \varphi_3(\overline{\sigma_R}, \alpha_\sigma, \Delta h), \delta M = \varphi_4(d, \alpha_\sigma, \Delta h), \\ \bar{m} = \varphi_5(\overline{\sigma_R}), \bar{C} = \varphi_6(\bar{m}), \bar{m} = \varphi_7(HV_{max}), \bar{m} = \varphi_8(\Delta h), \end{cases} \quad (8)$$

где δM – относительное снижение массы детали при уточнении прочностных расчетов.

Классифицируя и используя ранее выполненный значительный объем экспериментальных исследований по ППД ответственных деталей и узлов машин, составлены базы данных параметров (7) для наиболее распространенного конструкционного материала – стали 40Х. Для выбора вида математической модели из уравнений

$$y_x = a_0 + a_1 x, \quad (9)$$

$$y_x = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (10)$$

$$y_x = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3, \quad (11)$$

$$y_x = a_0 + a_2 x^{-(m+\Delta m)} \quad (12)$$

применен пакет прикладных программ (ППП) [5], позволяющий выполнить трехуровневую оптимизационную процедуру по методу наименьших квадратов (МНК) – графический выбор функций из (9)-(12); расчеты минимальных сумм квадратов разностей $E_i = \sum (y_i - y_{xi})^2 \Rightarrow \min$; выбор оптимальной функции из (9)-(12), обеспечивающей условие

$$\min(E_i \Rightarrow \min). \quad (13)$$

Результаты статистических вычислений представлены в табл. 1 – 3.

Таблица 1

Выбор оптимальной функции для $\overline{\sigma_R} = \varphi_2(\Delta h, \alpha_\sigma, d)$

№	Образцы, $d=7,5 \dots 20 \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	Значения E для (9) - (12)				Параметры оптимальной функции			
			(9)	(10)	(11)	(12)	a_0	a_1	$a_2 \cdot 10^6$	$a_3 \cdot 10^9$
1	Гладкие	7,5	45,030	45,029	45,027	45,033	485334	-6,676	21	1,5
2		10,0	9,875	9,873	9,872	9,878	485870	-4,194	7,2	2,3
3		15,0	15,488	15,484	15,465	15,491	517427	-4,926	16	0,95
4		20,0	25,842	25,839	25,836	25,845	550714	-4,928	4,1	1,4
5	С концентраторами напряжений $\alpha_\sigma = 1,01 \dots 1,69$	7,5	144,487	144,482	144,480	144,490	310833	-1,837	3,2	1,5
6		10,0	1,479	1,473	1,471	1,482	372119	-1,414	11	1,6
7		15,0	14,642	14,593	14,541	14,645	396861	-1,824	1,8	1,4
8		20,0	39,719	39,712	39,710	39,722	432923	-2,291	0,81	0,62
9		7,5	2,146	2,139	2,136	2,149	188627	-1,305	2,4	1,4
10		10,0	12,432	12,398	12,379	12,435	244478	-2,063	2,1	1,9
11		15,0	4,397	4,389	4,386	4,413	265133	-1,697	0,63	0,58
12		20,0	2,508	2,505	2,504	2,512	294365	-2,313	2,5	1,8

Таблица 2

Выбор оптимальных функций для $d = \varphi_3(\bar{\sigma}_R, \alpha_\sigma, \Delta h)$ и $\delta M = \varphi_4(d, \alpha_\sigma, \Delta h)$

№	Образцы, $d=7,5 \dots 20$ мм	Δ , мм	Значения $E \cdot 10^5$ для (9) - (12)				Параметры оптимальной функции				
			(9)	(10)	(11)	(12)	a_0	a_1	$\frac{a_2 \cdot 10^4}{a_2 \cdot 10^6}$	$\frac{a_3 \cdot 10^5}{a_3 \cdot 10^8}$	
1	Гладкие	0	$\frac{0,0022}{-}$	$\frac{0,0021}{-}$	$\frac{0,0023}{-}$	$\frac{0,0024}{-}$	$\frac{0,0025}{-}$	$\frac{1,000}{-}$	$\frac{2,000}{-}$	$\frac{-1}{-}$	
2		0,05	$\frac{0,0011}{40}$	$\frac{0,0011}{30}$	$\frac{0,0011}{30}$	$\frac{0,0012}{170}$	$\frac{0,0026}{1,0220}$	$\frac{0,999}{-0,0153}$	$\frac{-1}{7,2}$	$\frac{5}{2,3}$	
3		0,10	$\frac{0,0012}{6}$	$\frac{0,0012}{4}$	$\frac{0,0012}{2}$	$\frac{0,0013}{8}$	$\frac{0,0028}{0,9641}$	$\frac{0,999}{0}$	$\frac{2}{1,6}$	$\frac{-5}{0,95}$	
4		0,15	$\frac{0,0030}{1}$	$\frac{0,0028}{0,8}$	$\frac{0,0026}{0,8}$	$\frac{0,0039}{4}$	$\frac{0,0034}{0,9264}$	$\frac{0,999}{0}$	$\frac{-6}{4,1}$	$\frac{7}{1,4}$	
5	С концентраторами напряжений	$\alpha_\sigma = 1,01 \dots 1,69$	0	$\frac{1,875^*}{-}$	$\frac{1,863^*}{-}$	$\frac{1,861^*}{-}$	$\frac{1,986^*}{-}$	$\frac{0,0025}{-}$	$\frac{1,000}{-}$	$\frac{2}{-}$	$\frac{-5}{-}$
6			0,05	$\frac{1,875^*}{2}$	$\frac{1,873^*}{1}$	$\frac{1,872^*}{1}$	$\frac{2,075^*}{6}$	$\frac{0,0026}{0,8886}$	$\frac{0,999}{0}$	$\frac{0}{3,2}$	$\frac{-3}{1,5}$
7			0,10	$\frac{1,875^*}{0,02}$	$\frac{1,873^*}{0,007}$	$\frac{1,871^*}{0,02}$	$\frac{1,995^*}{0,06}$	$\frac{0,0028}{0,8500}$	$\frac{0,999}{0}$	$\frac{-4}{11}$	$\frac{2}{1,6}$
8			0,15	$\frac{1,875^*}{0,5}$	$\frac{1,872^*}{0,4}$	$\frac{1,870^*}{0,4}$	$\frac{2,071^*}{1}$	$\frac{0,0034}{0,8020}$	$\frac{0,999}{0}$	$\frac{2}{1,8}$	$\frac{-3}{1,4}$
9		$\alpha_\sigma = 1,70 \dots 3,12$	0	$\frac{1,875^*}{-}$	$\frac{1,874^*}{-}$	$\frac{1,873^*}{-}$	$\frac{1,922^*}{-}$	$\frac{0,0025}{-}$	$\frac{1,000}{-}$	$\frac{1}{-}$	$\frac{1}{-}$
10			0,05	$\frac{1,875^*}{9}$	$\frac{1,876^*}{7}$	$\frac{1,872^*}{6}$	$\frac{2,075^*}{20}$	$\frac{0,0026}{0,8385}$	$\frac{0,999}{0,0010}$	$\frac{-5}{0,81}$	$\frac{8}{0,62}$
11			0,10	$\frac{1,875^*}{3}$	$\frac{1,873^*}{2}$	$\frac{1,871^*}{2}$	$\frac{2,003^*}{10}$	$\frac{0,0028}{0,7975}$	$\frac{0,999}{-0,0001}$	$\frac{0}{2,4}$	$\frac{-4}{1,4}$
12			0,15	$\frac{1,875^*}{0,8}$	$\frac{1,874^*}{0,6}$	$\frac{1,872^*}{0,6}$	$\frac{1,986^*}{3}$	$\frac{0,0034}{0,7423}$	$\frac{0,999}{-0,0001}$	$\frac{-6}{2,1}$	$\frac{7}{1,9}$

Примечания: 1. В числителе даны расчетные данные для $d = \varphi_3(\bar{\sigma}_R, \alpha_\sigma, \Delta h)$, а в знаменателе - $\delta M = \varphi_4(d, \alpha_\sigma, \Delta h)$.

2. Значения E , обозначенные *, представлены без множителя $\cdot 10^5$.

Таблица 3

Выбор оптимальных функций для $\bar{m} = \varphi_5(\bar{\sigma}_R)$, $\bar{C} = \varphi_6(\bar{m})$

№	Функции параметров кривой усталости	Значения E для (9) - (12)				Параметры оптимальной функции			
		(9)	(10)	(11)	(12)	a_0	a_1	a_2	a_3
1	$m = \varphi_1(\bar{\sigma}_R)$	98,905	98,864	98,861	106,012	-0,665	0,034	$5,7 \cdot 10^6$	$-9,4 \cdot 10^9$
2	$\bar{C} = \varphi_2(\bar{m})$	21,753	21,132	20,657	699,184	4,470	2388	0,051	-0,002

Предварительный анализ данных табл. 1 – 3 свидетельствует о преобладающей значимости кубической параболической связи (11), для которой и представлены коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 . Однако значения a_2, a_3 в большинстве случаев указывают на незначительное влияние на конечный результат 2-го и 3-го членов уравнения (11), который меняется в пределах допустимых расчетных погрешностей ($\sim 5 \dots 8\%$). Поэтому в практических расчетах можно дать предпочтение прямолинейной связи (9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Несущая способность упрочненных деталей машин / **А.Ф. Дашенко, В.С. Кравчук, В.Д. Иоргачев**. - Одесса: Астропринт, 2004. - 160 с.
2. **Курочкин Л.Я.** Статистический подход к выбору технологии и упрочнения деталей машин // Респ. межвед. н.-т. сб. "Детали машин". - Киев: Техника, 1990. - Вып. 51. - С. 90 - 94.
3. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин / **Н.В. Олейник, В.П. Кычин, А.Л. Луговской**. - Киев: Техника, 1984. - 151 с.
4. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин / **И.М. Жарский, И.Л. Баршай, Н.А. Свидуневич** и др. - Минск: Выш. шк., 2010. - 336 с.
5. **Стакян М.Г., Систани Ш.Дж., Айказян М.Э.** Математическое моделирование процесса упрочнения рабочих поверхностей // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2013. - Т. 66, N 1. - С. 20 - 27.
6. **Стакян М.Г., Систани Ш.Дж., Айказян М.Э.** Моделирование физико-механического состояния поверхностных слоев с применением упрочняющих технологий // Вестн. ГИУА (П). Сер. "Механика, машиновед., машиностр". - 2013. - Вып. 16, N 3. - С. 52 – 58.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 08.01.2013.

Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Շ.Ջ. ՄԻՍԹԱՆԻ, Մ.Ս. ԹՈՐՈՍՅԱՆ

**ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ
ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆ ԴԵՊԶՈՒՄ**

Նախագծատեխնոլոգիական միջոցառումների համալիր հաշվառման հիման վրա տրվել է մեքենայի կառուցվածքի հուսալիության քանակական գնահատումը՝ դուրս բերելով կառուցվածքի պատասխանատու մեքենամասերի հոգնածային վնասվածքների և մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացիան գործընթացների մաթեմատիկական մոդելները:

Առանցքային բառեր. լիսեռ, հոգնածային կորի պարամետրեր, մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացում, հուսալիություն, մաթեմատիկական մոդել:

M.G. STAKYAN, SH.J. SISTANI, M.S. TOROSYAN

**MACHINE ELEMENTS STRENGTH AND LONGEVITY ASSESSMENT IN CASE OF
SURFACE PLASTIC DEFORMATION**

On the basis of a complex consideration of design-and-technological measures, a quantitative evaluation of the structure reliability has been given by deriving mathematical models of fatigue damages and surface strengthening of responsible elements of the structure.

Keywords: shaft, parameters of fatigue curve, surface plastic deformation, reliability, mathematical model.

В.А. МАРТИРОСЯН, А.Ю. ШМАВОНЯН, М.Э. САСУНЦЯН, А.С. НИКОГОСЯН

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АЗОТИРОВАННОГО
ФЕРРОХРОМА ПУТЕМ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ХРОМИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ АРМЕНИИ**

Разработана новая, нетрадиционная технология получения азотированного феррохрома из хромитовых концентратов Севанского месторождения методом внепечного алюминотермического восстановления. Выбраны оптимальные условия для обеспечения максимального выхода феррохрома. Изучены процессы структурообразования полученного сплава в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Ключевые слова: хромитовый концентрат, алюминотермия, восстановление, феррохром, железо, хром.

Введение. Развитие экономической базы Республики Армения непосредственно связано как с созданием и широким внедрением новых видов материалов с особыми свойствами, так и с разработкой новых прогрессивных методов их получения. К числу таких материалов относятся азотированные хромовые стали, отличающиеся большой механической прочностью, износостойкостью и стойкостью по отношению к различным агрессивным средам. Азот является аустенитобразующим элементом и успешно заменяет в стали никель, вольфрам, ванадий и другие дефицитные и ценные элементы [1,2]. Наряду с другими назначениями эти сплавы нашли применение также в военной промышленности и в быстрорежущих инструментах. На практике такие стали получают легированием азотированным феррохромом, что представляет собой довольно сложный, энергоемкий процесс, требующий дорогостоящего оборудования, вследствие чего азотированные хромовые стали дефицитны и ввозятся в нашу страну.

Между тем в республике имеются руды, которые могут служить сырьем для получения азотированного феррохрома. К ним относятся хромитовые руды Шоржинского месторождения Севанского бассейна, которые ранее применялись в производстве солей хрома (хромпиков), а в дальнейшем – огнеупорных материалов. Однако эти руды некачественны и содержат всего 18...22% Cr_2O_3 [3]. Учитывая важность хромсодержащих легированных сплавов в экономике республики, а также новые сведения относительно больших запасов этих месторождений, отмечается необходимость разработки технологии их рационального использования, тем более что, как показали предварительные исследования, методом гравитационного обогащения этих руд можно получить хромконцентрат с содержанием 53% Cr_2O_3 , который удовлетворяет условиям металлургической обработки [4].

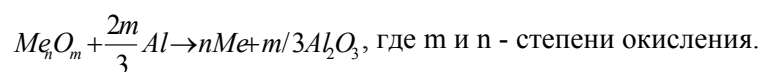
Таким образом, разработка рациональной технологии металлургической переработки хромитовых руд Севанского месторождения с получением азотированного феррохрома является актуальной задачей, исходя из требований республики.

Совершенным и рациональным способом получения феррохрома является алюминотермический метод, который позволяет получить этот сплав совместным восстановлением оксидов железа и хрома, находящихся в хромите. Процесс алюминотермического восстановления хромитов представляет собой самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), в результате которого количество выделяемой энергии удовлетворяет самопроизвольное течение процесса и не требует расхода тепла извне. Этот процесс можно осуществлять внепечным способом, что является преимуществом данного метода.

В случае необходимости, в шихту можно добавить NaNO_3 , CrO_3 , алюминотермическое восстановление которых экзотермично и приводит к увеличению теплового баланса восстановительного процесса. Добавление NaNO_3 позволяет получить ценный азотированный феррохром.

Благодаря высоким температурам (3000...3500 K), получаемым в процессах СВС, шихта будто бы кипит. В этих условиях железо и хром восстанавливаются и, растворяясь, образуют сплав, а смешанные оксиды (SiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , Al_2O_3), содержащиеся в шихте, образуют труднорастворимые шлаки, которые после остывания легко отделяются от металлической фазы. Осуществить такие условия нагрева в тонком слое твердого вещества за счет внешнего источника нагрева энергии довольно трудно или почти невозможно. Вышеуказанные экстремальные условия определяют преимущество процесса СВС [5-8].

Термодинамический анализ системы хромит - Al. Рассмотрены теоретические основы алюминотермического процесса получения феррохрома из хромитового концентрата. Представлены закономерности процесса алюминотермического восстановления, указаны основы технологического горения. Процесс алюминотермического восстановления хромитов рассматривается как технологическое горение или горение в конденсированной фазе, которое осуществляется за счет кислорода, связанного с металлом, по следующей реакции:



Для осуществления внепечного алюминотермического восстановления должны быть обеспечены не только условия самопроизвольного протекания восстановительной реакции по всему объему, но и условия разделения металлической и шлаковой фаз. Поэтому необходимым условием осуществления внепечного процесса является равенство теплоты экзотермической реакции восстановления ($Q_{\text{экз}}$) с теплотой, необходимой для плавления продуктов восстановления ($Q_{\text{плав}}$), и тепловыми потерями ($Q_{\text{пот}}$), которые должны компенсироваться от

начала процесса плавления до формирования металлической фазы [1,2]. Таким образом, внепечное алюминотермическое восстановление возможно при условии: $Q_{\text{экз}} \geq Q_{\text{плав}} + Q_{\text{пот}}$.

Проведен теоретический расчет этих теплот: $Q_{\text{экз}} = 383,45 \text{ кДж/моль}$, $Q_{\text{плав}} = 3073 \text{ К}$, а $Q_{\text{пот}} = 18,70\%$, а также термодинамический анализ процесса алюминотермического восстановления хромитов с целью выяснения вероятности селективного восстановления оксидов железа и хрома при совместном присутствии смеси оксидов (CaO , MgO , SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3). Термодинамические расчеты показали вероятность селективного восстановления оксидов железа и хрома в присутствии смеси оксидов в процессе алюминотермического восстановления хромитов.

Получение хромитового концентрата. В качестве хромсодержащего сырья были использованы хромовые руды Севанского месторождения [3].

Микроскопические исследования показали, что отделение хромшпинелида от пустой породы происходит довольно легко. Так, при размерах $-0,500...+0,315 \text{ мм}$ количество свободных хромшпинелидов составило 85%. Эта фракция и была подвергнута дальнейшему обогащению на концентрационном столе марки 30 КЦ со скоростью вращения дека $300...430 \text{ об./мин}$ и шагом дека $8...16$. В результате получено три продукта: хромитовый концентрат с содержанием 53% Cr_2O_3 ($\gamma = 40,3\%$, $\beta = 36,3\%$, $\varepsilon = 84,8\%$), хвосты с содержанием 7,0% Cr_2O_3 ($\gamma = 49,4\%$, $\beta = 49\%$, $\varepsilon = 14,03\%$) и шлам с содержанием 2,76% Cr_2O_3 ($\gamma = 10,3\%$, $\beta = 1,93\%$, $\varepsilon = 1,16\%$). Полученный хромитовый концентрат имел следующий химический состав, %: $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 53,0$; $\text{FeO} - 12,0$; $\text{SiO}_2 - 3,0$; $\text{MgO} - 17,0$; $\text{CaO} - 1,1$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 14,1$; $\text{S} - 0,03$ и $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,02$, что позволяет применять его для получения феррохрома алюминотермическим способом.

Методика эксперимента. Эксперименты проводились в реакторе (рис. 1а), представляющем собой металлическую емкость, состоящую из двух частей. Нижняя часть наполнена кварцевым песком, верхняя часть представляет собой коническую крышку, открытую сверху. В середине нижней части реактора в кварцевом песке делались углубления, где помещался образец шихты, состоящий из исходных смесей стехиометрического состава. Шихта помещалась в яму кварцевого песка и закрывалась конической крышкой. В центре образца заливался инициатор ($\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C}$). Горение осуществлялось с помощью раскаленной электрическим током вольфрамовой спирали с верхнего торца образца. В этих условиях в поверхностных слоях смеси возбуждается химическая реакция и формируется волна горения, распространяющаяся с постоянной скоростью по всей длине образца, тем самым имеет место СВС. Горение протекает в течение $10...15 \text{ с}$ в пределах температур $2300...2500^\circ\text{C}$. После охлаждения продукты горения образуют металлическую (рис. 1б) и шлаковую (рис. 1в) фазы, причем металлическая фаза представляет собой сплошной кусок, который собирается на дне шлака и легко

отделяется от него. После взвешивания металлическая и шлаковая фазы подвергались химическому (определялось содержание железа и хрома) и рентгенофазовому анализам.



Рис. 1. Лабораторная СВС установка (а), металлические (б) и шлаковые (в) фазы

Для измерения параметров процесса горения (температуры и скорости) использовались вольфраморениевые термопары диаметром 0,2 мм. Управление экспериментом и запись сигналов термопар осуществлялись с помощью персонального компьютера, подключенного к установке. Микроскопические измерения проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа типа (SEM) VEGA TS 5130MM, Tescan, Czech Republic, Microanalysis Sistem INCA Energy 300, рентгенофазовое исследование – с помощью рентгенографа марки ДРОН-2 с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения и никелевого фильтра в следующем режиме: напряжение - 25 кВ, сила тока - 10 мА, скорость записи – $420 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Приведены материальный и тепловой балансы шихты. Определены количества составляющих шихту компонентов для обработки хромитового концентрата. Согласно этим расчетам, шихта должна состоять из хромитового концентрата (57,06 кг), алюминиевого порошка (21,97 кг), селитры (14,39 кг), CrO_3 (5,71 кг) и железного скрапа (0,87 кг). С целью увеличения теплового баланса в шихту добавлены NaNO_3 и CrO_3 , причем добавление NaNO_3 одновременно способствует получению ценного азотированного феррохрома. Расчетная удельная теплота процесса составляла 90 кДж/моль-экв .

Результаты эксперимента и их обсуждение. Рассмотрена роль восстановителя в процессе алюминотермического восстановления хромитов. Показано, что важным фактором здесь является степень измельчения восстановителя и хромита. Наилучшие результаты получены при измельчении восстановителя и хромита до размера зерна - 0,063 мм, при котором создаются благоприятные условия контакта.

Другим важным фактором восстановительного процесса является подбор количества восстановителя. Наилучшие результаты получены при стехиометрическом содержании восстановителя 120% (рис. 2). В этих условиях выход феррохрома составляет 98%. Добавление восстановителя способствует дальнейшему увеличению выхода феррохрома, но в этом случае часть восстановителя

переходит в восстановленный феррохром (рис. 3). Излишнее количество восстановителя приводит к образованию низшего оксида алюминия и к потерям восстановителя, а излишнее количество алюминия – к увеличению скорости восстановления шихты. Однако в случае сверхстехиометрического содержания более 120% скорость восстановления уменьшается в связи с увеличением теплового эффекта растворения алюминия.

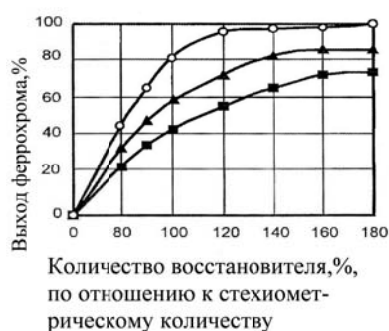


Рис. 2. Зависимость выхода феррохрома от количества восстановителя при различной степени измельчения алюминия

○ - 0,063 мм, ▲ - 0,125 мм,
■ - 0,50 мм

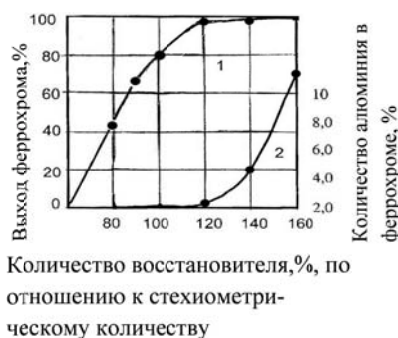


Рис. 3. Зависимость выхода феррохрома (1) и содержания в нем количества Al (2) от количества восстановителя (%) по отношению к теоретическому

Изучено также влияние флюса (СаО) на скорость алюминотермического восстановления. Выбраны оптимальные технологические параметры. Показано, что при количестве восстановителя 120% от стехиометрически необходимого количества и содержании не более 30% СаО можно получить азотированный феррохром без следов в нем алюминия.

Проведен рентгенофазовый анализ полученной металлической фазы. На рис. 4 показана рентгенограмма компонентов, составляющих данную шихту.

Как видно из рисунка, в конце алюминотермического восстановления в полученном продукте все линии погашаются и преобразуются в три линии, характеризующие феррохром. Рентгенофазовым анализом показано, что полученный сплав в основном состоит из феррохрома (Fe-Cr), α Fe и Cr. Результаты спектрального анализа подтвердили, что количество алюминия в полученном феррохроме составляет всего $10^{-4}\%$. По данным химического анализа, полученный феррохром имеет следующий состав, %: Cr–67,96; Fe–30; N–0,98; C–0,05; Si–1,0; S–0,03; P–0,03, который по ГОСТ 4357–91 соответствует марке ФХ100Н.

На рис. 5 приведены также окончательные микроснимки полученного сплава. Как видно из рисунка, полученный феррохром гомогенный и имеет прочную структуру.

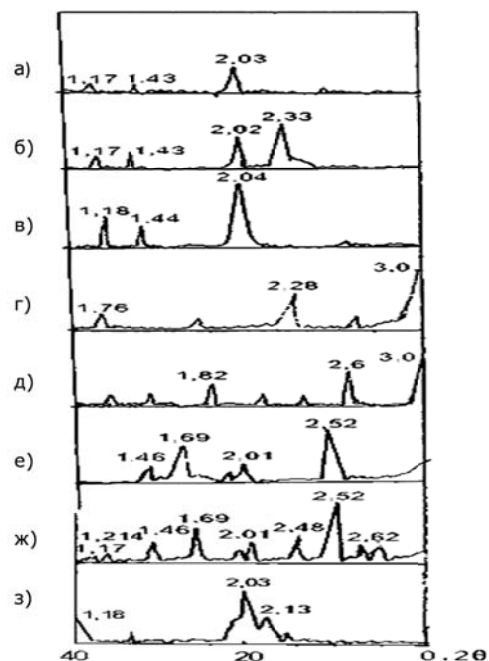


Рис.4. Рентгенограммы:
 а - Fe; б - Al; в - Cr; г - оксидов железа;
 д - оксидов хрома; е - хромитового
 концентрата; ж - исходной шихты; з -
 полученных металлических продуктов

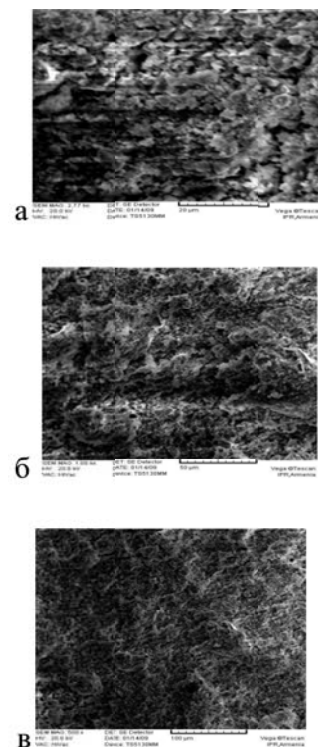


Рис.5. Окончательные микроснимки
 полученного сплава (увеличение:
 а - - 500, б - 1000 и в - 2700)

Проведены также рентгенофазовый и спектральный анализы шлаковой фазы. Результаты анализов показали, что полученные шлаки высокоглиноземистые, состоят в основном из корунда, шпинелей и β -глинозема и могут быть использованы в различных стекловаренных и металлургических печах.

Исследован механизм процесса алюминотермического восстановления хромитов с получением феррохрома. Исследования проводились методами дериватографического, рентгенофазового, металлотермического, спектрального и химического анализов. В качестве исходных материалов были использованы химически чистые вещества и хромитовый концентрат, полученные опытами обогащения. Рассмотрены отдельные системы, способствующие не только раскрытию и оценке процесса алюминотермического восстановления, но и проведению важных теоретических и практических исследований по изучению характера кривых ДТА и ТГ. Нагревание проводилось на дериватографе марки ДРОН – 1500 при температуре 300...1500 °C.

Дериватографические исследования системы $\text{NaNO}_3 + \text{Al}$ (рис. 6а) показали, что восстановительный процесс здесь начинается аналогичным образом. На кривой видны различные эндо- и экзоэффекты, что объясняется разложением и восстановлением нитрата натрия. Восстановительный процесс доходит до максимального значения при 1600°C .

Таким же образом изучены и другие системы. Так, в системе $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{Al}$ (рис. 6б) восстановление начинается после плавления алюминия при 800°C и протекает по следующим стадиям: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$.

Восстановительный процесс в системе $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_3 + \text{Al}$ (рис. 6в) начинается при более высокой температуре и, как отмечается в литературе, также протекает постадийно: $2\text{Cr}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Cr}_{15}\text{O}_{13} \rightarrow \text{Cr}_{15}\text{O}_{12} \rightarrow \text{CrO} \rightarrow \text{Cr}$. В конце процесса восстановленный хром с алюминием образуют различные интерметаллические соединения по диаграмме системы $\text{Cr}-\text{Al}$.

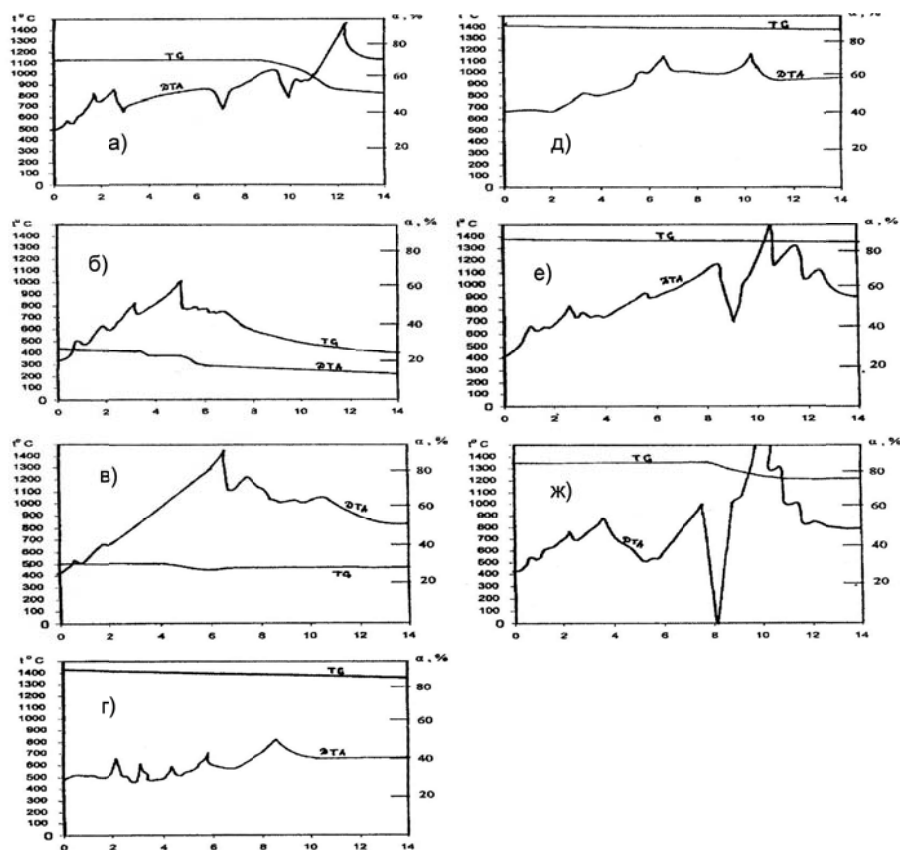


Рис. 6. Дериватографические кривые (DTQ и TQ):

а - $\text{NaNO}_3 + \text{Al}$, б - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{Al}$, в - $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_3 + \text{Al}$, г - $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}$, д - $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Al}$, е - хромконцентрат + Al , ж - шихта

В системах $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{Al}$ и $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Al}$ (рис. 6 г,д) тепловые эффекты связаны только с процессом силикатообразования, что подтверждается результатами термодинамических расчетов.

Изучена механическая система $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}$. Выявлено, что восстановительный процесс здесь начинается, как и в случае отдельных оксидов, после образования жидкого алюминия. При этом вначале восстанавливается железо (при 800°C), затем хром из Cr_2O_3 . Отмечено, что восстановительный процесс протекает быстрее по сравнению с отдельно взятым Cr_2O_3 , так как заранее восстановленное железо становится восстановителем для Cr_2O_3 . При увеличении содержания Cr_2O_3 процесс восстановления сдвигается в сторону высоких температур. При соотношении $\text{Cr}:\text{Fe}=1:1$ восстановленный хром диффундирует в железо, образуя феррохром.

В системе $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}$ (рис. 6 е) восстановительный процесс протекает так же, как и в случае механической смеси. Здесь большой эндоэффект на кривой связан с разложением хромита, которое начинается при температуре 1300°C после полного восстановления железа. После чего начинается восстановление Cr_2O_3 . В свободном виде Cr_2O_3 восстанавливается труднее, чем хромит, т.к. дальнейшее его восстановление связано с предварительно восстановленным железом, который, непрерывно растворяя в себе Cr , сдвигает равновесие в сторону восстановления Cr_2O_3 .

Процесс восстановления шихты (рис. 6 ж) аналогичен вышеописанным случаям. Здесь протекают все процессы, как и в случаях отмеченных выше систем. Однако шпинели восстанавливаются труднее, чем отдельные оксиды, и температура интенсивного восстановления сдвигается в сторону высоких значений. После распада шпинелей (большой эндоэффект на кривой) процесс восстановления протекает с высокой скоростью, образуя большие экзо- и эндоэффекты. По всей видимости, этому способствует наличие NaNO_3 , где теплота выделения при восстановлении интенсифицирует как восстановительный, так и шлакообразовательный процессы.

Исходя из вышеизложенного, предложен механизм алюминотермического восстановления хромитового концентрата, согласно которому начало реакции связано с преодолением диффузионных трудностей оксидной пленки алюминия. Вначале происходит γ - α переход оксидной пленки, затем ее разрыв и плавление. Отмечено, что процесс восстановления развивается за счет соприкосновения твердых оксидов с плавным алюминием. Жидкий Al образует капиллярный поток (миграцию) на поверхности твердых зерен, после чего начинается восстановительный процесс. Взаимодействие алюминия с хромшпинелидом совершается за счет диффузии твердых оксидов в кристаллической решетке. Одновременно с разрывом оксидного слоя по образовавшимся капиллярам жидкий алюминий легко перемещается в сторону новых реакционных областей, после чего начи-

нается процесс восстановления. Вначале восстанавливается железо, причем этот процесс протекает по следующим стадиям: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$. Восстановленное железо становится восстановителем для Cr_2O_3 . При этом восстановленный хром, растворяясь в железе, сдвигает равновесие в сторону восстановления Cr_2O_3 , которое также протекает постадийно. Реакция $\text{NaNO}_3 + \text{Al}$ активизирует не только восстановительные, но и шлакообразовательные процессы. Процесс восстановления хромитовых концентратов протекает более интенсивно, чем отдельных оксидов. Смеси оксидов участвуют только в процессах шлакообразования.

Выводы

1. Изучен процесс получения азотированного феррохрома путем алюминотермического восстановления хромитового концентрата, полученного обогащением бедных хромитовых руд Севанского месторождения. Восстановление хромитов представляет собой СВС, в результате которого развиваются высокие температуры. Поэтому процесс получения феррохрома можно проводить внепечным способом. Выполнены расчеты некоторых тепловых параметров для процесса внепечного алюминотермического восстановления хромитов. Определены режимы горения и самораспространения пламени по всему объему шихты: удельная, *моль-эквивалентная* теплота ($3740 \text{ Дж/моль} \cdot \text{экв}$), теплота экзотермической реакции ($383,5 \text{ кДж/моль}$) и тепловые потери (18,7%). Определена температура расплава (3073 K).

2. Проведен термодинамический анализ процесса внепечного алюминотермического восстановления хромитов. Показано, что оксиды железа и хрома имеют большую вероятность к восстановлению, а смесь оксидов – к шлакообразованию при совместном присутствии их в шихте в процессе алюминотермического восстановления.

3. Изучены технологические закономерности процесса внепечного алюминотермического восстановления хромитов. Выбраны оптимальные технологические параметры процесса. На основе рентгенофазовых, спектральных и химических методов проведен анализ полученных металлических фаз. Результаты анализа подтвердили, что металлическая фаза представляет собой феррохром в твердом растворе $\alpha \text{ Fe+Cr}$, который соответствует стандартному составу феррохрома марки ФХ100Н.

4. На основе дериватографических, рентгенофазовых и микроскопических методов анализа изучен механизм процесса внепечного алюминотермического восстановления хромитов. Рассмотрены отдельные системы, позволяющие раскрыть некоторые вопросы механизма данного процесса.

5. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана технологическая схема получения азотированного феррохрома путем внепечного алюминотермического восстановления хромитового концентрата, полученного обогащением бедных руд Севанского месторождения. Предлагаемая технология отличается простотой, не требует энергетических расходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пленер Ю.Л., Сучильников С.И., Рубинштейн Е.А. Алюминотермическое производство ферросплавов и лигатур. - М.: Металлургия, 1963.- 175 с.
2. Рысс М.А. Производство ферросплавов.- М.: Металлургия, 1975.- 435 с.
3. Алоян П.Г. Вещественный состав и металлоносность хромитовых руд Тапасарского месторождения.- Ереван: ЗАО "Горно-металлургический институт Севанской офиолитовой полосы".- Ереван, 2005.- 32с.
4. Юхвид В.И. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Теория и практика / Под ред. А.Е. Сычева.- Черногловка: Территория, 2001.- 252 с.
5. Дуррер Р., Фолькерт Г. Металлургия ферросплавов.- М.: Металлургия, 1976.- 479 с.
6. Тарасов А.Г., Горшков В.А., Юхвид В.И // Тезисы докладов Второй Всероссийской школы-семинара по структурной макрокинетике для молодых ученых.- Черногловка, 2004.- С. 26.
7. Дубровин. А.С. Перспективы развития алюминотермического производства ферросплавов.- М.: Металлургия, 1993. – 715 с.
8. Мержанов А.Г., Юхвид В.И., Боровинская И.П. // ДАН СССР.- 1980.- Т. 255, №1.- С. 120.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 17.03.2013.

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.ՅՈՒ. ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ, Մ.Է. ՍԱՍՈՒՆՅԱՆ, Ա.Ս. ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ

ԱԶՈՏԱՑՎԱԾ ՖԵՐՈՔՐՈՄԻ ՄՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՔՐՈՄԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԱՅԻՆ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Մշակված է ազոտացված ֆերոքրոմի ստացման նոր, ոչ ավանդական տեխնոլոգիա Սևանի տարածքի Շորժայի քրոմիտների ալյումինաթերմային վերականգնման եղանակով: Ընտրվել են օպտիմալ տեխնոլոգիական պարամետրեր՝ ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզի ռեժիմում համաձուլվածքի առավելագույն ելք ապահովելու նպատակով:

Առանցքային բաներ. քրոմիտային խտանյութ, ալյումինաթերմիա, վերականգնում, ֆերոքրոմ, երկաթ, քրոմ:

**V.H. MARTIROSYAN, A.YU. SHMAVONYAN, M.E. SASUNTSYAN,
A.S. NIKOGHOSYAN**

**DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR OBTAINING NITRIDED FERROCHROMIUM
BY ALUMINOTHERMAL REDUCTION OF CHROMITE CONCENTRATES OF
ARMENIA**

The new nontraditional technology for obtaining nitrided ferrochromium from chromite concentrates of the Sevan deposit is developed by the method of extra-oven aluminothermal reduction. Optimum conditions for providing the maximum exit of ferrochromium are chosen. The structurization processes of the alloy obtained in the regime of a self-spreading high-temperature synthesis are studied.

Keywords: chromite concentrate, aluminothermy, reduction, ferrochromium, iron, chromium.

М.Р. МХИТАРЯН

**УСТАНОВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ОБУВИ
МЕТОДОМ АПРИОРНОГО РАНЖИРОВАНИЯ**

Изучены параметры, влияющие на микроклимат обуви. Методом априорного ранжирования осуществлён выбор и дано научное обоснование основных параметров, характеризующих микроклимат обуви. Из предложенных экспертами-специалистами десяти параметров отобраны четыре: температура и относительная влажность внутриобувного пространства, время эксплуатации и суммарное тепловое сопротивление обуви.

Ключевые слова: обувь, параметр, температура, влажность, время, сопротивление.

Важными показателями качества обуви являются ее гигиенические свойства. Рост потребности в обуви во всем мире обуславливает необходимость использования искусственных и синтетических материалов при ее изготовлении. Поэтому следует более глубоко изучать микроклимат обуви и гигиенические свойства обувных материалов.

Обеспечение комфортных условий эксплуатации обуви требует сохранения постоянного микроклимата. Микроклимат обуви зависит от ряда факторов и свойств, а именно: температуры и относительной влажности внутриобувного пространства, времени эксплуатации, суммарного теплового сопротивления и массы обуви, энергозатрат организма, теплопроводности материалов, их воздухопроницаемости, водопроницаемости и влагопоглощаемости [1].

Исследованию свойств обуви посвящено значительное количество научных трудов. Однако имеющиеся данные противоречивы в силу различия условий проведения экспериментов. Поэтому для оценки гигиенических свойств обувных материалов необходимо проведение экспериментов по определению единичных свойств, формирующих гигиеничность обуви, обеспечивая одинаковые условия их проведения.

Для исследования микроклимата обуви экспериментальным путем определены температура и относительная влажность внутриобувного пространства, масса обуви во время её эксплуатации, теплопроводность, воздухопроницаемость, влагопроницаемость и влагопоглощаемость обувных материалов. Эксперименты по исследованию температуры и относительной влажности внутриобувного пространства и массы обуви проводились в специальной климатической камере [2]. В табл. 1 приведены данные результатов экспериментов [3].

Таблица 1

Результаты экспериментов в климатической камере

N	Показатель	Периодичность выполнения измерений, ч							
		0	1	2	3	4	6	7	8
1	Масса обуви, г	549,9	550	550,5	551,1	-	551,6	551,7	551,8
2	Относительная влажность, %	66,3	67,4	68,5	69,8	-	73,5	74,2	79,2
3	Температура, °C	25,9	26,3	-	27,2	28,0	29,4	30,2	31,1

Теплопроводность обувных материалов определялась на специальной установке [4], а суммарное тепловое сопротивление теплопроводности пакета материалов - по формуле

$$R_{\lambda j} = \sum_{i=1}^n \delta_{ij} / \lambda_{ij},$$

где δ_{ij} - толщина обувного материала, определяемая с помощью толщиномера; λ_{ij} - теплопроводность этого материала.

Воздухопроницаемость материалов определялась на приборе ПВЗ, а водопроницаемость и влагопоглощаемость материалов - на приборе ПВС-2 [1].

Очевидно, что для оценки микроклимата обуви целесообразно использовать минимально возможное число показателей. Из множества параметров, характеризующих микроклимат обуви, надо выбрать основные.

Выбор и научное обоснование основных параметров осуществлялись методом априорного ранжирования. Экспертами-специалистами была предложена группа параметров - $X_1, X_2, \dots, X_{10}$, которые соответствуют требованиям, предъявляемым к микроклимату обуви:

- X_1 - температура внутриобувного пространства;
- X_2 - относительная влажность внутриобувного пространства;
- X_3 - воздухопроницаемость;
- X_4 - водопроницаемость;
- X_5 - масса обуви;
- X_6 - влагопоглощаемость;
- X_7 - время эксплуатации обуви;
- X_8 - теплопроводность материала;
- X_9 - энергозатраты организма;
- X_{10} - суммарное тепловое сопротивление обуви.

Число экспертов - $m = 17$. Оценки экспертов приведены в табл. 2. Данные таблицы используются для определения коэффициентов значимости. Сумма

рангов $\sum_{i=1}^n s_{ij}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$\Sigma S = (1 + 2 + 3 + \dots + n) = 0.5n(n + 1) = 0.5 * 10(10 + 1) = 55.$$

Сумма рангов - S_i любого X_i – свойства по вертикали рассчитывается по формуле

$$S_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}; j = 1, \dots, 17$$

и используется для сравнительной оценки важнейших характеристик в табл.2.

Таблица 2

Результаты опроса экспертов-специалистов

m	Сравнительные оценки, n										Σ
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	
1	10	9	4	2	3	5	8	1	6	7	$\sum_{i=1}^m S_{ij} = 55$
2	9	10	5	6	2	1	7	3	6	8	
3	10	8	2	1	5	4	9	3	7	6	
4	8	7	6	3	5	1	10	4	2	9	
5	8	10	1	6	4	3	7	2	5	9	
6	7	9	2	3	6	4	8	1	5	10	
7	9	8	1	4	3	2	10	6	5	7	
8	9	10	3	1	2	5	7	4	6	8	
9	8	9	1	3	4	3	10	2	6	7	
10	10	8	5	4	1	2	9	3	7	6	
11	9	10	4	5	2	1	8	6	3	7	
12	10	8	5	4	3	2	7	6	1	9	
13	9	7	3	6	2	5	4	10	1	8	
14	9	10	5	4	3	1	8	6	2	7	
15	8	9	4	6	1	2	7	5	3	10	
16	10	5	3	9	4	1	8	7	2	6	
17	6	8	2	7	3	4	9	1	10	5	
$\sum_{i=1}^m a_{ij}$	149	145	56	74	53	46	136	70	77	129	-
$\bar{a}_j = \sum_{i=1}^m a_{ij}/m$	8,8	8,5	3,3	4,3	3,1	2,7	8,0	4,1	4,5	7,6	-
y_i	0,026	0,026	0,155	0,148	0,144	0,155	0,033	0,157	0,1	0,051	-
S_{j0}	-	-	56	70	53	46	-	75	68	-	368
y_{i0}	-	-	0,243	0,232	0,225	0,243	-	0,246	0,156	-	-
$S_i - S$	94	90	1	19	-2	-9	81	15	22	74	-
$(S_i - S)^2$	8836	8100	1	361	4	81	6561	225	484	5476	30129
Коэффициент конкордации W=1,26 Критерий Пирсона $\chi^2 = 192,8$											

Относительную значимость отдельных свойств удобно оценить коэффициентом значимости, который для любого фактора рассчитывается по формуле

$$\gamma_i = \frac{m \cdot n - S_i}{m \cdot n^2 - m \cdot \sum R_{ji}}.$$

Из всех факторов выделяется более значимый, для которого

$$j_j > \frac{1}{n} \Rightarrow j_j > \frac{1}{10}.$$

Для любого выделяемого фактора относительный коэффициент значимости рассчитывается по следующей формуле [5]:

$$\gamma_{io} = \frac{m \cdot n - S_i}{m \cdot n \cdot n_o - \sum_{i=1}^n S_{jo}},$$

где S_{jo} - сумма рангов любых отдельных факторов; n_o - количество выделяемых факторов.

Гипотезу о наличии согласия во мнениях специалистов проверяем с помощью коэффициента конкордации W по следующей формуле [5]:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^m (S_i - S)^2}{\frac{1}{12} \cdot m^2 \cdot (n^3 - n)} = \frac{30129}{\frac{1}{12} \cdot 17^2 \cdot (1000 - 10)} = \frac{30129}{23842,5} = 1,26,$$

где S - средняя сумма всех факторов,

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = 0,5 \cdot (n+1) \cdot n = 0,5 \cdot (10+1) \cdot 10 = 55.$$

Коэффициент конкордации в нашем случае $W > 1,26$, а значит, связь между факторами сильная.

Статистическую значимость коэффициента W оцениваем по критерию Пирсона [5]:

$$\chi^2 = Wm(n-1) = 1,26 \cdot 17 \cdot (10-1) = 192,8.$$

Рассчитанное значение критерия сравниваем с табличным значением при выбранном числе степеней свободы и уровне значимости - $S = n - 1$ и $q = 0,05$.

Так как $\chi^2 > \chi^2_{\tau} \Rightarrow 192,8 > 12,6$, то можно утверждать о наличии согласия в мнениях специалистов.

Для анализа результатов ранжирования строим априорные диаграммы рангов. Диаграмма, построенная по суммам рангов из табл. 2, показана на рисунке.

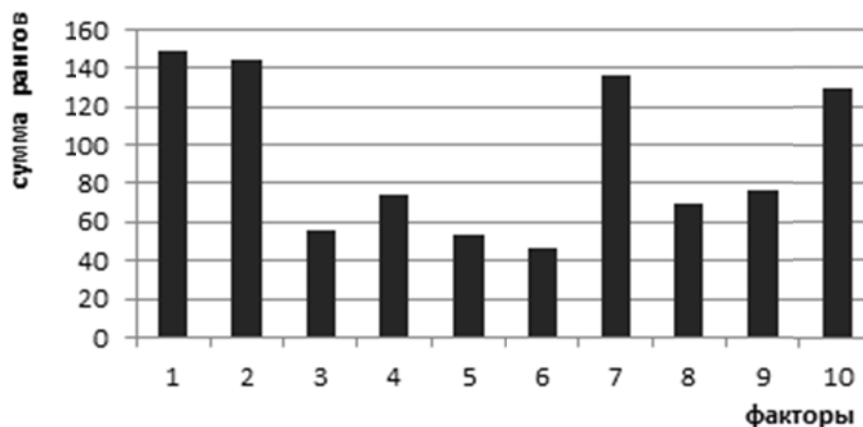


Рис. Диаграмма рангов

Анализ диаграммы рангов показывает, что изученные факторы можно разбить на три группы:

1. X_1, X_2, X_7, X_{10} .
2. X_4, X_8, X_9 .
3. X_3, X_5, X_6 .

Окончательное суждение о группах, на которые разбиваются факторы, можно провести следующим образом. Будем считать, что ранги по каждому из факторов представляют собой случайную выборку со средним рангом $\bar{a}_j$. Эти средние ранги сравниваем между собой и формируем группы факторов, для которых средние ранги статистически значимо не отличаются.

Поскольку объемы выборок одинаковы, рекомендуем К-критерий Линка и Уоллеса, использующий размахи отдельных выборок R_j , средние значения которых сравниваются, и размах средних $R(\bar{a}_j)$:

$$K_{\text{расч}} = \frac{v R(\bar{a}_j)}{\sum_{j=1}^v R_j},$$

где v - число сравниваемых средних; j - номер средней.

Размахи ранжировок j -го фактора:

$$R_j = a_{ij_{\max}} - a_{ij_{\min}}$$

и средние ранги $\bar{a}_j$ приведены в табл. 1.

Считается, что сравниваемые средние не различаются между собой, если расчетное значение $K_{\text{расч}}$ оказывается меньше табличного $K_{\text{табл}}$ при выбранном уровне значимости α , числе членов выборки ($m=10$) и числе сравниваемых средних v .

Проверим, различаются ли между собой средние ранги для факторов X_1, X_2, X_7, X_{10} , включенных нами в группу 1:

$$K_{\text{расч}} = \frac{4(8,8-7,6)}{4+5+6+5} = 0,24.$$

Из приложения [5] $K_{\text{табл}} = 0,98$ при $\alpha = 0,05$; $m = 10$; $v = 4$. Поскольку $K_{\text{расч}} < K_{\text{табл}}$, можно считать, что средние ранги рассматриваемых четырех факторов не различаются между собой, и они действительно образуют единую группу.

Объединим теперь факторы групп 1 и 2. В этом случае

$$K_{\text{расч}} = \frac{7(8,8-4,1)}{4+5+8+6+9+9+5} = 0,71,$$

что больше $K_{\text{табл}} = 0,63$ при $\alpha = 0,05$; $m = 10$; $v = 5$. Следовательно, группы 1 и 2 факторов различаются между собой.

Теперь можно подвести итоги априорного ранжирования. Выделены три группы факторов, влияющих на микроклимат обуви:

1. X_1, X_2, X_7, X_{10} .
2. X_4, X_8, X_9 .
3. X_3, X_5, X_6 .

Факторы группы 1, по мнению специалистов, являются более важными, поэтому именно их следует включить в программу исследований.

Таким образом, выбираем те свойства, которые соответствуют представленным требованиям, а именно: температура и относительная влажность внутриобувного пространства, время эксплуатации и суммарное тепловое сопротивление обуви.

Предложен параметр гигиеничности обуви H , характеризующий микроклимат обуви, который является комплексным показателем четырех основных гигиенических факторов.

С помощью метода математического планирования эксперимента получено уравнение зависимости микроклимата обуви от температуры - T и относительной влажности - φ внутриобувного пространства, времени эксплуатации - τ и суммарного теплового сопротивления - R_c обуви:

$$H = -12,8714 - 0,2941T - 0,1772\varphi + 0,1886\tau - 48,8975R_c + 0,0036T\tau + 2,0703TR_c - 0,75\tau R_c + 0,0047T\varphi + 0,7071\varphi R_c - 0,0262T\varphi R_c.$$

С помощью этого параметра можно определить гигиеничность любого типа обуви.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванов М.Н.** Проблемы улучшения гигиенических свойств обуви.- М.: Легпром-бытиздат, 1989. -136 с.
2. **Մխիթարյան Մ., Մինասյան Զ.** Կոշիկի ջերմապաշտպան հատկությունների ուսումնասիրման փորձարարական սարք // ՀՊՀՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու.- Երևան, 2000.- էջ 278:
3. **Մխիթարյան Մ., Մինասյան Զ.** Մարզական կոշիկի միկրոկլիմայի հետազոտումը // ՀՊՀՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու.- Երևան, 2010.- էջ 534-538:
4. **Минасян З.А., Арутюнян О.С., Нестеров В.П.** Экспериментальное определение термического сопротивления клеевого шва в обуви // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - Киев, 1999.- Вып. 5.- С. 319-323.
5. **Новик Ф.С., Арсов Я.Б.** Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов.- М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.

Гюмрийский филиал ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.02.2013.

Մ.Ռ. ՄԻԻԹԱՐՅԱՆ

ԿՈՇԻԿԻ ՄԻԿՐՈԿԼԻՄԱՅԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԱՍՏԱՏՈՒՄԸ ԱՊՐԻՈՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈՂՈՎ

Ապրիորի գնահատման մեթոդով ուսումնասիրվել են կոշիկի միկրոկլիմայի վրա ազդող հիմնական պարամետրերը, և իրականացվել կոշիկի միկրոկլիմայի բնութագրող հիմնական պարամետրերի ընտրում ու գիտական հիմնավորում: Մասնագետ-փորձագետներին առաջարկված տասը պարամետրերից ընտրվել են չորսը՝ միջկոշկային տարածության ջերմաստիճանը, դրա հարաբերական խոնավությունը, կոշիկի շահագործման ժամանակը և կոշիկի գումարային ջերմային դիմադրությունը:

Առանցքային բաներ. կոշիկ, պարամետր, ջերմաստիճան, խոնավություն, ժամանակ, դիմադրություն:

M.R. MKHITARYAN

SETTING THE BASIC PARAMETERS OF THE SHOES MICROCLIMATE BY THE METHOD OF PRIORY RANKING

The parameters affecting the shoes microclimate are studied. The basic parameters characterizing the shoes microclimate are selected and scientifically substantiated by the method of priory ranking. Four of the ten parameters proposed by experts-specialists are selected: the temperature and relative humidity inside the shoes, period of the shoes operation, and the total thermal resistance of the shoes.

Keywords: shoes, parameter, temperature, humidity, duration, resistance.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ռ.Ա. ՌԱՖԻՅԱՆ

ԲՆԱԿԼԻՄԱՅԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐԵՎԱՆԻ ՋԷԿ-Ի
ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՎՐԱ

Դիտարկվել է բնակլիմայական պայմանների ազդեցությունը համակցված ցիկլով աշխատող գազատուրբինային և շոգետուրբինային տեղակայանքների աշխատանքի վրա: Տրվել է ԵրՋԷԿ-ի համակցված շոգեգազային էներգաբլոկի վրա բնակլիմայական պայմանների ազդեցության գնահատականը՝ տարեկան կտրվածքով: Ներկայացվել է նաև ԵրՋԷԿ-ի շոգեգազային էներգաբլոկում գազատուրբինային տեղակայանք մատուցվող օդի ջրային մշուշապատման հովացման համակարգի կիրառման դեպքում հնարավոր վերականգնվող թերաբաղադրանքի հաշվարկ:

Առանցքային բառեր. գազատուրբինային տեղակայանք, շոգեուժային տեղակայանք, համակցված ցիկլ, բնակլիմայական պայմաններ:

Շոգեգազատուրբինային տեղակայանքները էլեկտրական և ջերմային էներգիաների համակցված արտադրության առավել ժամանակակից և հեռանկարային սարքավորումներից են, և պատահական չէ, որ վերջիններիս բավականաչափ ընդգրկուն կիրառումը աշխարհի շատ երկրներում հնարավորություն տվեց էապես բարձրացնել էլեկտրականների շահավետության ցուցանիշները և բարելավել դրանց էկոլոգիական բնութագրերը: Միևնույն ժամանակ, վերոնշյալ սարքավորումների յուրացման ժամանակահատվածը և արդեն իսկ կուտակված շահագործման փորձը բացահայտեցին դրանց առնչվող որոշակի խնդիրներ, որոնցից մեկին անդրադարձ է կատարվում սույն հոդվածի շրջանակներում: Խոսքը վերաբերում է գազատուրբինային տեղակայանքի կոմպլեքսը ներծծվող, այրման պրոցեսի իրականացման համար անհրաժեշտ օդի ջերմաստիճանին: Վերջինս բնակլիմայական պայմաններից խիստ կախված մեծություն է և ենթակա է փոփոխությունների ինչպես սեզոնային, այնպես էլ տարեկան կտրվածքով: Բնական է, որ ամառային ժամանակահատվածում կոմպլեքսը ներծծվող օդի ջերմաստիճանը զգալիորեն բարձրանում է, որի արդյունքում նվազում է սեղմման ենթարկվող օդի էլակետային խտությունը, և, այդպիսով, կրճատվում է վերջինիս զանգվածային ծախսը: Արդյունքում՝ նվազում է գազային տուրբինում բանաձ գազերի էներգիան, որն ուղղվում է շոգեգազատուրբինային տեղակայանքի օգտահանիչ կաթսա: Ի հետևանք նշվածի՝ օգտահանիչ կաթսայում գեներացվող շոգու քանակը ևս նվազում է: Այս հիմնախնդիրը կարող է լուծվել կոմպլեքսը ներծծվող օդի հովացման ճանապարհով: Հարկ է նշել, որ վաղուց հայտնի այդ մեթոդի կիրառման շրջանակները բավականաչափ ընդլայնվում են՝ շնորհիվ էներգետիկ ոլորտի ռեսուրսային կտրուկ աճի և շուկայական հարաբերությունների ավելի խոր ներթափանցման, որի արդյունքում էլեկտրաէներգիայի համեմատաբար ցածր արժեքի

պայմաններում աճում է տեղակայված միավոր հզորության տեսակարար արժեքը: Գազատուրբինային տեղակայանք ներծծվող օդի հովացման ճիշտ տեխնոլոգիայի ընտրությունը ոչ միայն տեխնիկական, այլև էկոլոգիական խնդիր է: Օպտիմալ տարբերակի ընտրումն ապահովում է սարքավորումների շահագործման բարձր շահավետությունը և ծախսերի արագ հետգնումը: ՀՀ էներգետիկ ոլորտում շոգեգազատուրբինային տեխնոլոգիայի ներդրման անվիճարկելի առաջնությունը պատկանում է “Երևանի ՋԷԿ” ՓԲԸ-ին, որի արդիականացման ու վերակառուցման ծրագրի շրջանակներում հնարավոր եղավ իրականացնել խոշորագույն նախագիծ՝ հանրապետության մայրաքաղաքի միակ ջերմաէլեկտրակենտրոնին հարակից տարածքում գերժամանակակից, բարձրարտադրողական և բնապահպանական տեսանկյունից առավել անբասիր համակցված շոգեգազային ցիկլով աշխատող էլեկտրակայանի (էներգաբլոկի) կառուցման ուղղությամբ: Երևանի համակցված շոգեգազային ցիկլով էլեկտրակայանը (ՀՇԳՑԷ), որի կառուցումն իրականացվեց “բանալի” սկզբունքով (նախագծումից մինչև շահագործման հանձնումը), ունի հետևյալ տեխնիկական բնութագրերը՝

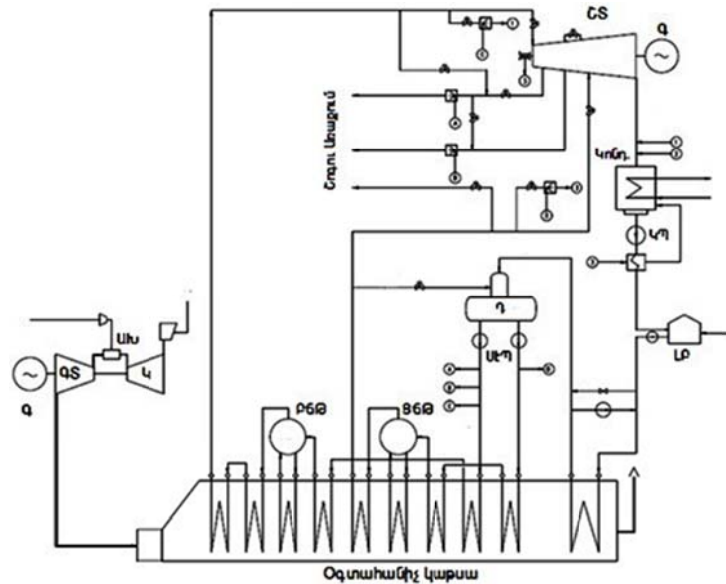
- տեղակայված ընդհանուր հզորությունը 271,7 ՄՎտ է, որից էլեկտրականը՝ 242 ՄՎտ, ջերմային հզորությունը 434,9 ԳՋ/ժ,
- շվեյցարական “Alstom” ընկերության արտադրության GT13E2 MXL տիպի գազային տուրբինը՝ 179,9 ՄՎտ տեղակայված հզորությամբ,
- ճապոնական “Fuji” ընկերության արտադրության ջերմաֆիկացման շոգե-տուրբինը՝ 63 ՄՎտ տեղակայված էլեկտրական հզորությամբ, 103,7 Գկալ/ժամ ջերմային էներգիայի առաքմամբ,
- կորեական “SEC” ընկերության արտադրության օգտահանիչ շոգեգեներատորը:

Վերոնշյալ էներգաբլոկի սկզբունքային ջերմային սխեման բերված է նկ. 1-ում:

Անդրադառնալով հողվածի սկզբնամասում բերված դիտողություններին գազատուրբինային տեղակայանք ներծծվող արտաքին օդի ջերմաստիճանի առնչությամբ, պետք է արձանագրենք այն իրողությունը, որ նշվածը իրավացի է Երևանի ՀՇԳՑ-ի համար ևս, եթե նկատի ունենանք, որ այն նախագծված է օդի տարեկան միջին ջերմաստիճանի 12 °C և օդի հարաբերական խոնավության 56% ելակետային պարամետրերի համար, ինչը, բնականաբար, չի կարող չհանգեցնել ինչպես սեզոնային(ամառ), այնպես էլ տարվա կտրվածքով էներգաբլոկի էլեկտրական էներգիայի թերարտադրման՝ կապված ներծծվող օդի բարձր ջրմասստիճանի հետ: Ստորև փորձ է արվում համապատասխան հաշվարկային ալգորիթմի իրականացման ճանապարհով գնահատելու նշված թերարտադրանքի չափը և դիտարկելու վերջինիս փոխհատուցման հնարավորությունը կոմպրեսոր ներծծվող օդի ջերմաստիճանի նվազեցման մեխանիզմի կիրառմամբ:

Ջերմաստիճանի փոփոխության ազդեցությունը շոգեգազային ցիկլի վրա պարզելու ճանապարհին գոյություն ունեցող բարդություններից մեկը ցիկլի շոգեջրային

մասի վրա ԳՏՏ-ի աշխատանքային պարամետրերի համապատասխան փոփոխությունների ազդեցության գնահատումն է:



Նկ. 1. ԵրՋԷԿ-ի համակցված ցիկլով էներգաբլոկի ՍՋՍ:

ԳՏ-զազային տուրբին, ՇՏ-շոգետուրբին, Գ-գեներատոր, Կ-կոմպրեսոր, ԱԽ-այրման խուց, Դ-դեներատոր, ԲՃԹ-բարձր ճնշման թմբուկ, ՅՃԹ-ցածր ճնշման թմբուկ, ԼԲ-լրասնուցման բաք, ՍԷՊ-սնող էլեկտրական պոմպ, ԿՊ-կոնդենսատային պոմպ

Կոմպրեսորում օդի ծավալային ծախսը օդի 15 °C ջերմաստիճանի և 60% հարաբերական խոնավության պարագայում հավասար է 523,08 կգ/վ [1]: Քանի որ այդ պայմաններում օդի խտությունը կազմում է 1,22 կգ/մ³, ապա կոմպրեսորի ծավալային ծախսը կազմում է 428,65 մ³/վ: Այս ծավալային ծախսը հաստատուն մեծություն է:

Հետևաբար, ԳՏՏ հզորությունը նշված պայմաններում հավասար կլինի 155,2 ՄՎտ: Այս նույն պայմաններում ԵրՋԷԿ-ի համակցված ցիկլով աշխատող էլեկտրակայանի շոգետուրբինի հզորությունը մաքուր կոնդենսացիոն ռեժիմում հավասար է 63,4 ՄՎտ: Այդ պայմաններում ծխագազերի հետ տարվող ջերմության քանակությունը հաշվարկվում է (1) հետևյալ բանաձևով՝

$$Q = G_m \cdot h_{qsh}, \text{ կՋ/վ} [2], \quad (1)$$

որտեղ h_{qsh} -ն ծխագազերի էնթալպիան է, G_m -ն՝ հեռացող ծխագազերի ծախսը՝ կգ/վ-ով:

Q մեծությունը վերոնշյալ պայմաններում հավասար է 410878,5 կՋ/վ:

Գնահատենք էլեկտրական էներգիայի թերարտադրությունը՝ տարվա կտրվածքով օդի ջերմաստիճանի 12 °C-ից բարձր լինելու հետևանքով: Վերցնենք միջին հարաբերական խոնավությունը Երևան քաղաքի համար այն ամիսներին, որոնց ընթաց

քում միջին ջերմաստիճանը բարձր է 15°C-ից, քանի որ դրանից ցածր ջերմաստիճանների դեպքում հովացման հետևանքով ԳՏՏ կոմպրեսորի մուտքում ստացվում են վտանգավոր ջերմաստիճաններ՝ կապված սառցակալման հնարավորության առաջացման հետ: Դրանք մարտ-նոյեմբեր ամիսներն են: Սակայն մարտ և նոյեմբեր ամիսներին 15°C-ից բարձր ջերմաստիճանների միջին տևողականությունը հավասար է ընդամենը 6,72 ժամի, ուստի այդ ամիսները հանվում են դիտարկվող գոտուց: Միջին հարաբերական խոնավությունը մնացած դիտարկվող ամիսների ընթացքում (ապրիլ-հոկտեմբեր) լինում է 49,86% (աղ. 1 և 2)[3]:

Աղյուսակ 1

Միջին ամսական ջերմաստիճանների տևողականությունները՝ ըստ ամիսների Երևան քաղաքի համար [4]

Ջերմաստիճան, °C	Տևողականություններ, օր								
	3-րդ ամիս	4-րդ ամիս	5-րդ ամիս	6-րդ ամիս	7-րդ ամիս	8-րդ ամիս	9-րդ ամիս	10-րդ ամիս	11-րդ ամիս
15,1...20	0,2	6,7	16,8	7,9	0,6	0,8	12	8,5	0,08
20,1...25	0	0,3	7	17,4	12,9	13,9	14,1	0,5	0
25,1...30	0	0	0	4,1	16,4	15,9	1,5	0	0
30,1...35	0	0	0	0	1	0,4	0	0	0

Աղյուսակ 2

Միջին ամսական ջերմաստիճանների տևողականությունները՝ ըստ ժամերի Երևան քաղաքի համար

Միջին ջերմ., °C	Տևողականություններ, ժամ									
	3-րդ ամիս	4-րդ ամիս	5-րդ ամիս	6-րդ ամիս	7-րդ ամիս	8-րդ ամիս	9-րդ ամիս	10-րդ ամիս	11-րդ ամիս	Գումար
17,5	-	160,8	403,2	189,6	14,4	19,2	288	204	-	1279,2
22,5	0	7,2	168	417,6	309,6	333,6	338,4	12	0	1586,4
27,5	0	0	0	98,4	393,6	381,6	36	0	0	909,6
32,5	0	0	0	0	24	9,6	0	0	0	33,6

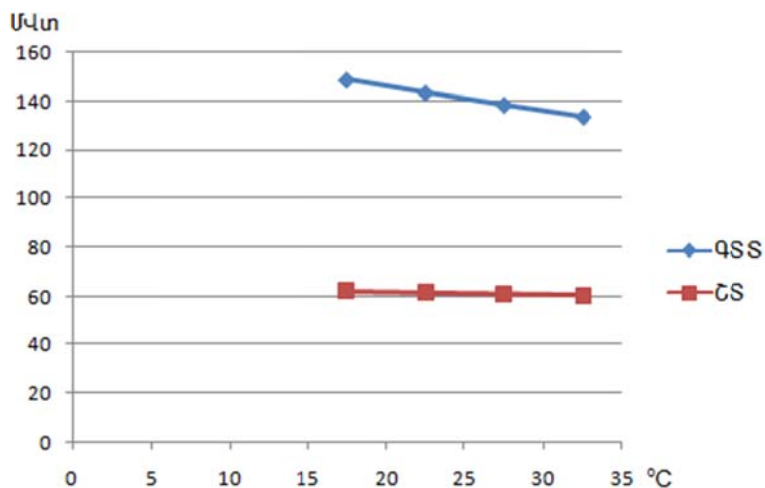
Կորուստները գնահատվում են ըստ ջերմաստիճանային տիրույթների՝ 5°C քայլով: Այսինքն, նախ հաշվարկվում է կորուստը՝ պայմանավորված 17,5°C միջին ջերմաստիճանի տևողականության դեպքում, հետո՝ 22,5°C միջին տևողականության հետ կապված և այլն: Բոլոր կորուստների գումարը կլինի միջին տարեկան կորուստը՝ կապված ջերմաստիճանի բարձր լինելու հետ: 17,5°C միջին ջերմաստիճան նկատվում է տարեկան 1279,2 ժամ: Այդ ջերմաստիճանի դեպքում ԳՏՏ կոմպրեսորում ճնշման բարձրացման աստիճանը հաշվարկվում է (2) բանաձևով և հավասար է 15°C-ում իր ունեցած արժեքի 99,4%-ին՝ 15,3 [2]:

$$P=0,363t-6056,541/t^2+440,075/\ln(t)-40,948, \% \quad (2)$$

Խնդրի լուծման համար առաջարկվող ԳՏՏ ջերմային հաշվարկի մեթոդիկան և վերջինիս վրա հիմնված հաշվարկային ալգորիթմը ներկայացնում են ուսումնասիրված հաշվարկի մեթոդների մի ամբողջություն, որում հաշվի են առնվել և շտկվել այդ բոլոր մեթոդներում առկա թերությունները, որոնք հիմնականում կարելի է բաժանել երկու խմբի՝

1. հաշվարկների անճշտություններ՝ պայմանավորված որոշ գործոնների հաշվի չառնվելով և աղյուսակային տվյալների օգտագործմամբ,
2. կիրառական թերություն՝ պայմանավորված ԳՏՏ կոմպրեսոր ներծծվող օդի ջերմաստիճանի՝ կոմպրեսորում ճնշման բարձրացման աստիճանի վրա ունեցած նշանակալի ազդեցության անտեսմամբ (բոլոր մեթոդներում):

Նկ. 2-ում բերված գրաֆիկը ցույց է տալիս ԵրՋԷԿ-ի ԳՏՏ-ի և ՇՏ-ի հզորության փոփոխությունները դիտարկվող ջերմաստիճանային տիրույթներում:

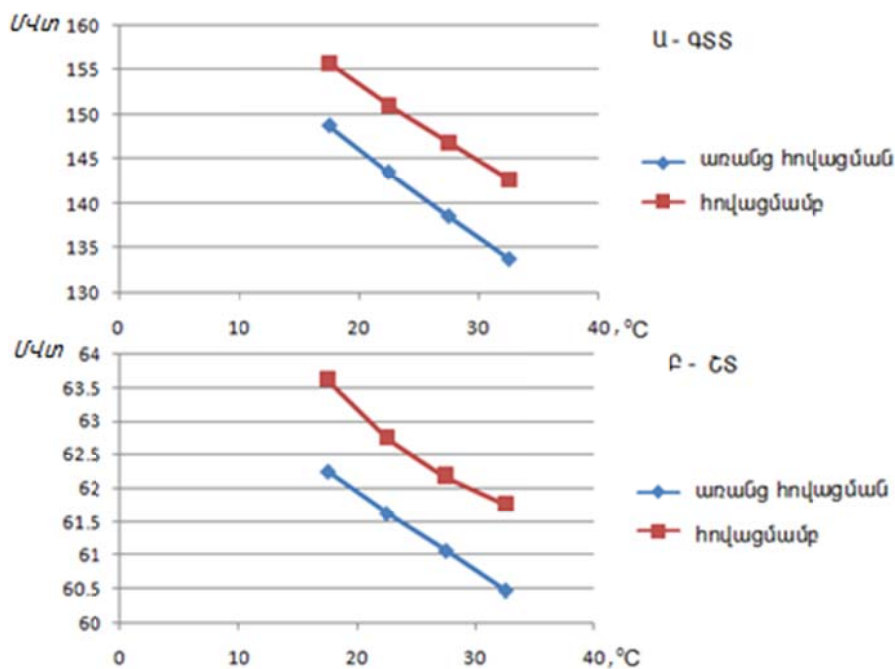


Նկ. 2. ԵրՋԷԿ-ի համակցված էներգաբլոկի ԳՏՏ-ի և ՇՏ-ի հզորությունները՝ կախված ԳՏՏ կոմպրեսոր ներծծվող օդի ջերմաստիճանից

Առաջարկվող մեթոդով կատարված հաշվարկների արդյունքները ցույց են տալիս, որ ԵրՋԷԿ-ի համակցված էներգաբլոկը դիտարկվող ջերմաստիճանային տևողականությամբ տիրություն արտադրում է 783,74 *մլն կՎտ.ժ* էլ. էներգիա: Սակայն, եթե էլեկտրակայանն աշխատեր նախագծայինին հավասար հզորությամբ, ապա այդ նույն ժամանակահատվածում կարտադրվեր 832,59 *մլն կՎտ.ժամ* էլ. էներգիա: Այսինքն՝ դիտարկվող 3808,8 ժամերի ընթացքում էլեկտրաէներգիայի թերարտադրանքը էներգաբլոկում կազմում է 48,85 *մլն կՎտ.ժամ*:

Այժմ ենթադրենք՝ ԳՏՏ-ի վրա տեղակայվել է կոմպրեսոր մատուցվող օդի ջրային մշուշապատման հովացման համակարգ: Այդ դեպքում ԳՏՏ մատուցվող օդը հո-

վացվում է մինչև տվյալ մթնոլորտային ճնշմանը համապատասխան և դիտարկվող տևողականություններով միջին ջերմաստիճանների դեպքում հաստատվող խոնավ ջերմաչափի ջերմաստիճանը: Իսկ հարաբերական խոնավությունը նույնիսկ հասնում է 100%-ի: Այդ պայմանների դեպքում կատարված հաշվարկների արդյունքների հիման վրա կառուցված գրաֆիկները բերված են նկ.3-ում, որոնք նաև պարունակում են առանց հովացման համակարգի դեպքում կատարված հաշվարկի արդյունքները՝ համեմատության համար:



Նկ. 3. Ա) ԵրՋԷԿ-ի ԳՏՏ հզորության փոփոխությունը՝ կախված կոմպրեսոր ներծծվող օդի ջերմաստիճանից և դրա հովացման համակարգի կիրառման դեպքում, Բ) ԵրՋԷԿ-ի ՇՏ հզորության փոփոխությունը՝ կախված ԳՏՏ կոմպրեսոր ներծծվող օդի ջերմաստիճանից և դրա հովացման համակարգի կիրառման դեպքում

ԳՏՏ կոմպրեսոր մատուցվող օդի հովացման ջրային մշուշապատման համակարգի կիրառմամբ դիտարկվող ժամանակահատվածում հնարավոր է արտադրել 816,96 մլն կՎտ.ժ էլ. էներգիա: Այսինքն՝ էներգաբլոկը հովացման համակարգի կիրառման արդյունքում արտադրում է իր նախագծային արտադրանքի 98,1%-ը, մինչդեռ առանց հովացման համակարգի՝ 94,1%-ը:

Եզրակացություն. Ակնհայտորեն ԳՏՏ կոմպրեսոր մատուցվող օդի ջրային մշուշապատման հովացման համակարգի միջոցով հնարավոր չէ վերականգնել նախագծային ողջ հզորությունը: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ հովացման համակարգի կիրառման դեպքում՝

- վերականգնվող արտադրանքը կազմում է 33,22 մլն կՎտ.ժամ կամ թերադարձված էլ. էներգիայի 68%-ը,
- դիտարկվող 3808,8 ժամերի ընթացքում արտադրված էլեկտրաէներգիայի արտադրման համար ծախսվում է $1,21 \times 10^{11}$ գր վառելիք, իսկ առանց հովացման աշխատանքի դեպքում վառելիքի ծախսը կազմում է $1,17 \times 10^{11}$ գր,
- տեղակայանքն արտադրում է հավելյալ 33,22 մլն կՎտ.ժամ էլ. էներգիա՝ ծախսելով հավելյալ $4,36 \times 10^9$ գր վառելիք, հետևաբար՝ վերականգնված արտադրանքի համար վառելիքի ծախսը կազմում է 131,2 գր/կՎտ.ժ.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. GT13E2M Dataset D1.1-Status 14.6.02 TN02/1153, Alstom Power (Switzerland) 2002.
 2. Մարուխյան Ռ.Զ., Ռաֆյան Ռ.Ա. Գազատուրբինային տեղակայանքի կոմպրեսոր ներծծվող օդի ջերմաստիճանի բարձրացման ազդեցությունը շոգեգազային տեղակայանքի աշխատանքի վրա // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՀՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. - 2011. - Հատ. 64, N 3. - էջ 243 - 249:
 3. Справочник по климату СССР Вып. 16. Армянская ССР. Часть 4.-Л., 1969.-195 с.
 4. Справочник по климату СССР, Вып. 16. Армянская ССР. Часть 2.-Л., 1966.-222 с.
- ՀՊՀՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.03.2013.

В.З. МАРУХЯН, Р.А. РАФЯН

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАБОТУ КОМБИНИРОВАННОГО ЭНЕРГОБЛОКА ЕРЕВАНСКОЙ ТЭЦ

Исследовано воздействие природно-климатических условий на работу газотурбинной и паротурбинной установок, работающих в комбинированном цикле. Дается оценка воздействий природно-климатических условий Еревана на комбинированную парогазовую установку ЕрТЭЦ на годовой основе. Представлен расчет вероятной возобновляемой недовыработки на комбинированном энергоблоке ЕрТЭЦ в случае установки системы водяного охлаждения воздуха, поступающего в компрессор газотурбинной установки.

Ключевые слова: газотурбинная установка, парогазовая установка, комбинированный цикл, природно-климатические условия.

V.Z. MARUKHYAN, R.A. RAFYAN

THE INFLUENCE OF NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS ON THE OPERATION OF COMBINED POWER UNIT OF YTPP

The impact of natural and climatic conditions on the operation of gas turbine and steam turbine units functioning in combined cycle is observed. The impact evaluation of natural and climatic conditions of Yerevan on the combined gas and steam power unit of YTPP on an annual basis is provided. The possible restored underproduction on the combined power unit of YTPP by installation of an air cooling system on air supplied to the compressor of the gas turbine is also calculated.

Keywords: gas turbine plant, steam turbine plant, combined cycle, natural and climatic conditions.

Ա.Ս. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ

ՏԱՐԲԵՐ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐՈՎ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈՎՆԵՐԻ ՄԻՋԵՎ
ՆԵՐԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՔԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԲԱՇԽՄԱՆ
ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԱԼԳՈՐԻՏՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Տարբեր էներգետիկական բնութագրերով նույնատիպ էներգաբլոկների համար մշակվել է ներկայանային էլեկտրական բեռնվածքի օպտիմալ բաշխման հաշվարկային ալգորիթմ՝ 200 ՄՎտ հզորությամբ էներգաբլոկների օրինակով:

Առանցքային բառեր. ջերմային էլեկտրակայան, էլեկտրական բեռնվածքի գրաֆիկ, բեռնվածքի բաշխում, էներգետիկական բնութագրեր, վառելիքի ծախս:

Հզոր էներգահամակարգերի կազմում շահագործվող էլեկտրակայանների էլեկտրական բեռնվածքի գրաֆիկների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ էլեկտրական էներգիայի սպառման անհավասարաչափության անընդհատ աճի պայմաններում ջերմային էլեկտրակայանները ստիպված են աշխատել բավականին կտրուկ փոփոխվող բեռնվածքներով՝ հատկապես գիշերային ժամերին: Մասնավորապես, էլեկտրական բեռնվածքի գրաֆիկների փոփոխական մասի ծածկման համար, որպես կանոն, կիրառվում են 200 և 300 ՄՎտ անվանական հզորությամբ կոնդենսացիոն էներգաբլոկները և գազատուրբինային տեղակայանքները: Հետևաբար, առաջանում է ՋԷԿ-ի կազմում գործող էներգաբլոկների միջև պահանջվելիք էլեկտրական բեռնվածքի օպտիմալ բաշխման խնդիր, և ավելի արդիական են դառնում ջերմային էլեկտրակայանների կազմում աշխատող սարքավորումների շահագործման հուսալիության և արդյունավետության բարձրացման հարցերը [1, 2]:

ՋԷԿ-երի շահագործման փորձը ցույց է տվել, որ էլեկտրական բեռնվածքի գրաֆիկի կարգավորումն ավելի է բարդանում տարատիպ էներգետիկական կազմով ՋԷԿ-երի դեպքում՝ պայմանավորված վերջինների կազմում գործող ագրեգատների իրական էներգետիկական բնութագրերի վրա ազդող բազմաթիվ գործոններով: Նըշված գործոնները կարելի է բաժանել երկու խմբի.

- 1) պարամետրային կամ ռեժիմային գործոններ, որոնք հաշվի են առնում հիմնական պարամետրերի շեղումը հաշվարկային արժեքներից,
- 2) դինամիկական գործոններ, որոնք հաշվի են առնում կայանի կազմում շահագործվող սարքավորումների տեխնիկական վիճակը:

Պարամետրային գործոնների շարքին կարելի է դասել թարմ շոգու ջերմաստիճանը, շոգու ճնշումը և ջերմաստիճանը միջանկյալ գերտաքացումից հետո, նոսրացումը կոնդենսատորում և հովացնող ջրի ջերմաստիճանը: Նշվածներից որևէ մեկի

փոփոխությունը այս կամ այն չափով ազդում է էներգաբլոկի, հետևաբար՝ նաև ամբողջ էլեկտրակայանի շահավետության վրա:

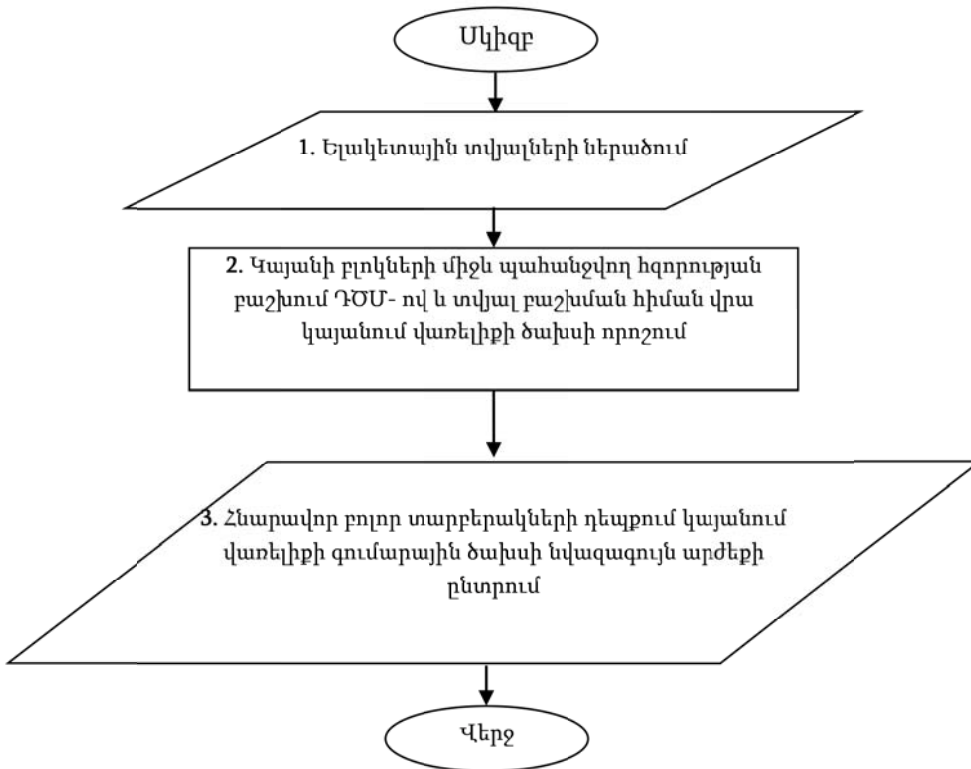
Դինամիկական գործոններն ի հայտ են գալիս սարքավորումների երկարաժամկետ շահագործման արդյունքում և ազդում են ամբողջ էներգաբլոկի և նրա առանձին տարրերի աշխատանքի վրա: Դրանց թվին, մասնավորապես, կարելի է դասել էներգաբլոկի կաթսայական ագրեգատի և այլ ջերմափոխանակիչ ապարատների տաքացման մակերևույթների կոռոզիան, ինչի հետևանքով աճում են ջերմային ու հիդրավլիկական դիմադրությունները, և վատանում է ջերմափոխանցման պրոցեսը, նոսրացման համակարգի օդային կիպությունների նվազումը, ինչպես նաև մակերևութային կոնդենսատորների ներքին մակերևույթների աղտոտումը և շրջանառու ջրի ներծծումների մեծացումը: Վերջին երկուսը հանգեցնում են կոնդենսատի աղտոտման, նվազեցնում նրա ջերմաստիճանը և ավելացնում շոգու ծախսը [2 - 4]:

Ի վերջո՝ տեղի է ունենում շոգեկաթսայի և կամ տուրբինի շահավետության ու հուսալիության փոփոխում: Դրանցից յուրաքանչյուրի ազդեցության առանձին գնահատումը գործնականում անհնար է, քանի որ գործոնների մի մասի ազդեցությունը միաժամանակյա է: Ուստի առավել նպատակահարմար են փորձնական ճանապարհով դրանց ազդեցության որոշումը և հաշվարկային ճանապարհով ագրեգատների էներգետիկական բնութագրերում դրանց ներառումը համապատասխան ճշգրտումների միջոցով:

Վերը նշվածը կարելի է տարածել նաև նույնատիպ, սակայն տարբեր էներգետիկական բնութագրերով էներգաբլոկներից բաղկացած ջերմային էլեկտրակայանների վրա: Մասնավորապես՝ 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ թվով 4 կոնդենսացիոն էներգաբլոկներից բաղկացած էլեկտրակայանի օրինակով մշակվել է ներկայանային էլեկտրական բեռնվածքի օպտիմալ բաշխման ալգորիթով՝ հիմնված դինամիկական ծրագրավորման մեթոդի վրա, և համապատասխան հաշվարկային ծրագիր MS Excel միջավայրում: Նշենք, որ դինամիկական ծրագրավորման մեթոդի (ԴՄ) դեպքում ներկայանային էլեկտրական բեռնվածքի օպտիմալ բաշխման խնդրի լուծումը հանդիսանում է կայանի կազմում գուգահեռ աշխատող ագրեգատների բեռնավորման հնարավոր բոլոր տարբերակներից այն տարբերակի ընտրությունը, որի դեպքում ապահովվում է վառելիքի նվազագույն ծախս:

Ինչպես նշվեց, էներգաբլոկի վառելիքի ծախսի մեծության վրա ազդում է նաև ցածր պոտենցիալային մասի (ՅՊՄ) աշխատանքային ռեժիմը՝ հիմնականում շոգու վերջնական պարամետրերի և ՅՊՄ-ի կազմում աշխատող պոմպերի բանեցման վրա էլեկտրաէներգիայի ծախսի փոփոխման տեսքով:

Այսպիսով՝ ընդհանրացնելով վերը կատարված բոլոր դատողությունները, ստորև բերված է տարբեր էներգետիկական բնութագրերով նույնատիպ էներգաբլոկների միջև ներկայանային էլեկտրական բեռնվածքի օպտիմալ բաշխման ալգորիթմի բլոկ-սխեման՝ բաղկացած 3 հիմնական բաղադրիչներից (նկար):



Նկ. 2.4-երի ներկայանային էլեկտրական բեռնվածքի՝ շինամիկական ծրագրավորման մեթոդով բաշխման ալգորիթմը

Բլոկ 1. Ելակետային տվյալների ներածում, այսինքն՝

ա) Կայանից պահանջվող հզորության ներածում՝ կարգավարական ծառայության պահանջած կամ տվյալ էլեկտրակայանի բազմամյա շահագործման ընթացքում էլեկտրական բեռնվածքի ստացված գրաֆիկների հիման վրա: Մասնավորապես, տվյալ դեպքում կայանի էլեկտրական բեռնվածքը փոփոխվում է $N_{այ} = 400 \dots 800$ ՄՎտ սահմաններում:

բ) Ագրեգատների թվի, անվանական, տեխնիկապես թույլատրելի նվազագույն և առավելագույն հզորությունների, էներգետիկական բնութագրերի, բեռնաթափման և բեռնավորման, ինչպես նաև բեռնվածքի անկման ժամանակահատվածների, մոտորային և գործարկման-կանգառային ռեժիմներում վառելիքի ծախսերի ներածում:

Էներգետիկական բնութագրերի դեպքում կարելի է ավելացնել ինչպես տուրբատեղակայանքի ՑՊՄ- ի ազդեցությունը, այնպես էլ բնապահպանական, հուսալիության և սարքավորումների հնացման գործոնները հաշվի առնող բաղադրիչների հաշվարկման առանձին բլոկներ և հաշվարկային ճանապարհով մտցնել համապատասխան ուղղումներ, ինչը էական խնդիրներ չի առաջացնի MS Excel միջավայրում:

Մասնավորապես՝

$$N_{max} = 800 \text{ ՄՎտ}, N_{min} = 400 \text{ ՄՎտ}, N_{անլ} = 200 \text{ ՄՎտ}, N_{min \rho_l} = 0,5 \cdot N_{անլ} = 100 \text{ ՄՎտ}, \\ n_{\rho_l} = 4$$

Էլակետային տվյալների պարագայում կիրառելով $B = f(N)$ բնութագրերը՝ կստանանք [4].

$$B_1(N_1) = 0,000253 \cdot N_1^2 + 0,278944 \cdot N_1 + 6,878555, \text{ տպ.վ.} / \text{ժ}, \\ B_2(N_2) = 0,000232 \cdot N_2^2 + 0,288692 \cdot N_2 + 6,236597, \text{ տպ.վ.} / \text{ժ}, \\ B_3(N_3) = 0,000214 \cdot N_3^2 + 0,294392 \cdot N_3 + 5,98345, \text{ տպ.վ.} / \text{ժ}, \\ B_4(N_4) = 0,000394 \cdot N_4^2 + 0,244545 \cdot N_4 + 9,042424, \text{ տպ.վ.} / \text{ժ},$$

Բեռնվածքի անկման և բեռնաթափման-բեռնավորման ժամանակահատվածները համապատասխանաբար ընտրվել են՝

$$\tau_{անլ} = (5 \dots 60) \text{ ժ}, \tau_{\rho\theta} = \tau_{\rho\sigma} = 115 \text{ ր},$$

իսկ ագրեգատների կանգառման դեպքում հետագա գործարկման վրա վառելիքի ծախսը [1, 2].

	5 ... 10 ժ	15 ... 20 ժ	50 ... 60 ժ
$B_{գործ}, \text{ տպ.վ.}$	40,6	43,0	50,1

Բլոկ 2. ԴԾՄ- ով կայանի բլոկների միջև պահանջվող հզորության բաշխում և տվյալ բաշխման հիման վրա կայանում վառելիքի ծախսի որոշում: Ընդ որում՝ հաշվարկն իրականացվում է ագրեգատների զարգացրած տեխնիկապես թույլատրելի նվազագույն բեռնվածքից մինչև հնարավոր առավելագույն բեռնվածքի սահմաններում՝ հաշվի առնելով նաև առանձին էներգաբլոկների պաշարավորման եղանակները, այն է՝ բոլոր էներգաբլոկների հավասարաչափ և անհավասարաչափ բեռնաթափում, նրանց մի մասի մոտորային ռեժիմի անցում կամ կանգառում:

Բլոկ 3. Ագրեգատների բեռնավորման հնարավոր բոլոր տարբերակների դեպքում կայանում վառելիքի գումարային ծախսի արժեքների հաշվարկ, նրանցից նվազագույնի ընտրում և արտաձում:

Մասնավորապես՝ էլեկտրական բեռնվածքի անկման ժամանակահատվածի 5 ժ տևողության և բեռնվածքի՝ վերը նշված սահմաններում փոփոխման դեպքում զուգահեռ աշխատող 4 էներգաբլոկների միջև նրա օպտիմալ բաշխումը բերված է աղյուսակում:

Աղյուսակ

Ներկայանային էլեկտրական բեռնվածքի օպտիմալ բաշխումը զուգահեռ աշխատող 4
էներգաբլոկների միջև

$N_{կայ}, U_{վտ}$	$N_1, U_{վտ}$	$N_2, U_{վտ}$	$N_3, U_{վտ}$	$N_4, U_{վտ}$	$B_{կայ, տ պ. վ.}$
400	100	100	100	100	1587.066
410	100	100	100	110	1610.421
420	110	100	100	110	1633.85
430	120	100	100	110	1657.581
440	120	110	100	110	1681.341
450	120	110	100	120	1705.165
460	120	110	110	120	1729.025
470	130	110	110	120	1753.057
480	130	120	110	120	1777.094
490	130	120	120	120	1801.209
500	130	120	120	130	1825.502
510	130	130	120	130	1849.815
520	140	130	120	130	1874.149
530	140	130	130	130	1898.519
540	140	140	130	130	1923.109
550	140	140	140	130	1947.734
560	150	140	140	130	1972.369
570	150	140	140	140	1997.132
580	150	150	140	140	2021.998
590	150	150	150	140	2046.878
600	160	150	150	140	2071.815
610	160	150	160	140	2096.95
620	160	160	160	140	2122.093
630	160	160	160	150	2147.325
640	170	160	160	150	2172.563
650	170	160	170	150	2197.954
660	170	170	170	150	2223.372
670	180	170	170	150	2248.912
680	180	170	180	150	2274.557
690	180	180	180	150	2300.253
700	180	180	180	160	2325.955
710	190	180	180	160	2351.796
720	190	180	190	160	2377.696
730	190	190	190	160	2403.668
740	200	190	190	160	2429.81
750	200	190	200	160	2455.966
760	200	190	200	170	2482.137
770	200	200	200	170	2508.386
780	200	200	200	180	2535.027
790	200	200	200	190	2562.138
800	200	200	200	200	2589.718

Աղյուսակում բերված տվյալներից երևում է, որ բեռնվածքի անկման ժամանակահատվածի փոքր տևողության դեպքում նպատակահարմար է բեռնաթափել էներգաբլոկները նրանց թույլատրելի կարգավորման միջակայքի սահմաններում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Մարուխյան Ո.Ջ., Բուռնաչյան Հ.Ա. Ջերմային էլեկտրակայանների աշխատանքային ռեժիմներ և շահագործում: Ուսումնական ձեռնարկ.- Երևան, 1994.- 146 էջ:
2. Мадоян А.А., Аракелян Э.К., Минасян С.А. Расчет нестационарных характеристик и показателей графиков нагрузки и агрегатов ТЭС/ Спец. ред. М.Я. Файвуш.- Ереван: Айастан, 1989.- 135 с.
3. Գևորգյան Ա.Ռ. Բարդ ռելիեֆային պայմաններում շահագործվող ՋԷԿ-ի զազային արտանետումների ցրման հետազոտումը աշխատանքային փոփոխական ռեժիմներում: Թեկն. ... ատենախոսություն.- Երևան, 2006.- 143 էջ:
4. Меликян Г.П. Оптимизация внутростанционных режимов КЭС с мощными энергоблоками, имеющих комбинированную систему охлаждения: Дис. ... к.т.н.- Ереван, 1994.- 127 с.

ՀղձՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.03.2013:

A.S. ARAKELYAN

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРИСТАНЦИОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ЭНЕРГОБЛОКАМИ С РАЗНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

На примере энергоблоков мощностью 200 *MВт* разработан расчетный алгоритм оптимального распределения внутростанционной электрической нагрузки между энергоблоками с разными энергетическими характеристиками.

Ключевые слова: тепловая электростанция, график электрической нагрузки, распределение нагрузки, энергетические характеристики, расход топлива.

A.S. ARAKELYAN

DEVELOPING A CALCULATING ALGORITHM FOR AN OPTIMAL DISTRIBUTION OF THE INPLANT POWER LOAD AMONG THE POWER UNITS WITH DIFFERENT POWER CHARACTERISTICS

An inplant electric load optimal distribution calculating algorithm for power units with different power characteristics is developed based on the example of the 200 *MWt* power units.

Keywords: thermal power plant, electric load diagram, load distribution, power characteristics, fuel expense.

Ս.Հ. ԷԼԲԱԿՅԱՆ

ՕՂԻ ԱՎԵԼՑՈՒԿԻ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՆՎԱԶԵՑՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՋԷԿ-ԵՐԻ ԳԱԶԱՑԻՆ
ԱՐՏԱՆԵՏՈՒՄՆԵՐԻ ՎՏԱՆԳԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ
ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Իրականացվել է օդի ավելցուկի գործակցի նվազեցման հետևանքով հեղուկ վառելիքի այրման արգասիքներում պարունակվող ածխածնի մոնօքսիդի ու բենզապիրենի քանակության աճի և ազոտի օքսիդների քանակության նվազման գնահատում: Մշակվել են հաշվարկային ալգորիթմ և համապատասխան ծրագիր, որոնցով կատարվել է օդի ավելցուկի գործակցից կախված տարեկան բնապահպանական վճարների հաշվարկում:

Առանցքային բառեր. օդի ավելցուկի գործակցից, գումարային վտանգավորության աստիճան, ազոտի օքսիդներ, ածխածնի մոնօքսիդ, բենզապիրեն, բնապահպանական վճարներ:

Հայտնի է, որ օրգանական վառելիքի այրման արգասիքներում պարունակվող բոլոր վնասակար բաղադրիչները, հաշվի առնելով այրման տեխնոլոգիաները, կարելի է բաժանել 2 խմբի: Առաջին խմբին վերաբերում են այն վնասակար նյութերը, որոնց պարունակությունը այրման արգասիքներում շատ քիչ է կախված այրման ռեժիմատեխնոլոգիական կազմակերպվածությունից և բավարար ճշտությամբ կարելի է որոշել վառելիքի բաղադրության հիման վրա (ծծմբի երկօքսիդ՝ SO_2 , վանադիումի պենտօքսիդ՝ V_2O_5 , թոշող մոխիր): Երկրորդ խմբի մեջ մտնում են այն նյութերը, որոնց առաջացումը կախված է ինչպես վառելիքի բաղադրությունից, այնպես էլ վառելիքի այրման տեխնոլոգիական, կառուցվածքային և ռեժիմային պայմաններից (ածխածնի մոնօքսիդ՝ CO , ազոտի օքսիդներ՝ NO_x , բենզապիրեն՝ $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ և այլն) [1]:

ՋԷԿ-ի ծխագազերում պարունակվող վնասակար միացություններով շրջակա միջավայրին հասցված վնասը նվազեցնելու համար անհրաժեշտ է իրականացնել վառելիքի ավանդական այրման գործընթացի որոշակի վերափոխում: Մասնավորապես, ազոտի օքսիդների էլքի նվազեցման նպատակով ներկայումս մշակվում և հաջողությամբ ներդրվում են աստիճանական, ոչ ստեխիոմետրիկ և փուլային այրման տարատեսակ տեխնոլոգիաներ, ինչպես նաև իրականացվում են այրման գործընթացի ռեժիմային փոփոխություններ [2]: Միաժամանակ ապացուցված է նաև այն փաստը, որ ազոտի օքսիդների էլքի նվազման նպատակով իրականացվող ռեժիմատեխնոլոգիական որոշ միջոցառումներ (մասնավորապես՝ հնոցում օդի ավելցուկի գործակցի նվազեցումը) մեծացնում են հեռացող ծխագազերում թերայրման արգասիքների (ածխածնի մոնօքսիդի) ի հայտ գալու հավանականությունը: Օդի ավելցուկի գործակցի նվազեցման հետևանքով ծխագազերում ի հայտ է գալիս արտակարգ վտանգավոր

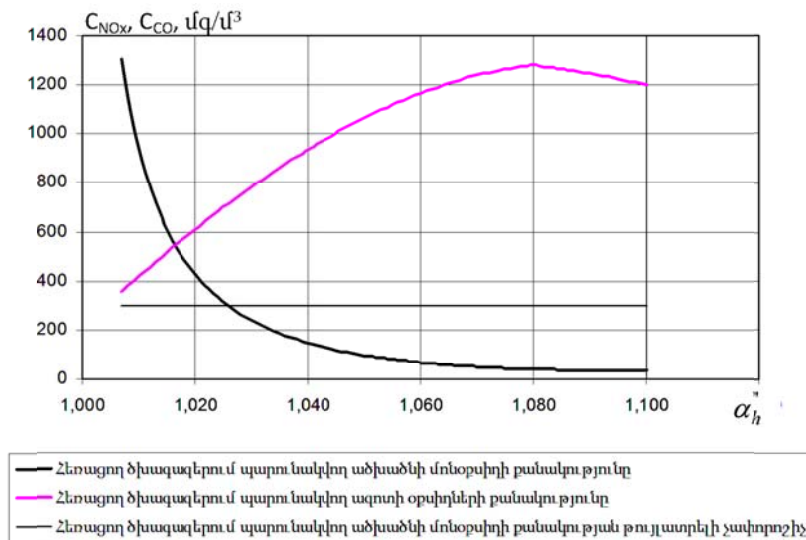
մեկ այլ միացություն ևս՝ բենզապիրեն: Ստեղծված իրավիճակում էկոլոգիական չափորոշիչների գերակայության ապահովումն առաջարկվում է իրականացնել

$$\Pi^{\Sigma} = \Pi_{NOx} + \Pi_{CO} + \Pi_{C_{20}H_{12}} \rightarrow \min$$

պայմանի պահպանմամբ, որտեղ Π_{NOx} , Π_{CO} և $\Pi_{C_{20}H_{12}}$ -ը համապատասխանաբար ազոտի օքսիդների, ածխածնի մոնօքսիդի և բենզապիրենի վտանգավորության մասնակի աստիճաններն են:

Վերոնշյալ վնասակար միացությունների վտանգավորության մասնակի աստիճանների հաշվարկման նպատակով այրման արգասիքներում պարունակվող ազոտի օքսիդների և բենզապիրենի քանակության, ինչպես նաև քիմիական թերայրման հետևանքով ջերմության կորուստների որոշման համար գրականության մեջ առկա գրաֆիկական առնչությունները [3, 4] (վերջիններս կառուցված են ըստ ТГМП 114 գազամագուրային շոգեկաթսայի շահագործման տվյալների) ռեգրեսիոն վերլուծության արդյունքում փոխարինվել են համապատասխան մաթեմատիկական արտահայտություններով, որոնք էլ օգտագործվել են հաշվարկային ալգորիթմը մշակելիս:

Համաձայն գործող չափորոշիչների՝ հեռացող ծխազագերում պարունակվող ածխածնի մոնօքսիդի քանակությունը չպետք է գերազանցի 300 մգ/մ³: Վերջինս նկատի ունենալով՝ որոշվել է օդի ավելցուկի գործակցի նվազագույն թույլատրելի մեծության արժեքը (համաձայն հաշվարկային արդյունքների՝ վերջինիս թվային մեծությունը կազմում է 1,026) (նկ. 1):



Նկ. 1. Ծխազագերում պարունակվող ազոտի օքսիդների և ածխածնի մոնօքսիդի քանակության կախվածությունը օդի ավելցուկի գործակցից

```

graph TD
    Start([Սկիզբ]) --> Read[/Ելակետային տվյալներ/]
    Read --> Count0[count = 0]
    Count0 --> AlphaRange{αh = 1.007 : 0.001 : 1.1}
    AlphaRange --> CountInc[count = count + 1]
    CountInc --> AlphaAssign[αhtmp(count) = αh]
    AlphaAssign --> AlphaCheck{αh ≥ 1.007  
αh ≤ 1.08}
    AlphaCheck -- + --> CNOxCalc1[CNOx(count) = 1 / (3.4518 · 10-4 · (αh - 1.1402)2 + 4.1177 · 10-5) - 20638 · αh]
    AlphaCheck -- - --> CNOxCalc2[CNOx(count) = -4.8261(αh)36.747 + 1360.2]
    CNOxCalc1 --> PiNOxCalc[ΠNOx(count) = (0.35 · CNOx(count) · Vq · (100 - η)) / (Qup · ՍԹԽԽ)]
    CNOxCalc2 --> PiNOxCalc
    PiNOxCalc --> KCalc[K = 1351.8 - 3725.09αh + 3424.06(αh)2 - 1049.77(αh)3]
    KCalc --> CC20H12Calc[CC20H12(count) = K · 25 + 0.05qv / (αh)28 · 10-2]
    CC20H12Calc --> PiC20H12Calc[ΠC20H12(count) = (0.35 · CC20H12(count) · Vq · (100 - η)) / (Qup · ՍԹԽԽ)]
    PiC20H12Calc --> q3Calc[q3(count) = (αh - 1.0019) / (0.33808 - 0.33984 · (αh)2) + 1.357]
    q3Calc --> CCOCalc[CCO(count) = q3(count) · R · Qup / 1013]
    CCOCalc --> PiCOCalc[ΠCO(count) = (0.35 · CCO(count) · Vq · (100 - η)) / (Qup · ՍԹԽԽ)]
    PiCOCalc --> PiSigmaCalc[ΠΣ(count) = ΠNOx(count) + ΠC20H12(count) + ΠCO(count)]
    PiSigmaCalc --> AlphaRange

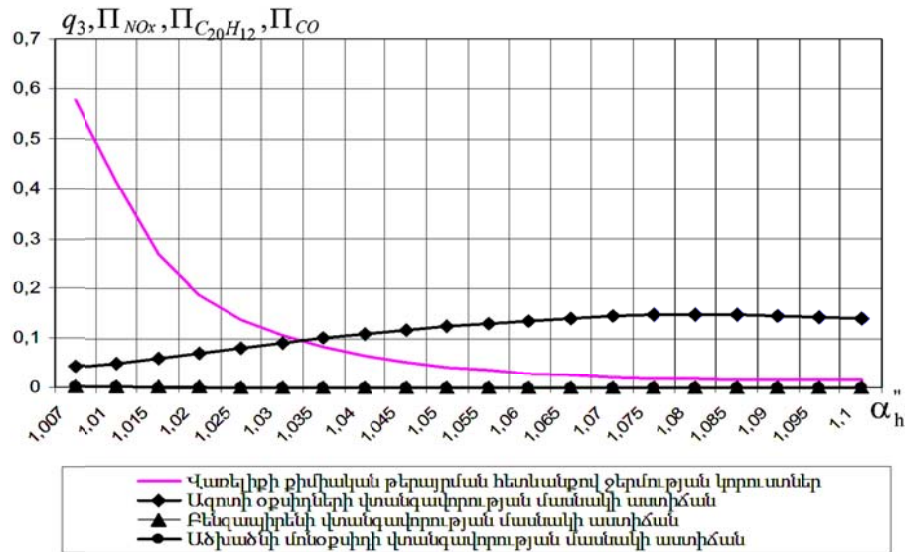
    subgraph RightSide [ ]
        direction TB
        Count1[i = 1 : count] --> Def1[deff(i) = |CCO(i) - 300|]
        Def1 --> J1[j = 1]
        J1 --> Min1[min = deff(1)]
        Min1 --> Alpha3001[α300 = αhtmp(1)]
        Alpha3001 --> Count2{i = 2 : count}
        Count2 --> DefMin{deff(i) < min}
        DefMin -- + --> JAssign[j = i]
        JAssign --> MinAssign[min = deff(i)]
        MinAssign --> Alpha3002[α300 = αhtmp(i)]
        Alpha3002 --> N0[n = 0]
        N0 --> Alpha3003[αSO3 = 1.08]
        Alpha3003 --> AlphaRange2{αh = α300 · 0.001 : αSO3}
        AlphaRange2 --> NInc[n = n + 1]
        NInc --> SNOxCalc[SNOx(n) = MNOx(j+n-1) · PNOx]
        SNOxCalc --> SC20H12Calc[SC20H12(n) = MC20H12(j+n-1) · PC20H12]
        SC20H12Calc --> SCoCalc[SCO(n) = MCO(j+n-1) · PCO]
        SCoCalc --> SSumCalc[SΣ(n) = SC20H12(n) + SCO(n)]
        SSumCalc --> End([Գրափիկական  
առնչությունների  
արտապատկերում])
        End --> Stop([Վերջ])
    end

```

The flowchart describes an algorithm for determining the concentration of pollutants in the air. It starts with an initial value for α_h and iterates through a range of values. For each value, it calculates the concentration of NO_x and $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ using specific formulas, and then calculates the concentration of CO based on the NO_x concentration. The algorithm then calculates the total concentration of pollutants and iterates through a range of values for α_{300} and α_{SO_3} to find the optimal values for the concentration of pollutants.

135

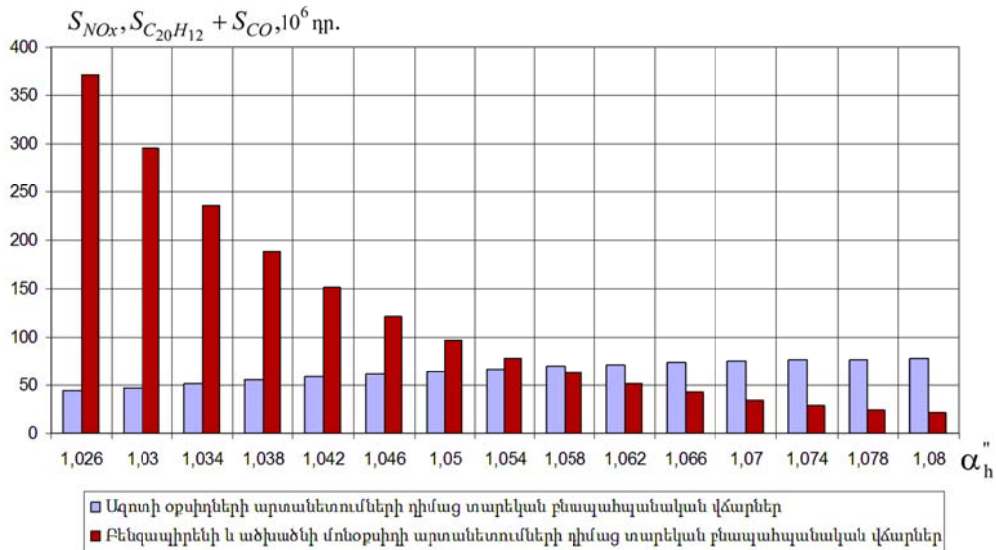
Մշակված բլոկ-սխեմայի և MatLab ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ կատարված հաշվարկների արդյունքները ներկայացված են գրաֆիկական արտապատկերմամբ (նկ. 3 և 4): Քանի որ հաշվարկների իրականացման համար որպես վառելիք կիրառվել է ծծմբառատ մագուիթ, ուստի ծծմբական անհիդրիդի (SO_3) առաջացման գործընթացից խուսափելու համար նպատակահարմար է օդի ավելցուկի գործակցի առավելագույն թույլատրելի մեծության արժեքը սահմանափակել 1,08-ով:



Նկ. 3. Վառելիքի քիմիական թերայրման հետևանքով ջերմության կորուստների, ազոտի օքսիդների, բենզապիրենի և ածխածնի մոնօքսիդի մասնակի վտանգավորության աստիճանների կախվածությունը օդի ավելցուկի գործակցից

Ստացված գրաֆիկական առնչությունից (նկ. 3) երևում է, որ հնոցում օդի ավելցուկի գործակցի նվազեցումը մասնավորապես՝ 1,08-ից մինչև 1,026, հանգեցնում է գումարային վտանգավորության աստիճանի 1,75 անգամ փոքրացման՝ պայմանավորված ազոտի օքսիդների քանակության կրճատմամբ, սակայն, միաժամանակ, բենզապիրենի և ածխածնի մոնօքսիդի վտանգավորության մասնակի աստիճանների գումարը գրեթե գրոյական արժեքից աճում է մինչև 0,0016:

Քանի որ այրման արգասիքների գումարային վտանգավորության աստիճանը, ըստ էության, որոշվում է միայն NO_x -երով, ուստի էկոլոգիական անվտանգության տեսանկյունից օդի ավելցուկի գործակցի մեծության նվազեցումը դիտարկվող տիրույթում չի սահմանափակվում ($\Pi^{\Sigma} = f(\alpha_h)$) կախվածությունը նվազագույն էքստրեմում չունի), սակայն անպայմանորեն պետք է հաշվի առնել էներգետիկական արդյունավետության նվազեցումը՝ պայմանավորված քիմիական թերայրման հետևանքով ջերմության կորուստներով:



Նկ. 4. Տարեկան բնապահպանական վճարների մեծության կախվածությունը օդի ավելցուկի գործակցից

Նկ. 4-ում պատկերված գրաֆիկական առնչությունից երևում է, որ օդի ավելցուկի գործակցի թվային մեծության դիտարկվող տիրույթում տարեկան բնապահպանական վճարները մինչև $\alpha_h'' = 1,054$ արժեքը պայմանավորված են գերակշռորեն թերայրման արգասիքների արտանետումների համար զանձումներով, իսկ նշված արժեքի գերազանցման պարագայում ընդհակառակը՝ տարեկան բնապահպանական վճարները հիմնականում պայմանավորված են ազոտի օքսիդների արտանետումներով և մնում են գրեթե հաստատուն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Մարտիկյան Ռ.Զ.** Շրջակա միջավայրի պաշտպանությունը ՋԷԿ-երի և ԱԷԿ-ների արտանետումներից: Դասագիրք. Մաս 1 / ՀՊՃՀ.- Եր.: Հարտարագետ, 2002.- 116 էջ:
2. **Մարտիկյան Ռ.Զ., Էլբակյան Ս.Ն.** Ազոտի օքսիդների նվազեցման միջոցառումների համադրական վերլուծություն // ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. Հատոր 2.- Երևան, 2011.- էջ 392-397:
3. <http://nst.e-apbe.ru/book/1.4.2.pdf>
4. **Сигал И.Я.** Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Недра, 1988. - 312 с.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.03.2013.

С.Г. ЭЛБАКЯН

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ВРЕДНОСТИ ПРОДУКТОВ
СГОРАНИЯ ТЭС ПРИ СНИЖЕНИИ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА
ВОЗДУХА**

Проведена оценка влияния снижения величины коэффициента избытка воздуха на увеличение содержания монооксида углерода и бенз(а)пирена и уменьшение содержания оксидов азота в продуктах сгорания жидкого топлива. Разработаны расчётный алгоритм и соответствующая программа, позволяющие рассчитать годовые экологические затраты в зависимости от значения коэффициента избытка воздуха.

Ключевые слова: коэффициент избытка воздуха, суммарный показатель вредности, оксиды азота, монооксид углерода, бенз(а)пирен, природоохранные затраты.

S.H. ELBAKYAN

**DEVELOPING AN ALGORITHM FOR EVALUTING THE HAZARD INDICATOR
OF THE TPP COMBUSTION PRODUCTS AT DECREASING THE VALUE OF AIR
RATIO EXCESS**

The influence of reducing the value of air ratio excess on the carbon monoxide and benzopyrene increase and nitrogen oxide decrease in the combustion products of liquid fuels is evaluated. A calculation algorithm and an appropriate program, allowing to calculate the annual environmental costs, depending on the value of the air ratio excess are developed.

Keywords: excess air ratio, total hazard indicator, nitrogen oxides, carbon monoxide, benzopyrene, environmental costs.

Լ.Վ. ՄԱՏԱՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

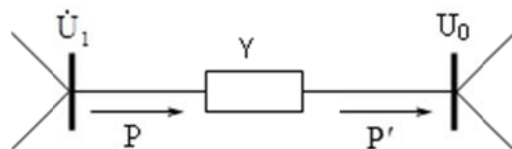
Հետազոտվում է ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերով ցանցում ակտիվ հզորությամբ հոսքերի ուղղությունների կախվածությունը ճյուղի հաղորդականությունից և դրան հարակից հանգույցների լարման մոդուլների և արգումենտների հարաբերակցությունից:

Առանցքային բառեր. կառուցվածքային վերլուծություն, աղիլիկ գրաֆ, ակտիվ հզորության շրջապատույտ, լարման մոդուլ և արգումենտ:

Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի (ԷԷՀ) կայունացված ռեժիմների կառուցվածքային վերլուծության խնդրի լուծումը, [1] աշխատանքում բերված մեթոդի համաձայն, հանգում է էլեկտրական ցանցի ուղղորդված « p -գրաֆի» կառուցմանը, որի տոպոլոգիան էլեկտրական ցանցի սխեմայի տոպոլոգիան է, իսկ ճյուղերն ուղղորդված են ակտիվ հզորության հոսքերի իրական ուղղությամբ: Եթե ցանցի ուղղորդված « p -գրաֆը» աղիլիկ է [2], ապա կառուցվածքային վերլուծության խնդիրն ունի միարժեք լուծում, հակառակ դեպքում՝ խնդիրը լուծում չունի: Ընդհանուր դեպքում ԷԷՀ-ի ցանցերում ուղղորդված « p -գրաֆը» կարող է ստացվել ցիկլիկ, ինչը նշանակում է, որ ցանցում գոյություն ունի ակտիվ հզորության շրջապատույտ [3]:

Աշխատանքում հետազոտվում է ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղում ակտիվ հզորության հոսքերի ուղղությունների կախվածությունը ճյուղի հաղորդականությունից և դրան հարակից հանգույցների լարման մոդուլների և արգումենտների հարաբերակցությունից:

Դիտարկենք էլեկտրական ցանցի (շղթա) որևէ ճյուղի սկզբում (P) և վերջում (P') ակտիվ հզորության հոսքերի ուղղությունները՝ կախված ճյուղի հարակից հանգույցների մոդուլների (U) և արգումենտների (ψ) մեծությունների հարաբերակցությունից և ճյուղի հաղորդականությունից (Y) (նկ. 1):



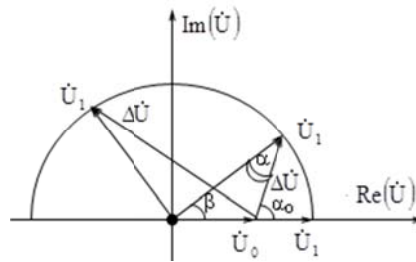
Նկ. 1. Էլեկտրական ցանցի ճյուղի ակտիվ հզորության հոսքերը

Հնդունենք՝ $\arg(\dot{U}_0) = 0$:

Դիտարկենք երկու դեպք.

1. $|\dot{U}_1| > U_0$, $0 \leq \arg(\dot{U}_1) \leq \pi$:

Նշանակենք՝ $\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_0$, $\alpha = \arg(\dot{U}_1 \Delta \dot{U})$, $\beta = \arg(\dot{U}_1)$: Փոփոխելով $\dot{U}_1$ լարման արգումենտը $0 \leq \beta \leq \pi$ տիրույթում՝ կստանանք նկ. 2-ում պատկերված վեկտորական դիագրամը β անկյան տարբեր արժեքների համար:



Նկ. 2. $U_0, \dot{U}_1, \Delta \dot{U}$ վեկտորների վեկտորական դիագրամը

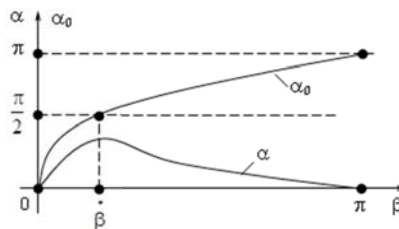
Որոշենք α անկյան՝ β անկյունից կախվածության ֆունկցիայի անալիտիկ տեսքը.

$$\alpha = \arctg \frac{U_0 \sin \beta}{U_1 - U_0 \cos \beta} : \quad (1)$$

$\beta^* = \arccos \frac{U_0}{U_1}$ անկյան արժեքի դեպքում α անկյունը ստանում է առավելագույն արժեք՝

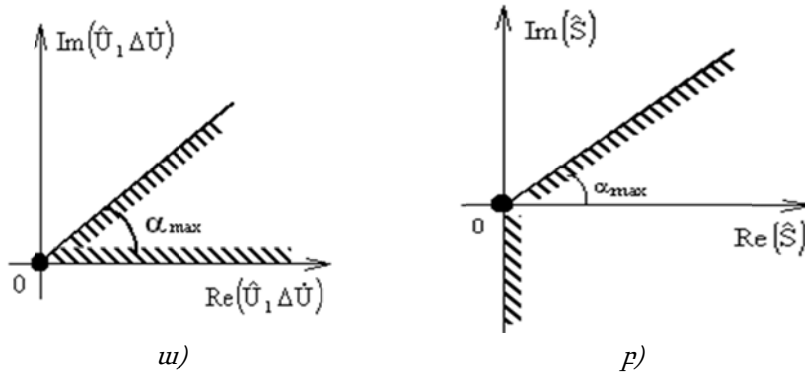
$$\alpha_{max} = \arctg \frac{U_0 \sqrt{1 - \frac{U_0^2}{U_1^2}}}{U_1 - \frac{U_0^2}{U_1}} = \arctg \frac{U_0}{\sqrt{U_1^2 - U_0^2}} < \frac{\pi}{2} : \quad (2)$$

(1) ֆունկցիայի գրաֆիկն ունի նկ. 3-ում բերված տեսքը:



Նկ. 3. (1), (3) ֆունկցիաների գրաֆիկները ($U_0 < U_1$)

Համաձայն նկ. 3-ի՝ ստանում ենք կոմպլեքս հարթության վրա $(\hat{U}, \Delta\dot{U})$ մեծության որոշման տիրույթը, ինչպես նաև $\hat{S} = (\hat{U}, \Delta\dot{U} Y)$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) \leq 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 4):



Նկ. 4. $(\hat{U}, \Delta\dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

Վերը բերված դատողությունները կատարենք $P' = Re(U_0 \Delta\dot{U} Y)$ ակտիվ հզորության համար (նկ. 1): Համաձայն նկ. 2-ի, $\alpha_0 = arg(U_0 \Delta\dot{U}) = arg(\Delta\dot{U})$, հետևաբար՝

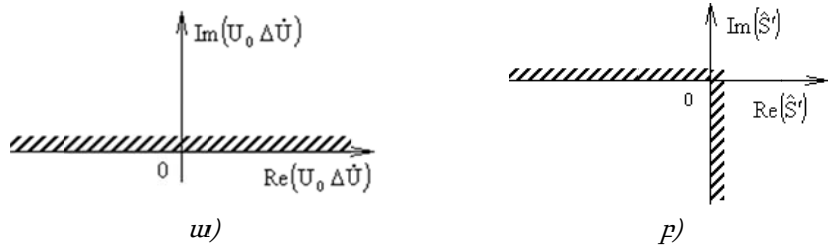
$$\alpha_0 = \arctg \frac{U_0 \sin \beta}{U_1 - U_0 \cos \beta} + \beta : \quad (3)$$

Որոշելով (6) ֆունկցիայի էքստրեմումի կետերը, ստանում ենք՝

$$\cos \beta \neq \frac{U_1}{U_0} > 1,$$

հետևաբար, (6) ֆունկցիան էքստրեմումի կետեր չունի և իր նվազագույն ու առավելագույն արժեքներն ստանում է $\beta \in [0, \pi]$ միջակայքի ծայրակետերում՝ $\alpha_0(0) = 0$, $\alpha_0(\pi) = \pi$ (նկ. 3):

Համաձայն նկ. 3-ի՝ ստանում ենք կոմպլեքս հարթության վրա $(U_0, \Delta\dot{U})$ մեծության որոշման տիրույթը, ինչպես նաև $\hat{S}' = U_0 \Delta\dot{U} Y$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) \leq 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 5):

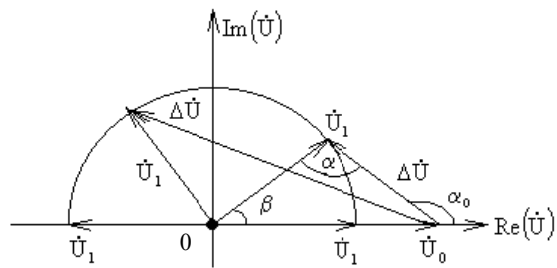


Նկ. 5. $(U_0 \Delta \dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}'$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

Դիտարկենք հաջորդ դեպքը.

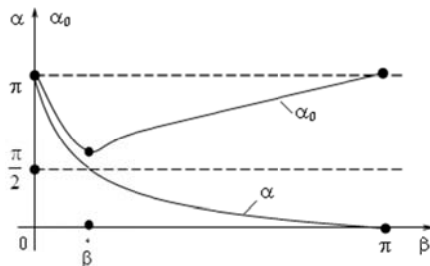
2. $|\dot{U}_1| < U_0$, $0 \leq \arg(\dot{U}_1) \leq \pi$:

Փոփոխելով $\dot{U}_1$ լարման արգումենտը $\beta = \arg(\dot{U}_1) \in [0, \pi]$ տիրույթում՝ կստանանք նկ. 6-ում պատկերված վեկտորական դիագրամը β անկյան տարբեր արժեքների համար:



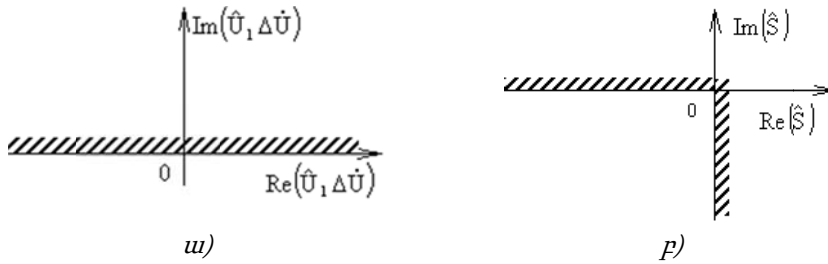
Նկ. 6. $U_0, \dot{U}_1, \Delta \dot{U}$ վեկտորների վեկտորական դիագրամը

Որոշենք α անկյան՝ β անկյունից կախվածության ֆունկցիայի անալիտիկ տեսքը ($\alpha = \arg(\dot{U}_1 \Delta \dot{U})$): Այդ ֆունկցիան կունենա (1) տեսքը, և քանի որ $|\dot{U}_0| > |\dot{U}_1|$, ապա այն էքստրեմումի կետ չի ունենա, իսկ գրաֆիկը կունենա նկ. 7-ում պատկերված տեսքը:



Նկ. 7. (1), (3) ֆունկցիաների գրաֆիկները $U_1 < U_0$ պայմանի դեպքում

Համաձայն նկ. 7-ի՝ ստանում ենք կոմպլեքս հարթության վրա $\hat{U}_1 \Delta \dot{U}$ մեծության որոշման տիրույթը, ինչպես նաև՝ $\hat{S} = \hat{U}_1 \Delta \dot{U} Y$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) \leq 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 8):

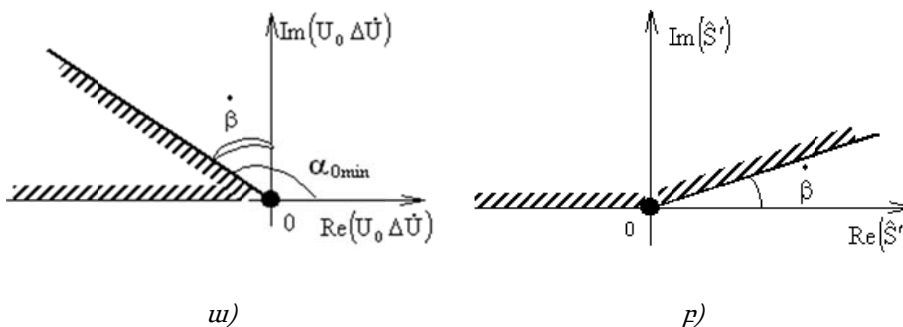


Նկ. 8. $(\hat{U}_1 \Delta \dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

Վերոհիշյալ դատողությունները կիրառենք $P' = Re(U_0 \Delta \dot{U} Y)$ ակտիվ հզորության նկատմամբ (նկ. 6): $\alpha_0 = f(\beta)$ ֆունկցիան ունի (3) տեսքը, որի էքստրեմումի կետում՝

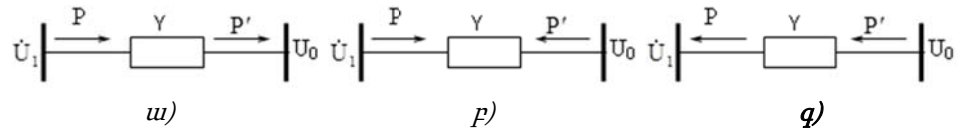
$$\cos \beta^* = \frac{U_I}{U_0} < 1, \quad \alpha_{0min}^* = \frac{\pi}{2} + \beta^* < \pi :$$

(1) և (3) ֆունկցիաների գրաֆիկները, երբ տեղի ունի $U_I < U_0$ պայմանը, պատկերված են նկ. 7-ում: Ըստ $\alpha_0 = f(\beta)$ ֆունկցիայի տեսքի՝ որոշում ենք $(U_0 \Delta \dot{U})$ կոմպլեքս մեծության որոշման տիրույթը կոմպլեքս հարթության վրա, ինչպես նաև ստանում ենք $\hat{S}' = U_0 \Delta \dot{U} Y$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) < 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 9):



Նկ. 9. $(U_0 \Delta \dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}'$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

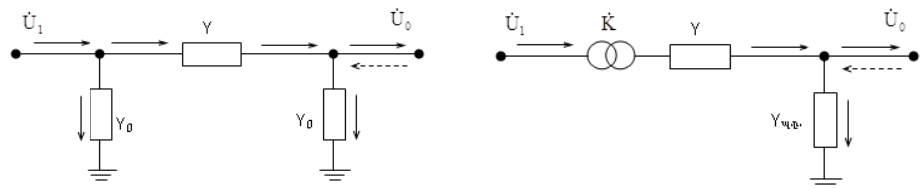
Դիտարկվող ճյուղի սկզբում և վերջում ակտիվ հզորության հոսքերի հնարավոր ուղղությունները բերված են նկ. 10-ում:



Նկ. 10. Ճյուղի ակտիվ հզորության հոսքերի հնարավոր ուղղությունները

Քանի որ [3] աշխատանքում չի դիտարկվում էլեկտրահաղորդման գծերի լայնական ճյուղերի առկայությունը, ուստի ստորև կդիտարկենք վերջիններիս ազդեցությունը ակտիվ հզորության հոսքերի վրա:

Կայունացված ռեժիմների կառուցվածքային վերլուծության խնդրում անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև էլեկտրահաղորդման գծերի լայնական տարրերը (ունակային հաղորդականությունը և պսակաձև պարպման կորուստները մոդելավորող ակտիվ հաղորդականությունը) և տրանսֆորմատորների պարապ ընթացքի գործընթացները մոդելավորող հաղորդականությունը (նկ. 11):



Նկ. 11. Էլեկտրահաղորդման գծում և տրանսֆորմատորում լայնական ճյուղերի առկայության դեպքում ակտիվ հզորության հոսքերի իրական ուղղությունների ցուցադրումը

Ընդունելով էլեկտրահաղորդման գիծը և տրանսֆորմատորը որպես քառաբևեռ (նկ. 11), նրանց՝ ըստ լարման և հոսանքի փոխանցման ֆունկցիաները, որոնք արտահայտվում են կոմպլեքս փոփոխականի կոտորակագծային ֆունկցիաներով [4], կընդունեն հետևյալ տեսքը.

$$\dot{K}_U = \alpha_U \frac{a_U + Y}{b + Y},$$

$$\dot{K}_I = \alpha_I \frac{a_I + Y}{b + Y},$$

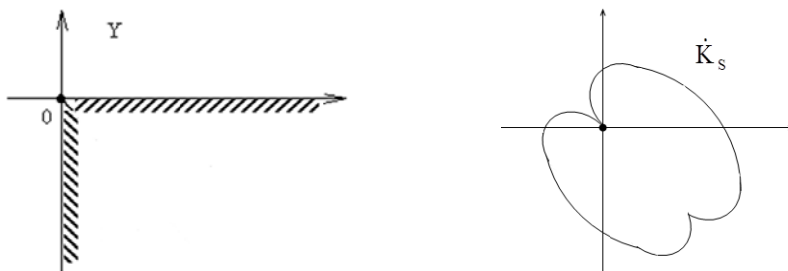
որտեղ $\dot{K}_U$ ($\dot{K}_I$) -ը քառաբևեռի ըստ լարման (հոսանքի) փոխանցման ֆունկցիան է, Y -ը՝ էլեկտրահաղորդման գծի (տրանսֆորմատորի) երկայնական ճյուղի հաղորդականությունը, α_U , α_I , a_U , a_I , b -ն կոմպլեքս հաստատուններ են:

Քառաբևեռի ըստ հզորության փոխանցման ֆունկցիան կլինի.

$$\dot{K}_S = \dot{K}_U^* K_I = \alpha \frac{(a_U + Y) \left(a_I + Y \right)^*}{|b + Y|^2}, \quad (4)$$

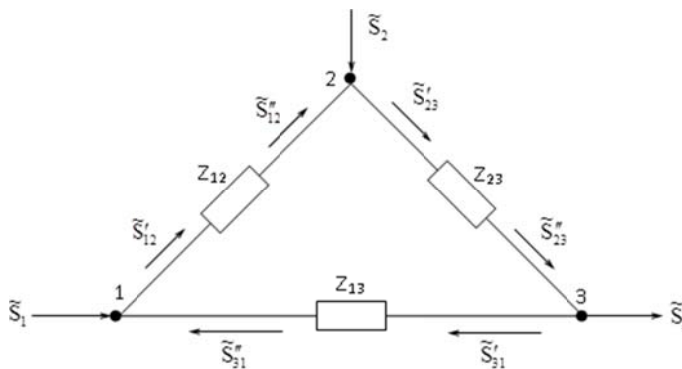
որտեղ $\dot{K}_S$ -ը քառաբևեռի ըստ հզորության փոխանցման ֆունկցիան է, $\alpha = \alpha_U^* \alpha_I$:

Կարելի է ցույց տալ, որ կոմպլեքս փոփոխականի (4) ֆունկցիայով Y կոմպլեքս հարթության չորրորդ քառորդի արտապատկերումը $\dot{K}_S$ հարթության վրա ունի նկ. 12-ում բերված տեսքը:



Նկ. 12. Y կոմպլեքս հարթության չորրորդ քառորդի արտապատկերումը $\dot{K}_S$ հարթության վրա

Դիտարկենք ակտիվ հզորության հոսքերի շրջապատույտը նկ. 13-ում բերված եռահանգույց շղթայում, որի ճյուղերն ուղղորդված են նրանցում ակտիվ հզորության հոսքերի իրական ուղղությամբ:



Նկ. 13. Ակտիվ հզորության հոսքերի շրջապատույտի ցուցադրումը

Նկ. 13-ում բերված սխեմայի համար ունենք՝

$$Z_{12} = 4 + j, \quad Z_{23} = 2 + j, \quad Z_{13} = 1 + j5,$$

$$\dot{U}_1 = 20, \quad \dot{U}_2 = 16.09e^{j5.38}, \quad \dot{U}_3 = 13.15e^{j10.18},$$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_1 &= 13.45 + j40.72, \quad \tilde{S}_2 = 3 + j6, \quad \tilde{S}_3 = 6 + j33, \\ \tilde{S}'_{12} &= 16.96 + j11.78, \quad \tilde{S}''_{12} = 12.70 + j10.71, \quad \Delta\tilde{S}_{12} = 4.26 + j1.07, \\ \tilde{S}'_{23} &= 15.70 + j16.71, \quad \tilde{S}''_{23} = 11.63 + j14.68, \quad \Delta\tilde{S}_{23} = 4.07 + j2.03, \\ \tilde{S}'_{31} &= 5.63 - j18.32, \quad \tilde{S}''_{31} = 3.51 - j28.94, \quad \Delta\tilde{S}_{31} = 2.12 - j10.62 : \end{aligned}$$

Նշված օրինակում (նկ. 13) ակտիվ հզորության հոսքերի շրջապատույտը հակասում է ակտիվ հզորության մասին գոյություն ունեցող դասական պատկերացումներին: Նշենք, որ հաստատուն հոսանքի շղթայում հզորության շրջապատույտն անհնար է, քանի որ այն անհամատեղելի է Կիրխոֆի երկրորդ օրենքին՝ հետևյալ նկատառումներով. հաստատուն հոսանքի շղթայում հզորության հոսքի շրջապատույտը հնարավոր է միայն այն դեպքում, եթե գոյություն ունի այնպիսի կոնտուր, որի բոլոր ճյուղերի հոսանքների իրական ուղղությունները համընկնում են այդ կոնտուրի շրջանցման ուղղությանը: Այդպիսի կոնտուրի համար Կիրխոֆի երկրորդ օրենքը բավարարվել չի կարող:

Եզրակացություններ

- Ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի համար, որոնց հարակից հանգույցների լարումների համար տեղի ունեն $\arg(\dot{U}_0) = 0$ և $0 \leq \arg(\dot{U}_1) \leq \pi$ պայմանները՝
 - $|\dot{U}_1| > U_0$ դեպքում ճյուղի սկզբում և վերջում հնարավոր են նկ. 10-ում բերված ակտիվ հզորության հոսքի ա) և բ) տարբերակները,
 - $|\dot{U}_1| < U_0$ դեպքում ճյուղի սկզբում և վերջում հնարավոր են նկ. 10-ում բերված ակտիվ հզորության հոսքի բոլոր տարբերակները:
- Ցույց է տրված, որ էլեկտրական ցանցում հնարավոր է ստանալ ակտիվ հզորության շրջապատույտ: Այս դեպքում ԷԷՀ-ի կայունացված ռեժիմի կառուցվածքային վերլուծության խնդիրը դառնում է անլուծելի:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

- Сафарян В.С.** Структурный анализ потоков и потерь мощности в электрических цепях // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. - Т. 54, № 1. - С. 52 - 57.
 - Кристофидес Н.** Теория графов. - М.: Мир, 1978. - 432с.
 - Сафарян В.С.** Анализ направлений потоков активной мощности электрических цепей. Энергетика // Изв. вузов и энерг. объединений СНГ. - 2002. - № 4. - С. 39 - 45.
 - Сафарян В.С.** Применение дробно-линейных функций комплексной переменной к исследованию линейных электрических цепей // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1987. - № 2. - С. 11 - 15.
- «Էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտ» ՓԲԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.03.2013:

Л.В. САФАРЯН

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Исследуется зависимость направлений потоков активных мощностей для ветвей активно-индуктивного характера от соотношения модулей и аргументов напряжения смежных узлов исследуемой ветви.

Ключевые слова: структурный анализ, ациклический граф, циркуляция активной мощности, модуль и аргумент напряжения.

L.V. SAFARYAN

**PECULIARITIES OF STRUCTURAL ANALYSIS OF THE ESTABLISHED REGIMES
OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM**

The dependence of the active power flow directions on the branch conductance and the ratio of voltage modules and arguments of its adjacent nodes is studied for networks with active and inductive branches.

Keywords: structural analysis, acyclic graph, circulation of active energy, voltage module and argument.

М.К. БАГДАСАРЯН, С.С. АЛАВЕРДЯН

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕЛЬНИЦА-ДВИГАТЕЛЬ**

Предложена математическая модель для исследования электромеханической системы мельница-двигатель, позволяющая путем определения изменения углов поворота, скорости и ускорения венцевой шестерни, смонтированной на корпус барабана, и подшипниковой шестерни, соединенной с валом двигателя, обнаружить возможные изменения состояния механических передач и приводного двигателя.

Ключевые слова: электромеханическая система, математическая модель, приводной двигатель, тригонометрическая коллокация.

Для обнаружения изменений состояния электромеханической системы мельница-двигатель задолго до наступления аварийной ситуации особое место занимает техническая диагностика.

На характер динамических процессов в электромеханической системе рудоразмольной мельницы оказывают влияние многие факторы: конструктивные параметры упругих звеньев (массы или моменты инерции масс, жесткости связей), законы изменения внешних возмущений, характеристики и параметры двигателя, особенности приводных линий [1-3].

Дефекты узлов электромеханической системы, представляющие опасность и ограничивающие сроки эксплуатации системы, возникают на этапах их изготовления, сборки и монтажа, а также в процессе эксплуатации машины. Все дефекты, возникающие при нормальной работе системы, обнаруживаются задолго до появления аварийной ситуации, а многие – на этапе зарождения.

Учитывая, что на ранних стадиях самые опасные дефекты обнаруживаются на узлах подшипника и механических передач, возникает необходимость разработки научно-технических решений по обнаружению дефектов механических передач.

Целью настоящей работы является разработка математической модели для исследования и обнаружения изменений состояния механических передач и приводного двигателя. Для решения поставленной цели при разработке модели за основу был принят тот факт, что изменение состояния механических передач и приводного двигателя приводит к изменению во времени углов поворота, скорости и ускорения венцевой шестерни, смонтированной на корпус барабана, а также подшипниковой шестерни, соединенной с валом двигателя.

Для отыскания гармонических колебаний, возникающих в электромеханической системе рудоразмольной мельницы, рассматриваются дифференциальные уравнения, описывающие динамику системы [4]:

$$\begin{cases} J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} - c(\varphi_2 - \varphi_1) = -M_M, \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + c(\varphi_2 - \varphi_1) = M, \end{cases} \quad (1)$$

где $M_M = m_o - m_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + m_2 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2}$, $M = M_o - \beta \frac{d\varphi_2}{dt}$.

Здесь c – жесткость связи между барабаном мельницы и электродвигателем; φ_1 – угол поворота венцевой шестерни, смонтированной на корпус барабана; φ_2 – угол поворота подшипниковой шестерни, соединенной с валом двигателя; J_1, J_2 – моменты инерции барабана рудоразмольной мельницы и ротора двигателя; M_M – момент сопротивления мельницы; m_o, m_1, m_2 – коэффициенты; β – модуль жесткости механической характеристики двигателя.

С учетом уравнения моментов сопротивления M_M и двигателя M уравнение (1) можно представить в виде

$$\begin{cases} \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} \left(1 + \frac{m_2}{J_1} \right) = \frac{c}{J_1} (\varphi_2 - \varphi_1) - \frac{m_o}{J_1} + \frac{m_1}{J_1} \frac{d\varphi_1}{dt}, \\ \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = -\frac{c}{J_2} (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{M_o}{J_2} - \frac{\beta}{J_2} \frac{d\varphi_2}{dt}. \end{cases} \quad (2)$$

Для определения периодических решений системы нелинейных дифференциальных уравнений (2) использован метод коллокации [5].

Приближенное периодическое решение (2) представим в виде тригонометрического полинома:

$$\begin{cases} \varphi_{1m} = a_0 + \sum_{j=1}^m (a_j \cos j\omega t + b_j \sin j\omega t), \\ \varphi_{2m} = A_0 + \sum_{j=1}^m (A_j \cos j\omega t + B_j \sin j\omega t), \end{cases} \quad (3)$$

где $\omega = 2\pi/T$, $a_j = (a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn})$, $b_j = (b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jn})$, $A_j = (A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{jn})$, $B_j = (B_{j1}, B_{j2}, \dots, B_{jn})$, $j=1, 2, \dots, n$.

Составим из коэффициентов a_o, a_j, b_j вектор $\varphi_1^\Gamma = (a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_m, b_m)$, из коэффициентов A_o, A_j, B_j – вектор $\varphi_2^\Gamma = (A_0, A_1, B_1, A_2, B_2, \dots, A_m, B_m)$ и назовем

их векторами коэффициентов полиномов $\varphi_{1m}(t)$ и $\varphi_{2m}(t)$. Введем в рассмотрение векторы значений полиномов системы уравнений (3) в точках $t_i = i \frac{T}{N}$, $i = 0, 1, \dots, N-1$, $N = 2m+1$:

$\varphi_1^H = (\varphi_{1m}(t_0), \varphi_{1m}(t_1), \dots, \varphi_{1m}(t_{2m}))$; $\varphi_2^H = (\varphi_{2m}(t_0), \varphi_{2m}(t_1), \dots, \varphi_{2m}(t_{2m}))$ и назовем их векторами значений тригонометрических полиномов $\varphi_{1m}(t)$ и $\varphi_{2m}(t)$. При $m=1$ система уравнений (3) примет вид

$$\begin{cases} \varphi_1(t) = a_0 + a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t, \\ \varphi_2(t) = A_0 + A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t. \end{cases} \quad (4)$$

Неизвестные коэффициенты определяются из системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{d^2 \varphi_{1m}(t_i)}{dt^2} = f_1\left(\varphi_{1m}(t_i), \varphi_{2m}(t_i), \frac{d\varphi_{1m}(t_i)}{dt}\right), \\ \frac{d^2 \varphi_{2m}(t_i)}{dt^2} = f_2\left(\varphi_{1m}(t_i), \varphi_{2m}(t_i), \frac{d\varphi_{2m}(t_i)}{dt}\right). \end{cases} \quad (5)$$

Коэффициенты полиномов $\varphi_{1m}(t)$ и $\varphi_{2m}(t)$, а также их значения в точках коллокации связаны взаимно однозначными соответствиями. Поэтому существует невырожденное линейное преобразование, осуществляющее переход от вектора коэффициентов полиномов к вектору тригонометрических полиномов [5]:

$$\varphi_1^H = H \varphi_1^\Gamma, \quad \varphi_2^H = H \varphi_2^\Gamma, \quad \varphi_1^\Gamma = \Gamma \varphi_1^H, \quad \varphi_2^\Gamma = \Gamma \varphi_2^H.$$

Элементы матрицы $H = \{H_{pk}\}$ и $\Gamma = \{\Gamma_{pk}\}$ соответственно имеют вид

$$H_{pk} = \begin{cases} 1 & \text{при } k=1, \\ \cos\left((p-1)k \frac{\pi}{N}\right) & \text{при } k=2, 4, \dots, 2m, \\ \sin\left((p-1)k \frac{\pi}{N}\right) & \text{при } k=3, 5, \dots, 2m+1; \end{cases}$$

$$\Gamma_{pk} = \begin{cases} \frac{1}{N} & \text{при } p=1, \\ \frac{2}{N} \cos\left(p(k-1)\frac{\pi}{N}\right) & \text{при } p=2,4,\dots,N-1, \\ \frac{2}{N} \sin\left((p-1)(k-1)\frac{\pi}{N}\right) & \text{при } p=3,5,\dots,N, \end{cases}$$

$$p=1,2,\dots,2m+1.$$

Векторы коэффициентов производных $\frac{d\varphi_{1m}(t)}{dt}$ и $\frac{d\varphi_{2m}(t)}{dt}$ соответственно имеют вид [5]

$$\varphi_{(1)}^\Gamma = \omega(0, \beta_1, -\alpha_1, 2\beta_2, -2\alpha_2, \dots, m\beta_m, -m\alpha_m).$$

Векторы $\varphi_{1(1)}^\Gamma$ и φ_1^Γ - связаны с равенствами

$$\varphi_{1(1)}^\Gamma = d\varphi_1^\Gamma, \quad \varphi_{1(1)}^H = H\varphi_{1(1)}^\Gamma = Hd\varphi_1^\Gamma = Hd\Gamma\varphi_1^H = W^1\varphi_1^H,$$

а векторы $\varphi_{2(1)}^\Gamma$ и φ_2^Γ - с равенствами

$$\varphi_{2(1)}^\Gamma = d\varphi_2^\Gamma, \quad \varphi_{2(1)}^H = H\varphi_{2(1)}^\Gamma = Hd\varphi_2^\Gamma = Hd\Gamma\varphi_2^H = W^1\varphi_2^H,$$

где матрица d имеет вид с $\alpha_0 = 0$, $\alpha_j = 0$, $\beta_j = -\omega j$, $j=1,2,\dots,m$:

$$d = \begin{bmatrix} \alpha_o & 0 \\ & \alpha_1\beta_1 \\ & -\beta_1\alpha_1 \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & \alpha_m\beta_m \\ 0 & -\beta_m\alpha_m \end{bmatrix}.$$

$W^1 = Hd\Gamma$ является матрицей, выражающей векторы значений производных $\frac{d\varphi_{1m}(t)}{dt}$ и $\frac{d\varphi_{2m}(t)}{dt}$ через векторы значений функций $\varphi_{1m}(t)$ и $\varphi_{2m}(t)$.

Вектор значений $\varphi_{(2)}^H$ второй производной $d^2\varphi_m(t)/dt$ выражается через вектор коэффициентов φ^Γ тригонометрических полиномов $\varphi_m(t)$ равенствами $\varphi_{1(2)}^H = H\varphi_{1(2)}^\Gamma = Hd^2\varphi_1^\Gamma = \Phi^2\varphi_1^\Gamma$, $\varphi_{2(2)}^H = H\varphi_{2(2)}^\Gamma = Hd^2\varphi_2^\Gamma = \Phi^2\varphi_2^\Gamma$, а через вектор значений φ^H - равенствами

$$\begin{aligned}\varphi_{1(2)}^H &= H\varphi_{1(2)}^\Gamma = Hd^2\varphi_1^\Gamma = Hd^2\Gamma\varphi_1^H = W^2\varphi_1^H, \\ \varphi_{2(2)}^H &= H\varphi_{2(2)}^\Gamma = Hd^2\varphi_2^\Gamma = Hd^2\Gamma\varphi_2^H = W^2\varphi_2^H,\end{aligned}$$

где $\Phi^2 = Hd^2$, $W^2 = Hd^2\Gamma$.

Учитывая вид матрицы d , находим элементы матрицы $W^v = \{W_{pk}^v\}$:

$$W_{pk}^v = \begin{cases} \frac{2}{2m+1} \omega^v \sum_{s=1}^m (-1)^h s^v \cos\left((p-1)2s \frac{\pi}{2m+1} - (k-1)2s \frac{\pi}{2m+1}\right) \text{ при } v=2h, \\ \frac{2}{2m+1} \omega^v \sum_{s=1}^m (-1)^h s^v \sin\left((k-1)2s \frac{\pi}{2m+1} - (p-1)2s \frac{\pi}{2m+1}\right) \text{ при } v=2h+1. \end{cases} \quad (6)$$

Система алгебраических уравнений (5) относительно векторов значений φ_1^H и φ_2^H принимает вид

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{2m+1} W_{pk}^2 \varphi_{1m}(t_i) = f_1 \left(\sum_{i=0}^{2m+1} \tau_{pk} \varphi_{1m}(t_i), \sum_{i=0}^{2m+1} \tau_{pk} \varphi_{2m}(t_i), \sum_{i=0}^{2m+1} W_{pk}^1 \varphi_{1m}(t_i) \right), \\ \sum_{i=1}^{2m+1} W_{pk}^2 \varphi_{2m}(t_i) = f_2 \left(\sum_{i=0}^{2m+1} \tau_{pk} \varphi_{1m}(t_i), \sum_{i=0}^{2m+1} \tau_{pk} \varphi_{2m}(t_i), \sum_{i=0}^{2m+1} W_{pk}^1 \varphi_{2m}(t_i) \right). \end{cases} \quad (7)$$

Элементы матрицы τ_{pk} определяются в виде

$$\tau_{pk} = \frac{2}{2m+1} \sum_{s=1}^m \cos\left[2s\pi\left(\frac{p-1}{2m+2} - \frac{k-1}{2m+1}\right)\right] + \frac{1}{2m+1},$$

где $p = 1, 2, \dots, 2m+2$, $k = 1, 2, \dots, 2m+1$.

В векторной форме система уравнений (7) имеет вид

$$\begin{cases} W^2\varphi_1^H = f(\tau\varphi_1^H, \tau\varphi_2^H, W^1\varphi_1^H), \\ W^2\varphi_2^H = f(\tau\varphi_1^H, \tau\varphi_2^H, W^1\varphi_2^H). \end{cases}$$

После определенных преобразований система уравнений (5) принимает вид

$$\begin{cases} W^2 \left(1 + \frac{m_2}{J_1} \right) \varphi_1 + \frac{c}{J_1} \tau \varphi_1 - \frac{m_1}{J_1} W^1 \varphi_1 - \frac{c}{J_1} \tau \varphi_2 = -\frac{m_0}{J_1}, \\ W^2 \varphi_2 - \frac{c}{J_2} \tau \varphi_1 + \frac{c}{J_2} \tau \varphi_2 + \frac{\beta}{J_2} W^1 \varphi_2 = \frac{M_0}{J_2}. \end{cases}$$

Используя обозначения $a = W^2 H$, $b = dH$, $d = W^1 H$, $a' = W^2 H$, $b' = dH$, $k' = W^1 H$, соответственно получим

$$\begin{aligned} \left| a \left(1 + \frac{m_2}{J_1} \right) + \frac{c}{J_1} b - \frac{m_1}{J_1} d \right| \left\| \begin{matrix} a_0 \\ a_1 \\ b_1 \end{matrix} \right\| - \left| \frac{c}{J_1} b \right| \left\| \begin{matrix} A_0 \\ A_1 \\ B_1 \end{matrix} \right\| &= \left| -\frac{m_0}{J_1} \right|, \\ \left| -\frac{c}{J_2} b' \right| \left\| \begin{matrix} a_0 \\ a_1 \\ b_1 \end{matrix} \right\| + \left| a' + \frac{c}{J_2} b' + \frac{\beta}{J_2} k' \right| \left\| \begin{matrix} A_0 \\ A_1 \\ B_1 \end{matrix} \right\| &= \left| \frac{M_0}{J_2} \right|. \end{aligned}$$

Определив коэффициенты a_o, a_1, b_1 и A_o, A_1, B_1 , из системы уравнений (4) можно определить изменения во времени углов поворота венцевой шестерни, смонтированной на корпус барабана, а также подшипниковой шестерни, соединенной с валом двигателя. Соответственно, изменения скорости и ускорения поворота венцевой шестерни барабана мельницы и подшипниковой шестерни определяются из системы уравнений

$$\begin{aligned} \begin{cases} \dot{\varphi}_1(t) = a_1 \omega \sin \omega t - b_1 \omega \cos \omega t, \\ \dot{\varphi}_2(t) = A_1 \omega \sin \omega t - B_1 \omega \cos \omega t; \end{cases} \\ \begin{cases} \ddot{\varphi}_1(t) = -a_1 \omega^2 \cos \omega t - b_1 \omega^2 \sin \omega t, \\ \ddot{\varphi}_2(t) = -A_1 \omega^2 \cos \omega t - B_1 \omega^2 \sin \omega t. \end{cases} \end{aligned}$$

На основе вышеприведенной математической модели разработаны алгоритм и компьютерная программа для обнаружения состояния рабочих характеристик упругих звеньев, приводящих к нарушению нормальной работы технологического процесса измельчения руды. Приводится последовательность алгоритма:

1. Задаются габаритные размеры барабанной мельницы, угловая скорость вращения барабана, а также количественные и качественные характеристики внутримельничной нагрузки (степень заполнения мельницы, плотность измельчаемого материала, объемная масса измельчающих стальных шаров).

2. Задаются паспортные данные приводного двигателя и жесткость связи между барабаном мельницы и электродвигателем.
3. Определяются моменты инерции и сопротивления, создаваемые мельницей, а также коэффициенты тригонометрического полинома.
4. Определяются углы поворота, скорости и ускорения венцевой шестерни, смонтированной на корпус барабана, и подшипниковой шестерни.

На основе описанного алгоритма разработан пакет программ, содержащий диалоговый сервис, рассчитанный на пользователей, не имеющих специальной подготовки программиста. Программы, обслуживающие модули, выполняют следующие функции: выбор типоразмеров используемых аппаратов, ввод в диалоговом режиме исходных данных, вывод результатов анализа в виде таблиц и графических изображений.

Применение разработанной модели и компьютерной программы дает возможность получить полную информацию о состоянии механических передач и приводного двигателя электромеханической системы двигатель-мельница. Данную модель можно использовать при разработке систем управления и их диагностике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев М.А., Холод Е.Л.** Управление уровнем внутримельничной загрузки барабанных мельниц с применением показателя Херста акустического сигнала // Сб. науч. тр. НГУ. – 2011. – Т 1, № 36. – С. 63–69.
2. **Багдасарян М.К., Алавердян С.С.** Модель для исследования упругого звена электромеханической системы рудоразмольной мельницы // Вестник ГИУА (Политехник). Сер. “Электротехника, энергетика”. - 2012. - Вып. 15, №1. - С. 12-18.
3. **Бабичев Д.А.** Виброактивность сил трения в цилиндрических прямозубых передачах и критерии для ее оценки // Вестник Национального технического университета “ХПИ”: Сборник научных трудов. Тематический выпуск “Проблемы механического привода”. – Харьков, 2011. - № 29. – С. 3-11.
4. **Багдасарян М.К.** Система управления процессом измельчения минерального сырья. - LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 184 с.
5. **Самойленко А.М.** Элементы математической теории многочастотных колебаний. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 11.02.2013.

Մ.Ք. ԲԱԴՂԱՍՏԱՐՅԱՆ, Ս.Ս. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ

ԱՂԱՑ-ՇԱՐԺԻՉ ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ
ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼ

Առաջարկվում է աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգի հետազոտման մաթեմատիկական մոդել, որը թույլ է տալիս աղացի թմբուկի իրանին ամրակցված պսակալին ժանանիվի և շարժիչի լիսեռին միացված առանքակալային ժանանիվի շրջանցման անկյան, արագության և արագացման փոփոխությունների որոշմամբ հայտնաբերել մեխանիկական փոխանցումների և բանեցման շարժիչի վիճակի հնարավոր փոփոխությունները:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամեխանիկական համակարգ, մաթեմատիկական մոդել, բանեցման շարժիչ, եռանկյունաչափական կոլոկացիա:

M.K. BAGHDASARYAN, S.S. ALAVERDYAN

A MATHEMATICAL MODEL FOR INVESTIGATING THE
ELECTROMECHANICAL SISTEM MILL-MOTOR

A mathematical model for investigating the electromechanical system mill-motor is proposed allowing to discover the possible changes in the state of the mechanical transmissions and the drive motor by means of defining the changes in the turning angle, the speed and acceleration of the crown gear mounted on the drum frame and the bearing gear joined with the motor shaft.

Keywords: electromechanical system, mathematical model, drive motor, trigonometrical collocation.

ՀՏԴ 519.765/768:681.51

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ ԵՎ
ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ

Է.Ն. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Ա.Հ. ՇԱՐԱԲՅԱՆ, Ա.Ս. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Ա.Ա. ՄԵԼԻՔՅԱՆ

**ԹԱՐԳՄԱՆՉԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԿՈՆՏԵՔՍՏ-ԿԱԽՅԱԼ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ ԻՐԱԿԱՆԱՑՆՈՂ ՄԵՏԱԼԵԶՎԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Հիմնավորված է մեքենայական թարգմանության համակարգերում հատուկ մասնագիտացված մետալեզվի օգտագործման անհրաժեշտությունը, տրված են այդ մետալեզվի օպերատորներին ներկայացվող պահանջները, ինչպես նաև՝ այդ օպերատորների և դրանցում օգտագործվող օպերանդների նկարագրությունները:

Առանցքային բառեր. իմաստային թարգմանիչ, գիտելիքների բազա, կոնցեպտ, մետալեզու, կոնտեքստ վերլուծություն, օպերատոր, օպերանդ:

Ըստ [1]-ի՝ ժամանակակից մեքենայական թարգմանության համակարգերում ընդունված մոտեցումներից մեկը միջին լեզվի օգտագործման միջոցով թարգմանության կազմակերպումն է: Այս մոտեցման դեպքում գիտելիքների բազայի միջոցով իրականացվում է տեքստի բազմափուլ վերլուծություն, ընդ որում, վերլուծության յուրաքանչյուր փուլում զգացվում է կոնտեքստ վերլուծության իրականացման անհրաժեշտություն: Վերջինիս իրականացման կանոնները տարբեր են՝ կախված թարգմանության մուտքային և ելքային լեզուներից, և կարող են տրվել միայն մասնագետ լեզվաբանի կողմից: Նմանօրինակ վերլուծության անհրաժեշտությունն ավելի հաճախ առաջանում է տարբեր լեզվախմբերին պատկանող լեզուներից մեկից մյուսը թարգմանություններ կատարելիս, օրինակ՝ անգլերեն-հայերեն թարգմանության դեպքում:

Դիտարկենք անգլերեն-հայերեն թարգմանություններին բնորոշ խնդիրներ, որոնց լուծման համար անհրաժեշտ է կատարել տեքստի կոնտեքստ վերլուծություն:

Այս լեզուներն ունեն բավականին տարբեր թե բառապաշար և թե քերականական կառուցվածքներ: Ըստ [2]-ի և [3]-ի՝ բառապաշարների տարբերությունների հետ կապված խնդիրները լուծվում են գիտելիքների բազայի կազմակերպչական միավորների՝ կոնցեպտների կազմի և դրանց միջև տրվող իմաստային կապերի ճիշտ ընտրության միջոցով: Սակայն լեզուների քերականական կառուցվածքների տարբերություններից բխող խնդիրը հնարավոր չէ լուծել նշված ճանապարհով: Ստորև ներկայացվում են անգլերենի և հայերենի քերականական կառուցվածքների որոշ տարբերություններ և դրանցից բխող թարգմանչական խնդիրները:

Ենթակա – ստորոգյալ – խնդիր կապակցությունների տարբերությունը երկու լեզուներում: Մեքենայական թարգմանությունը հիմնված է մուտքային նախադասության բառերի միջև շարահյուսական հարաբերությունների բացահայտման վրա:

Հայտնի է, որ անգլերենում նշված հարաբերություններ կազմող բառերի փոխդասավորություններն ավելի կոշտ են ու ամրակայված: Իսկ հայերենում այդ հարաբերություններում բառերի շարադասությունն անհամեմատ ավելի ճկուն է: Այս հանգամանքը թույլ չի տալիս, որ հայերեն-անգլերեն անցման ժամանակ կիրառվի բառացի թարգմանության սկզբունքը: Օրինակ, դիտարկենք հետևյալ նախադասությունը. <<Մարդը դրեց գիրքը սեղանին: – The man put the book on the table>>: Այս նախադասությունը հայերենում կարելի է գրել նաև հետևյալ շարադասությամբ. <<Մարդը գիրքը սեղանին դրեց>>: Սակայն եթե այս դեպքում փորձենք կատարել հայերենից անգլերեն բառ առ բառ թարգմանություն, ապա կստացվի՝ The man the book on the table put, որն անգլերենում բառերի անիմաստ շարան է:

Որոշիչ-որոշյալ կապակցությունների տարբերությունը երկու լեզուներում:

Հայերենում որոշիչ-որոշյալ կապակցության դեպքում որոշիչը դրվում է որոշյալից առաջ (բացառություն է միայն հետադաս որոշիչը, երբ որոշիչ-որոշյալն անջատվում են բուրժով): Անգլերենում որոշիչը որոշյալից առաջ կարող է լինել միայն այն դեպքում, եթե այն ոչ մի լրացում չունի (Օրինակ՝ գեղեցիկ աղջիկ – beautiful girl): Սակայն եթե որոշիչն արտահայտված է դերբայով և որևէ լրացումով (նախադաս դերբայական դարձված է), օրինակ՝ <<ջուր խմող մարդ>>, ապա այս դեպքում արդեն անգլերենում որոշիչն իր լրացման հետ միասին պետք է գրվի որոշյալից հետո: Հետևաբար, նշված օրինակի թարգմանությունը կլինի՝ the man drinking water (այլ ոչ թե՝ water drinking man):

Առաջին երկու խնդիրները լուծելու համար լեզվաբանը պետք է ունենա թարգմանության միջանկյալ փուլերում ստացվող նախադասության իմաստն արտահայտող ծառի ճյուղերի (կոնցեպտների) հետ մանիպուլյացիաներ կատարելու հնարավորություն, որոնց շնորհիվ նա, մասնավորապես, կկարողանա փոխել ճյուղերի դասավորությունը ծառի մեջ՝ ըստ ելքային լեզվի շարադասության կանոնների (ըստ [2]-ի, [4]-ի և [5]-ի):

Ենթակա – ստորոգյալ հարաբերությունների դեպքում բայի դեմքի և թվի հետ կապված խնդիրները: Անգլերենում հաճախ տարբեր դեմքեր կամ թվեր ունեցող բայերն արտահայտվում են նույն կազմությամբ: Օրինակ՝ Ես գնում եմ: – I go. Մենք գնում ենք: – We go. նախադասություններում <<գնալ>> բայի կազմությունը նույնն է՝ go. Դա կարող է հանգեցնել նրան, որ, օրինակ՝ <<I go home.–Ես գնում եմ տուն:>> նախադասությունը թարգմանվի՝ <<Ես գնում ենք տուն:>>: Այս խնդիրը լուծելու համար լեզվաբանը պետք է հնարավորություն ունենա բայի կազմության վերլուծության ընթացքում շարահյուսական կապեր ստեղծելիս այդ կապը ընդունելու համար անհրաժեշտ ստուգումներ կատարել (նշված օրինակում անհրաժեշտ է ստուգումով համոզվել, որ ենթակայի դեմքը և թիվը համընկնում են ստորոգյալի դեմքին ու թվին) և կախված դրանց արդյունքից՝ ընդունելի համարել կամ չհամարել տվյալ շարահյուսական կապը:

Անգլերեն նախադասություններում կրկնակի ժխտման բացառումը: Եթե նախադասության մեջ կա ժխտում արտահայտող բառ, ապա նման դեպքերում անգլերենում բայը չի կարող օգտագործվել ժխտական խոնարհմամբ: Օրինակ, <<Ես երբեք չեմ տեսել Փարիզը – I have never seen Paris. >>: Այս նախադասության մեջ << երբեք >> բառը (never) ժխտում է արտահայտում, ինչը, սակայն, չի խանգարում, որ հայերենում բայը ևս ժխտված լինի՝ <<չեմ տեսել>>: Իսկ անգլերենում բայը չի կարող ժխտական խոնարհմամբ լինել, այսինքն՝ I haven't never seen Paris. նախադասությունը սխալ է: Այս խնդիրը լուծելու համար լեզվաբանը պետք է հնարավորություն ունենա տեքստի վերլուծության վերջնական փուլում (երբ տեքստի վերլուծությունն արդեն ավարտվել է, ստացվել է դրա իմաստն արտահայտող ծառը, և մնացել է միայն այն վերածել ելքային լեզվով գրված տեքստի) փոխել նախադասության անդամների տարբեր պարամետրերը (նշված օրինակում պետք է փոխել բայի ժխտականության հայտանիշը):

Անգլերենում օգտագործվող բայական ֆրազները և դրանցից բխող խնդիրները: Անգլերենում գոյություն ունեն բազմաթիվ բայական ֆրազներ, որոնց մեջ բային կցվող օժանդակ մասնիկը (որը կարող է լինել ինչպես անմիջապես բայից հետո, այնպես էլ դրանից հեռացված) նախդիր կամ հետդիր է հանդիսանում, ընդ որում, այդ մասնիկը հիմնականում նախադասության մեջ առանձին իմաստային միավոր չի ներկայացնում: Թարգմանության ժամանակ անհրաժեշտություն է առաջանում գտնել նման անգլերեն բայական ֆրազների հայերեն համարժեքները: Ենթադրենք՝ ունենք հետևյալ նախադասությունը. “The car walked into the bus.”: Այս նախադասության մեջ “walk” բառը նշանակում է ոչ թե <<քայլել>>, այլ <<հարվածել>>, քանի որ այն “into” նախդրի հետ կազմում է բայական ֆրազ: Հետևաբար, այս նախադասության ճիշտ թարգմանությունը կլինի՝ <<Ավտոմեքենան հարվածեց ավտոբուսին>>, այլ ոչ թե՝ <<Ավտոմեքենան քայլեց ավտոբուսի մեջ>>, ինչպես կլիներ բառացի թարգմանության դեպքում: Բերենք ևս մեկ օրինակ. “I switched the TV on.”: Այս նախադասության մեջ “switch” բառը նշանակում է ոչ թե՝ փոխանջատել (որը դրա հիմնական իմաստն է), այլ <<միացնել>>, քանի որ այն “on” նախդրի հետ կազմում է բայական ֆրազ այն տարբերությամբ, որ այս դեպքում արդեն նախդիրը հեռացված է բայից: Հետևաբար, այս նախադասության ճիշտ թարգմանությունը կլինի. <<Ես միացրեցի հեռուստացույցը>>, այլ ոչ թե՝ <<Ես փոխանջատեցի հեռուստացույցի վրա>>, ինչպես կլիներ բառացի թարգմանության դեպքում: Այս խնդիրը լուծելու համար թարգմանչական համակարգը պետք է կարողանա տեքստի վերլուծության սկզբնական փուլում ճանաչել բայական ֆրազները և փոխարինել դրանք իրենց համարժեք կոնցեպտներով, որպեսզի բայական ֆրազներ պարունակող տեքստերի վերլուծությունը (որը ներկայացնում է նախադասության բառերին համարժեք կոնցեպտների շարանի վերլուծությունը) կախված չլինի այդ տեքստերում ֆրազների առկայությունից:

Այսպես կոչված՝ <<ճկուն>> ֆրազները և դրանցից բխող խնդիրները: Անգլերեն քերականության մեջ գոյություն ունի բայական ֆրազների մի կառուցվածք, որի էությունը

յունը բացատրենք կոնկրետ օրինակով: Դիտարկենք հետևյալ անգլերեն նախադասությունը. “The man covered with dust.” - <<Մարդը փոշոտվեց>>: Սակայն եթե այս նախադասությունը թարգմանենք բառացի, ապա կստացվի. <<Մարդը ծածկվեց փոշով>>: Թվում է, թե այս տիպի ֆրազները ոչնչով չեն տարբերվում սովորական բայական ֆրազներից, սակայն դա այդպես չէ: Ի տարբերություն սովորական բայական ֆրազների՝ այս դեպքում ֆրազը ձևավորվում է՝ կախված ոչ թե բային կից բառից, այլ շարահյուսական այն կապից, որով տվյալ բառը կապվում է հիմնական բային: Օրինակ, եթե <<փոշի>> բառի փոխարեն գրենք <<ալյուր>> (flour)՝ “The man covered with flour.”, ապա այս նախադասությունը կթարգմանվի. <<Մարդն ալյուրոտվեց>>: Այսօրինակ ֆրազները մենք կանվանենք <<ճկուն>> ֆրազներ: Այս և նմանատիպ այլ օրինակների առկայությունը անգլերեն տեքստերում ստիպում է, որ դրանց դեպքում կատարվի հատուկ վերլուծություն՝ ֆրազը հասկանալու համար: Ընդ որում, այս ֆրազները պետք է ճանաչվեն ոչ թե տեքստի վերլուծության սկզբնական փուլում, ինչպես նախորդ դեպքում էր, այլ վերջում, երբ նախադասության ծառն արդեն ստացված է, քանի որ այս դեպքում ֆրազի ստեղծման հանգամանք է հանդիսանում միայն խիստ որոշակի շարահյուսական կապի առկայությունը: Այս խնդիրը լուծելու համար լեզվաբանը պետք է հնարավորություն ունենա կատարելու մանիպուլյացիաներ նախադասության իմաստն արտահայտող ծառի ճյուղերի (կոնցեպտների) հետ տեքստի վերլուծության վերջնական փուլում, ինչպես նաև, անհրաժեշտության դեպքում, ապահովել ծառի ճյուղի որոնումը (ըստ տրված որոնումային բանալիների), հեռացումը, ավելացումը կամ դրա պարամետրերի փոփոխումը:

Վերը նշված խնդիրները լուծելու համար առաջարկվում է մուտքային տեքստերի վերլուծությունն իրականացնող և կոշտ ալգորիթմով աշխատող ծրագրային միջոցներում ներդնել մոդուլներ, որոնց աշխատանքի ալգորիթմն արդեն կախված կլինի վերլուծվող նախադասության բառերը ներկայացնող կոնցեպտներից և դրանց միջև հաստատվող շարահյուսական կապերից: Այդ մոդուլները պետք է իրականացնեն կոնտեքստ-կախյալ քերականական վերլուծություն, իսկ, ինչպես նշվեց վերևում, վերլուծության ալգորիթմները խիստ բազմազան են և կախված են ընտրվող կոնցեպտի կամ շարահյուսական վերլուծության ծառի մեջ ստեղծվող կապի շրջապատից: Նշված վերլուծության կանոնները կարող են տրվել միայն լեզվաբանների կողմից: Հետևաբար, որպեսզի լեզվաբանը չծանրաբեռնվի ծրագրավորման հոգսով և պրոբլեմներով, անհրաժեշտ է թարգմանությունը կազմակերպելու համար օգտագործել պրոբլեմ-օրիանտացված մետալեզու, որով լեզվաբանը կարտահայտի կոնտեքստ-կախյալ վերլուծության իրեն հայտնի կանոնները: Այսպիսով, այս կանոնների իրականացումը տեխնիկապես պահանջում է վերը նշված մետալեզվով ներկայացված տեքստերի ինտերպրետացիա: Վերոհիշյալ նշված ճկուն ալգորիթմներով աշխատող մոդելները փաստորեն ներկայացնում են ունիվերսալ ինտերպրետատորի կանչ, իսկ մետալեզվով ներկայացված ինտերպրետացվող ծրագրերը, բնական է, պետք է կցվեն կոնցեպտ-

ներին և պահվեն արդեն գիտելիքների բազայում: Վերը նշված խնդիրները լուծելու համար անհրաժեշտ է, որ մետալեզվով գրված կոնտեքստ-կախյալ վերլուծություն իրականացնող ծրագրերը կանչվեն և ինտերպրետացվեն տեքստի անալիզի (երբ մուտքային տեքստը վերածվում է ծառի) կամ սինթեզի (երբ ծառը վերածվում է ելքային տեքստի) որոշակի փուլերի կատարման ընթացքում: Ընդ որում, նշված փուլերում մշակվող տեղեկույթը (մուտքային տեքստի ձևափոխված տեսքերը) ներկայացվում է հետևյալ երեք տեսքերով.

- որպես բառերի գծային շարան,
- որպես բառերի իմաստներին համապատասխանող կոնցեպտների շարան,
- տեքստի հնարավոր իմաստներն արտահայտող ծառանման գրաֆների բազմություն:

Տեքստի ներկայացման նշված ձևերից բխում են պահանջները մետալեզվի օպերատորների նկատմամբ: Մետալեզուն, բացի դասական համարվող վերագրման, անցման և ցիկլի կազմակերպման օպերատորներից, պետք է ունենա նաև այնպիսի օպերատորներ, որոնք կատարում են տեքստում բառի (կոնցեպտի) դիրքի ամրակայում, տեղաշարժեր բառերի կամ կոնցեպտների շարվածքում, վերընթաց և վայրընթաց շարժումներ տեքստի իմաստային ծառի ճյուղերով, ծառի ճյուղերի (ենթածառերի) ավելացում, հեռացում կամ տեղափոխում:

Տեքստի ներկայացման վերը նշված երեք ձևերը յուրահատուկ պահանջներ են առաջադրում նաև մետալեզվում օգտագործվող օպերանդներին: Լեզվաբանին մետալեզվով գրված ծրագրերի դաշտերի նկարագրման անհրաժեշտությունից ազատելու համար մետալեզվում օգտագործվում են ամրագրված անուններով և կառուցվածքով օպերանդներ, որոնք ցույց են տրված աղյուսակում:

Մետալեզվով գրված ծրագրերը կանչվում և ինտերպրետացվում են տեքստի անալիզի կամ սինթեզի կոնկրետ փուլերում: Մեքենայական թարգմանության համակարգի միջուկով այդ կանչերը կառավարելու համար անհրաժեշտ է, որ գիտելիքների բազայում տեղադրված ծրագրի վերնագիրն ունենա հետևյալ կառուցվածքը.

[LANGUAGE] PROGRAM [ANALYS] կամ {SYNTHESES} [(STAGE<փուլի_համար>)]:

Այստեղ [LANGUAGE] դաշտը ներկայացնում է թարգմանվող լեզվի սիմվոլային ծածկագիրը, [ANALYS] և {SYNTHESES} դաշտերի միջոցով նշվում է՝ ծրագիրը տեքստի՞ց ծառ, թե՞ ծառից տեքստ անցման ժամանակ պետք է կանչվի, իսկ [(STAGE<փուլի_համար>)] դաշտով նշվում է տեքստի վերլուծության փուլի համարը, որի ընթացքում պետք է ակտիվացվի տվյալ ծրագիրը:

Օրինակ, եթե որևէ կոնցեպտին կցված է ENG PROGRAM ANALYS (STAGE 3) վերնագիրն ունեցող ծրագիր, ապա այն պետք է ակտիվացվի անգլերեն տեքստի վերլուծության երրորդ փուլում այն դեպքերում, երբ տեքստի բառերի շարվածքում առկա է բառը, որին հավակնում է տվյալ կոնցեպտը:

Օպերանդի անվանումը	Նկարագրությունը
int <համար>	Այս օպերանդներն օգտագործվում են ամբողջ թվեր պահելու համար: Օրինակ՝ int, int1, int2 և այլն:
x <համար>	Այս օպերանդներն օգտագործվում են իրական թվեր պահելու համար: Օրինակ՝ x, x1, x2 և այլն:
pos <համար>	Այս օպերանդներն օգտագործվում են տեքստում բառի (կոնցեպտի) դիրքի համարը պահելու համար: Օրինակ՝ pos, pos1, pos2 և այլն:
pos.<շարահյուսական պարամետր>	Այս օպերանդներն օգտագործվում են տեքստում որևէ դիրքով բառի (կոնցեպտի) շարահյուսական տարբեր պարամետրերը պահելու համար: Օրինակ՝ pos.case (պահվում է pos դիրքում գտնվող բառի հոլովը), pos.person (պահվում է pos դիրքում գտնվող բայի կամ դերանվան դեմքը) և այլն:

Նկարագրված մետալեզուն իր ատրիբուտներով և դրանով գրված ծրագրերի կանչի կազմակերպման սխեման ստեղծվել և զարգացվել են անգլերեն - հայերեն մեքենայական թարգմանության համակարգի մշակման ընթացքում, և մետալեզվում առաջարկված լուծումների արդյունավետությունը գործնականորեն ապացուցվել է այդ համակարգի երկարամյա շահագործման ընթացքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Манукян А.С., Казарян Р.Р. Лингвистические основы организации процесса смыслового машинного перевода // Вестник ГИУА (Политехник): Сборник научных и методических статей. - Ереван, 2010. - Том 2, № 1, – С. 270-276.
2. Մանուկյան Ա. Ս., Շարաբջյան Ա. Հ., Մելիքյան Ա. Ա., Մանուկյան Է. Ն. Մեքենայական թարգմանության համակարգերում գիտելիքների բազաների ձևավորման սկզբունքները // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2011.- Հ. 64, № 3.- էջ 257-265:
3. Շարաբջյան Ա.Հ., Մանուկյան Ա.Ս. Գիտելիքների բազաների ձևավորման մի մեթոդ մեքենայական թարգմանության համակարգերում // ՀՊՃՀ Լրաբեր.- Երևան, 2011.- Հ. 3, № 1.- էջ 223-227:
4. Манукян Э.Н., Манукян С.Н., Манукян А.С., Саядян А.С. Основы построения интеллектуальной системы машинного перевода текстов // Сборник материалов годичной научной конференции ГИУА. - Ереван, 2001.- Т. 1. – С. 306.
5. Arnold D., Balkan L., Meijer S. MACHINE TRANSLATION // An Introductory Guide, Linguistics, University of Essex, Colchester, CO4 3SQ, UK, doug@essex.ac.uk. - March 6, 2001. – P. 1-124.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.11.2012:

Э.Н. МАНУКЯН, А.А. ШАРАБЧЯН, А.С. МАНУКЯН, А.А. МЕЛИКЯН
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЯЗЫКА В БАЗАХ ЗНАНИЙ СИСТЕМ МАШИННОГО
ПЕРЕВОДА

Обоснована необходимость применения особого специализированного метаязыка в системах машинного перевода. Заданы требования, которым должны соответствовать операторы этого метаязыка, а также приведены описания этих операторов и использованных в них операндов.

Ключевые слова: смысловой переводчик, база знаний, концепт, метаязык, контекстный анализ, оператор, операнд.

E.N. MANUKYAN, A.H. SHARABCHIAN, A.S. MANUKYAN, A.A. MELIKYAN
APPLYING A METALANGUAGE IN THE KNOWLEDGE BASES OF THE
MACHINE TRANSLATION SYSTEMS

The necessity of applying a specialized metalanguage in machine translation systems is substantiated, the requirements are set to the operators of this metalanguage, as well as descriptions of those operators and the operands used in them are introduced.

Keywords: semantic translator, knowledge base, concept, metalanguage, context analysis, operator, operand.

A.A. KHZARJYAN

AN APPROACH OF STAR MEMORY SYSTEM USE FLOW AUTOMATION AND ITS
VERIFICATION

Modern SoC design restricted with Time to Market and yield. A widely used IP block in SoC is an embedded memory which is more inclined to defects. One of the well-known Infrastructural IP is a STAR Memory System (SMS) which is a general solution of BIST and repair. This paper introduces an approach of SMS use flow template library construction with application of formal verification algorithm. It is implemented as a supporting tool to optimize the SMS use flow design and verify the customer needs.

Keywords: STAR Memory System, use flow, formal verification, System-on-Chip, build in self-test, intellectual property.

Introduction. Every new semiconductor technology node provides further miniaturization and higher performance. On the other hand, the growth in demand for System-on-Chips (SoCs) has spurred a flood of better, faster, smaller chips. The creation of such SoCs necessitates using several embedded IP blocks from different vendors. Most of the known IP blocks, though, are functional ones, such as embedded processor, embedded memory, embedded analog, etc. Rather, infrastructure IP is embedded in an IC solely to ensure its manufacturability and lifetime reliability [1].

It is reasonable to notice that embedded memory IPs become the major component of SoC that will occupy more than 94% SoC area in the year 2014 [2]. In the aspect of manufacturing yield, embedded memories are more inclined to defects than other SoC components. To improve the yield, the embedded memories should be armed with redundancy [3]. In general, SoC obtains the BIST that is used to perform only testing while BIRA and BISR [4]. Components of the engine are necessary for repairing the embedded memories. One of the well-known build in test and repair solutions is a STAR Memory System (SMS) [3] that is a complete solution of build in test and repair which provides a full set of infrastructural IP compilers with the corresponding generation, insertion and verification tools.

Customers usually use different IP blocks with a wide range of SMS components to build their SMS use flows. It means that the customers have to learn all SMS components with taking into account all their specific details. As a result, the use flow design can become time consuming and an error prone process. One of the possible ways of using the flow design optimization is encapsulation of its complexity by providing a standard mechanism of SMS usage. Analysis of various customer use flows has revealed that there are some standard use flows of SMS usage. Those use flows are templates of SMS usage flow customization that are similar to the well-

known ITIL templates [5]. Similarly, SMS use flow templates can form a template library which can be provided to simplify the customers' work. In general, the use flow template library (UFTL) will serve as a basis for designing specific use flows. The use flow design tool will be provided to the customer to adopt the proposed templates to their own cases. They can also extend the library by inserting new templates into the provided library. Modification of the basic template will require verification of changes.

The paper introduces an approach to the UFTL construction which is carried out by the language for building SMS components. A converter is proposed to transfer the use flows to workflow processes. An approach to the UFTL formal verification based on formal verification algorithm of workflow processes [6, 7] is also presented in the paper. This algorithm was previously used for ITIL verification. The illustration of the approach application is illustrated on the most useful use flow template which is a SMS usage default flow. The modification of the mentioned flow is a customer-driven case. The application of the formal verification on it has been performed to check correctness of the modified use flow template.

1. Template-based language of SMS use flow design. It is necessary to define a language that can be used to implement any custom use flow of SMS design. The language has to support implementation of each use flow of SMS design and verification (DVP). At first, it has to support the definition of each IP block that can be used during SMS DVP. The next requirement is to support the addition of definitions for each new SMS DVP flow by its automation language. It means that the language has to be general as much as it is possible. One of the well-known methods of language generalization is its construction based on templates. Usually template-based languages have possibilities to extend the set of their predefined templates. Our approach to the SMS DVP automation is based on template-based language implementation which will be introduced below.

A proposed language, called SMS DVP Template Language (DTL), implements SMS DVP requirements by supporting the IP compiler libraries for each vendor and the DVP flow modifiable definitions. DTL contains construction for describing the elements of DVP. It also provides presentation of IP compiler hierarchy, data hierarchy classification, Design and Verification Information. DTL constructs are based on the main concept: "Everything is an element" (Fig. 1).

BNF like syntax forms are used to describe the main constructs of DTL. The scheme of the DTL construct has the following structure:

<element> – is the element name which is defined as a template in DTL.

<item> – zero or more items that are specific for the described element. Each item also could be simple (atomic) or complex (list of sub items).

‘;’, ‘\n’ – corresponds to the dot comma punctuation mark or a new line respectively.

Generally, there are two types of elements that can be used in DTL: simple and complex. The simple element has only atomic items while the complex element container item has a nested hierarchy that can be made up of simple and complex elements. There is no restriction on the complexity or depth of the nested hierarchy.

The simple element scheme is presented in (Fig. 2).

```
<element> {<item>} (';'|'\n')
```

Fig. 1. Scheme of DTL construct

```
<simple_element> {<simple_item>} (';'|'\n')
```

Fig. 2. Simple element

The complex element general scheme, which is more suitable for describing vendors IP, is presented in (Fig. 3).

Besides the flexibility of data hierarchy description, DTL also provides a possibility of IP compiler classification which is necessary to support each aspect of various vendors' similar IP in one DTL template. For example, each IP compiler has its own specific parameters which are introduced as a set of simple elements. As a result, the classification enables to specify individual features of each IP compiler only in its classified template as shown in (Fig. 4).

```
<complex_element> {<simple_item>} {'  
'class'<vendor>'.<IP_compiler> [(';'|'\n')]  
| {<simple_element>}  
| {<complex_element>}}  
'}' [(';'|'\n')]
```

Fig. 3. Complex element

```
element ip_type {  
    class vendor.ip_compiler_name;  
  
    element parameter;  
    ...  
    element section {  
        element subparameter;  
        ...  
    };  
};
```

Fig. 4. Definition of IP compiler

IP compilers' infrastructural hierarchy is also possible to describe by using DTL. There are two ways of describing IP compilers' hierarchy in DTL. The first is designing the DTL templates by placing them in planar structure (Fig. 5). In this case, their dependencies will be realized through references implemented by simple elements. The second is designing the DTL templates in the nested structure (Fig. 6). Selecting the hierarchy representation structure is the vendors, preference.

```
element IP_type1 {  
    class vendor.ip_compiler1;  
    element ip_type2;  
    ...  
};  
element IP_type2 {  
    class vendor.ip_compiler2;  
    element ip_type3;  
    ...  
};  
...
```

Fig. 5. Planar Structure of IP compilers

```
element IP_type1 {  
    class vendor.ip_compiler;  
    element IP_type2 {  
        class vendor.ip_compiler;  
        element ip_type3;  
        ...  
    }  
    ...  
};
```

Fig. 6. Nested Structure of IP compilers

The IP compiler definition has to be used to define each IP block. The definition of IP block is supposed to identify all the necessary parameters of the corresponding IP compiler by their values. Each IP block contains reference to its IP compiler by using its classification. The scheme of IP block definition is presented in (Fig. 7).

If the IP block is a part of infrastructure hierarchy it has to be defined as part of it. In the case of planar structure, each IP block has a reference to its sub-block except the last one (Fig. 8).

```
ip_type ip_block_name {
    class vendor.ip_compiler_name;

    parameter1 value1;
    ...
};
```

Fig. 7. IP block definition

```
ip_type1 ip_block_name1 {
    class vendor.ip_compiler_name;

    subblock ip_block_name2;
    ...
};

ip_type2 ip_block_name2 {
    class vendor.ip_compiler_name;

    subblock ip_block_name3;
    ...
};
...
```

Fig. 8. Description of IP blocks in SoC

The generation step of SMS DVP can be automated based on the information which is described above. The insertion step of SMS DVP requires the definition of SoC by specifying its IP blocks and the necessary information for insertion. The general scheme of SoC description is presented in (Fig. 9).

An example of a simple use flow which implements DVP of SMS is presented in Fig. 10. The example is given based on the constructs of DTL.

```
soc soc_name {
    ip_blocks {
        ip_block1 ...
        ip_block2 ...
        ...
    }
    ...
};
```

Fig. 9. Description of IP blocks in SoC

```
memory mem1 {
    class vendor1.compiler1;
    NW 1024;
    NB 23;
    CM 8;
};

memory mem2 {
    class vendor2.compiler2;
    NW 512;
    NB 36;
    BK 16;
};

wrapper wr1 {
    class vendor3.compiler3;
    memory mem2;
};

wrapper wr2 {
    class vendor3.compiler4;
    memory mem1;
    FREQ 100MHZ;
};

processor proc1 {
    class vendor3.compiler4;
    wrapper {wr1 wr2};
};

server srv1 {
    class vendor3.compiler5;
    NVS efuse128;
    processor {{proc1 3}};
};
```

Fig. 10. Use flow example

2. Mapping of the use flow templates on workflow processes. The formal model of workflow processes is based on the model of IBM's MQSeries Workflow [8] that has been extended by adding the necessary formalism to consider the formal verification problem [6, 7].

The workflow model components are **activities** and **connectors**. The activities are associated with a context being defined as data passing to an activity. It is called **input container**. An activity also returns data called **output container**. Control and data connectors provide connections between the activities. A control connector has an associated Boolean predicate called **transition condition**. A directed graph based on sets of activities and control connectors is called **control flow** of a workflow/business process. Full details can be found in [6-8].

Mapping of DTL on the workflow process model can be described as follows:

- The IP blocks are mapped to activities.
- The IP blocks infrastructural hierarchy can be presented by control connectors.
- The parameters of each IP block can be presented as activity data container elements.

An example of a workflow process is presented in the next section.

3. An example of formal verification algorithm application on a SMS use flow template. Let us illustrate the application of formal verification algorithm on one of the use flows. Fig 11 shows the workflow of use flow template sample that is most used by our customers. It's a use flow template of SMS usage default flow. For the verification of the given process, a precondition and a postcondition should be specified [6,7]. The specific conditions are created based on the needs of verification against the definite aspects of the process behavior.

$PreC = i(Read).Base \neq \perp$, where $\perp$ denotes the unknown value of the variable.

$PostC = (Error = TRUE \text{ OR } Sserver = PASS) \text{ AND } Send = TRUE$.

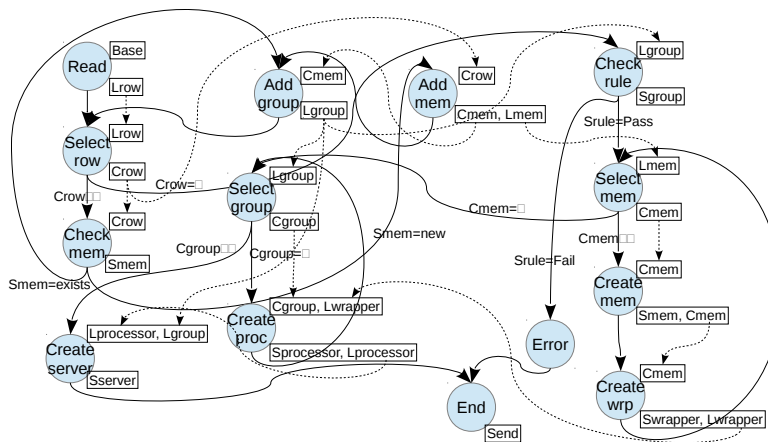


Fig. 11. Workflow process of default use flow

The application of the formal verification algorithm on the described process will identify the presence of cycles in it. A detailed analysis of cycles will show that process cycles are intervals. The first step of the algorithm will reduce the cyclic graph to the acyclic one [7]. It will initially construct the set of the first order intervals - $S_C = \{ \langle \text{Select row, Check row, Add mem Add group} \rangle, \langle \text{Select Mem, Create mem, Create Wrap} \rangle, \langle \text{Select group, Create proc} \rangle$. The next step is the replacement of intervals by corresponding equivalent activities $\langle \text{Form group, Form mem wrap, Form proc} \rangle$ [7]. The exit transitions of new activities have to contain branching information the corresponding cycle that is interpreted in terms of branching state registers. They are cycle invariants. For instance, *Form group* activity has a transition to *Check group*. Its transition condition is formulated from transition condition of *Select row* to *Check group* with addition of a branching register *BrSr*. $BrSr = 1$ presents the execution path $\langle \text{Read, Select row, Check group, ...} \rangle$ and $BrSr = 2$ is presenting execution path $\langle \text{Read, Select row, Check mem, ...} \rangle$. Transition conditions of other new activities are constructed similarly. Reduction of the mentioned intervals by equivalent activities will result in a new process (Fig. 12). The second phase analysis of the graph means that it is acyclic. The acyclic process verification algorithm [6] has to be applied to the reduced process presented in Fig. 12. After the execution of the verification algorithm and after checking the correctness condition, we find that the process is *correct*.

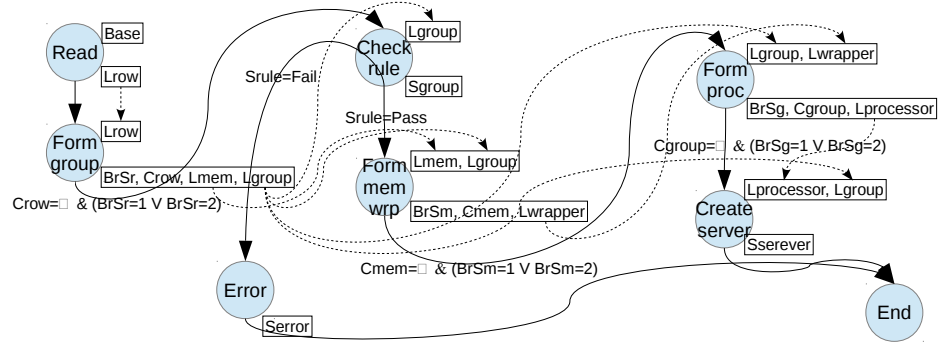


Fig. 12. Reduced process

Some of the presented activities can be modified by the user. They are *Create proc*, *Creat mem*, *Creat wrp*, *End* activities.

To improve the overall quality of this process *Analyze* and *Notify* additional tasks have been added to the process (Fig. 13) by one of our customers. This activity analyzes if everything execution of a process. In case of an abnormally executed process, the activity *Notify* would notify about it.

A new postcondition:

$PostC = (Error = TRUE \text{ OR } Sserver = PASS) \text{ AND } Sanalyzed = TRUE \text{ AND } Spassed = TRUE \text{ AND } Send = TRUE$

As a result of applying similar steps of the process transformation and verification, the condition of **incorrect** processes will be satisfied [6]. The control connector between the activities *Notify* and *End* has to be removed to correct the modified template logic. The postcondition has to be changed to:

$PostC = (Error = TRUE \text{ OR } Sserver = PASS) \quad \text{AND } Sanalyzed = TRUE \text{ AND } ((Spassed = TRUE \text{ AND } Send = TRUE) \text{ OR } (Spassed = FALSE \text{ AND } Snotify = TRUE)).$

Applying the algorithm to the corrected process will result in the satisfaction of the correct process condition [6].

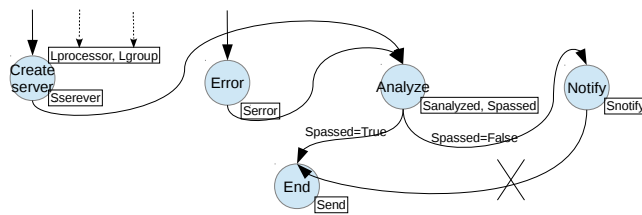


Fig. 13. Modified section of the process

Conclusion. The approach to the template-based language is proposed which is used as a basis for development of automated environment for design and verification use flows of the STAR Memory System. The main purpose of the proposed language is optimization of SMS use flows by encapsulation of its complexity by providing a common environment to SoC designer. A use flow template library (UFTL) is offered to design specific use flows by modification of the proposed templates by customers. A formal verification algorithm of workflow processes has been proposed to verify the correctness of the customers' use flows after the modification. The application of the presented approach is illustrated on a SMS default use flow.

REFERENCES

1. **Zorian, Y.** What is Infrastructure IP // IEEE Design & Test of Computers.- May-June, 2002.- Vol. 19, No 3.- P. 5-7.
2. The National Roadmap for Semiconductors. - 2000.
3. **Shoukourian S., Vardanian V., Zorian, Y.** SoC Yield Optimization via an Embedded-Memory Test and Repair Infrastructure // Design & Test of Computers IEEE. - 2004.- Vol. 21.- P.200 – 207.
4. **Rei-Fu Huang, Chen Chao-Hsun, Wu Cheng-Wen.** Economic Aspects of Memory Built-in Self-Repair // IEEE Design & Test of Computers.- 2007. – Vol. 24.- P. 164 - 172.
5. IT Infrastructure Library, IT Service Management, Office of Government Commerce, <http://www.itil.co.uk/>.
6. **Kostanyan, A., Varosyan, A.** Partial Recognizing Algorithm for Verification of Workflow Processes // FUBUTEC.- Porto Portugal, 2008.- P. 89-94.
7. **Kostanyan, A., Matevosyan V., Shoukourian S., Varosyan A.** An Approach for Formal Verification of Business Processes // BIS'09 SpringSim'09 San Diego USA.- 2009. - Article 134. – P. 1-8.

8. **Leymann, F., Roller D.** Production Workflow: Concepts and Techniques // Prentice Hall Press, 2000.- 479 p.

“Synopsys Armenia” CJSC. The material is received 12.04.2013.

Ա.Ա. ԽԶԱՐԶՅԱՆ

**«ՄԹԱՐ» ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔԻ
ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ԵՎ ՍՏՈՒԳՄԱՆ ՍՈՏԵՑՈՒՄ**

Ժամանակակից համակարգ բյուրեղի վրա (ՀԲՎ)-ի նախագծումը սահմանափակված է դեպի շուկա ժամանակի և օգտակարության ելքով: Լայնորեն օգտագործվող մտավոր սեփականության (ՄՍ) կտորը ՀԲՎ-ում ներդրված հիշողությունն է, որն ավելի հակված է արատների: Հայտնի ենթակառուցվածքային ՄՍ է «ՄԹԱՐ» հիշողության համակարգը (ՄՀՀ), որը ընդհանուր լուծում է՝ ներդրված ինքնաթեստավորման և վերանորոգման համար: Ներկայացվում է ՄՀՀ օգտագործման ընթացքի կադապարների գրադարանի կառուցումը՝ կիրառելով ձևային ստուգման ալգորիթմի մոտեցումը: Այն իրականացվել է որպես աջակցման գործիք՝ օպտիմալացնելով ՄՀՀ օգտագործման ընթացքի նախագծումը և ստուգումը՝ հաճախորդների կարիքներից ելնելով:

Առանցքային բառեր. «ՄԹԱՐ» հիշողության համակարգ, օգտագործման ընթացք, ձևական ստուգում, համակարգ բյուրեղի վրա, ներդրված ինքնաթեստավորում, մտավոր սեփականություն:

А.А. ХЗАРДЖАН

**ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРОВЕРКЕ ПРОЦЕССА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СТАР - СИСТЕМЫ ПАМЯТИ**

Современное проектирование системы на кристалле (СнК) ограничено временем выхода до рынка и полезным выходом. Широко используемый блок интеллектуальной собственности (ИС) в СнК - это встроенная память, которая более склонна к дефектам. Одна из известных инфраструктурных ИС СТАР - системы памяти (ССП) - это обобщенное решение для ВСТ и ремонта. Предлагается подход к конструированию библиотеки шаблонов процесса использования CCP и применения формального алгоритма проверки. Данный подход реализован в виде инструмента поддержки оптимизации проектирования использования CCP и проверки для нужд клиентов.

Ключевые слова: СТАР - система памяти, процесс использования, формальная проверка, система на кристалле, встроенное самотестирование, интеллектуальная собственность.

UDC634.11

RADIOELECTRONICS

R.A. SIMONYAN, D.G. ZARGARYAN, A.G. GHULYAN, H.A. PIRUMYAN

THE AGRO PRODUCT SORTING SYSTEM BASED ON THE DEGREE OF MATURITY

The current material contains theoretical information associated with usage of NIR-band in social life especially in agricultural engineering. It also covers some specific details related to the new device developed by IRPhE's Applied Radiophysics Laboratory's team. The main purpose is the evaluation of fruits-vegetables' maturity and quality before/after harvesting using NIR waves' properties.

Keywords: NIR, Beer Lambert's law, portable and programmable, NIR absorbance.

Year by year the volume of productized agro material increases dramatically due to the population growth on Earth. The figure below shows the results of the survey (shown in Fig.1). A large portion of all fresh products is lost after harvest worldwide. The main causes are physiological (wilting, shriveling, chilling injury, etc), pathological (decay due to fungi and bacteria) and physical (mechanical injury), being these causes in many instances interrelated, i.e. mechanical injury can lead to postharvest decay in many cases. Losses are estimated at 20...40% in developing countries and 10...15% in developed countries, depending on the crop. Just in the EU an estimated 4 billion EUR is lost due to postharvest losses and reduced quality of fruit. Here is some evidence [1]:

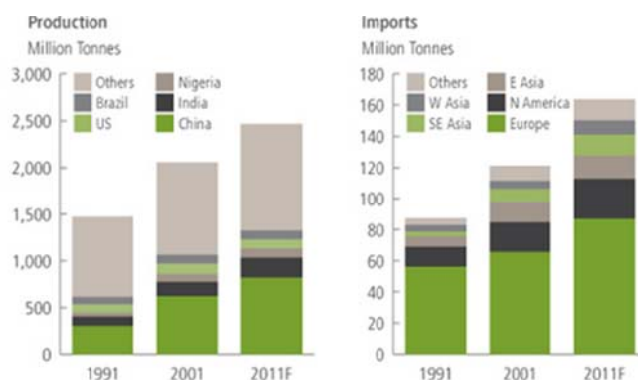


Fig. 1. Vegetable (tomato, cucumber, pepper, beans) postharvest losses in Southeast Asia range between 13...20%

A new sorting and evaluation system was introduced based on NIR technology as a simple and low cost solution to the above mentioned challenge. Near infrared technology has been extensively and effectively employed in a variety of fields both

for research and application utilities, including food, agricultural, chemical, pharmaceuticals, textiles, polymers, cosmetics and medical spheres, though it might have inherent limiting factors. Compared to the silence of the one and a half century after the discovery of NIR, an increasing number of scientists and engineers have been devoting themselves to exploiting this old but “young” technology.

Sorting system via fruit’s quality indicator. The various components of quality are used to evaluate fruits and vegetables. Quality is classified into external and internal components. Appearance, flavor, texture, nutritive value, and defect factors are generally recognized as the five quality factors of fruits and vegetables. A portable device was prototyped by IRPhE’s Applied Radiophysics Laboratory’s team which evaluates and sorts fruits /vegetables according to their maturity level. The hardware uses a reflection mode from existing three acquisition configurations shown in Fig. 2.

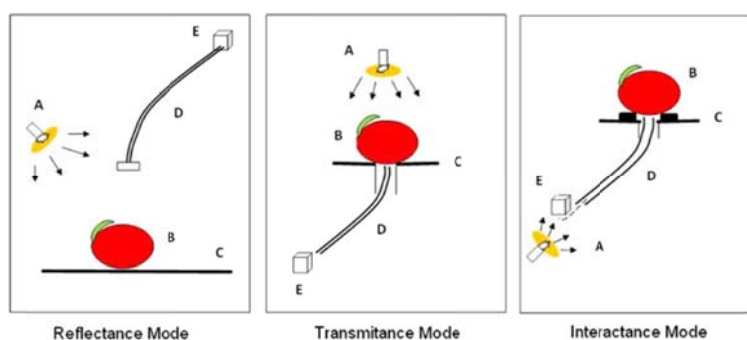


Fig. 2. Sketches: NIR source (A), Object (B), Fruit holder (C), Optic fiber (D), Detector (E)

In reflection mode the information content refers to the reflected signal’s power volume. Due to the absorbance property, part of transmitted energy is absorbed by the object (agro product) the other part reflected back. The deviation of absorbance value depends on the maturity degree and transmitted waveform length as illustrated in Fig. 3 [2- 4].

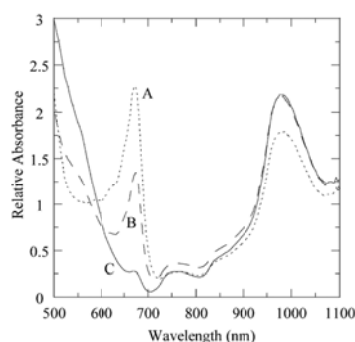


Fig. 3. Typical absorbance spectra for (A), mid-harvest (B) and late harvest (C)

NIR sorting equipment works as follows. A NIR source is focused to illuminate a piece of fruit as it passes under the NIR system. Some of the light penetrates through the fruit and is retransmitted. (This effect can be observed by holding the fruit to a bright lamp in a dark room. The fruit will glow at a distance from where the light is shining on it). The amplitude of the transmitted/reflected light is affected by the internal properties of the fruit and contains information about the internal properties of the fruit. A high maturity fruit will absorb more light at a certain wavelength than a low maturity fruit. Initially, when the fruit or vegetable is raw the distance among the cells in flash is relatively close in contrast to the mature one. Gradually with maturity, the distance starts increasing. Accordingly, the absorbance starts increasing too. Chlorophyll also plays a vital role as its absorbance value is around 680 nm.

Beer's law states that the absorbance is directly proportional to concentration.

$$A = e \times b \times c, \quad (1)$$

where A - is absorbance (no units, since $A = \log_{10} P_o/P$), e - is the molar absorptivity with units of $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, b - is the path length of the sample. We will express this measurement in centimeters, c - is the concentration, expressed in mol L^{-1} .

The amount of radiation absorbed may be measured in the following ways:

Transmittance:

$$T = \frac{P}{P_o}. \quad (2)$$

%Transmittance:

$$\%T = 100 \times T. \quad (3)$$

Absorbance:

$$A = \log_{10} \frac{P_o}{P}, \quad (4)$$

$$A = \log_{10} \frac{1}{T}, \quad (5)$$

$$A = \log_{10} \frac{100}{\%T}, \quad (6)$$

$$A = 2 - \log_{10} 10 \times \%T, \quad (7)$$

where P - radiated power, P_o is the transmittance power.

So, if all the light passes through an object without any absorption, then absorbance is zero, and the transmittance is 100%. If all the light is absorbed, then transmittance is zero, and absorption is infinite.

The new developed device uses values of P , P_0 to calculate the absorbance percent and makes a decision of the maturity degree. It consists of the following components, NIR source (for generating modulated signal), analyzing part (detection,

displaying), optical fiber bundle (reflected portion redirection) (Fig. 4). The device uses this advantage to calculate the absorbance value and makes a decision on maturity degree.

It consists of the NIR source components (for generating modulated signal), analyzing part (detection, displaying) and optical fiber bundle (reflected portion redirection) (Fig. 4).

Contribution will be done both in programming and hardware design. Here are expected results listed below:

- fast measurement,
- compatibility,
- possibility of two mode functions (production and laboratory).

This function allows a user to choose whether he/she is going to take a measurement in the field condition as a laboratory device or put it in the production mode (connect to PC run Software) for line sorting system:

- portability,
- energy saver,
- provides solutions for all varieties of fruits,
- does not damage the product.

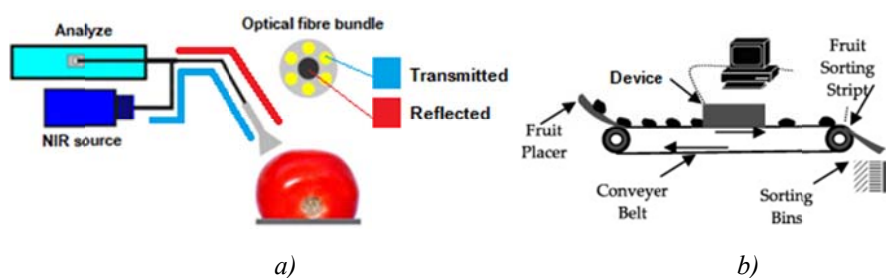


Fig. 4. a - laboratory mode, b - production mode

Here are some technical characteristics of the device:

Table

Technical characteristics of the device:

Wave length	980 nm
Power consumption	0.3 mW
Frequency	80 Hz
Modulation index	100 %

The main advantage of the introduced machine is that it facilitates automatic grading and sorting in a non-destructive method. The whole machine is cheap compared to other existing solutions. It will also increase export of agro products as it

can process a large volume in a short time and does the quality assessment as per the requirement of export. In our country, the entire produce of fruits and vegetables cannot be taken to the storage place because of the lack of processing. But using this machine, this can be achieved. It also facilitates the machine sorting where human error is not introduced.

Conclusions. This research will develop practical sensors and technologies for quality measurement and grading of fruits and vegetables before, at and after harvest. It also aims at generating new knowledge and understanding the optical and mechanical properties of fruits and vegetables and their relationship with the physiological factors and quality attributes. A systems approach of integrating sensors development, properties characterization, and models/algorithms development will be applied to attain the following specific objectives:

Objective 1. Developing cost effective sensors and sensing systems to measure and monitor the quality/maturity of separate products.

Objective 2. Developing a commercially viable technology to presort and grade fruits and vegetables so as to decrease postharvest handling and storage costs for fruit growers.

Objective 3. Develop a technology to accurately and rapidly assess, sort, and grade harvested agro products for multiple internal quality attributes (firmness, flavor, ripeness) and defects.

Fruit maturity measurement will be achieved through integration of NIR technology with the nondestructive firmness measurement method developed in our lab. Algorithms will be developed and integrated into the sensor for real-time measurement of fruit firmness, soluble solids content and other maturity parameters. Laboratory and field tests will be performed to assess the sensor's performance and portability. A commercially viable infield mobile sorting technology will be developed for sorting and grading harvested products into two or three quality grades (fresh market, processing, and cull).

REFERENCES

1. **Yousef Al Ohali.** Computer vision based fruit grading system: Design and implementation // Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences.- January, 2011. - Vol. 23, issue 1.- P. 29–36.
2. VIS/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple / **V. Andrew McGlone, Robert B. Jordan, Paul J. Martinsen** et al // June, 2002.- Vol. 25, issue 2.- P. 135–144.
3. <http://www.fruitprofits.com/ing/articulo.asp?reg=26>
4. **Yeatman, J.H., Norris, K.H.** Evaluating internal quality of apples with new automatic fruit sorter // Food Technol.- 2005. -19. - P. 423–425.

IRPhE, NAS. The material is received 07.02.2013.

**Ռ.Ա. ՄԻՍՈՆՅԱՆ , Դ.Գ. ԶԱՐԳԱՐՅԱՆ , Ա.Գ. ՂՈՒԼՅԱՆ, Հ. Ա. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ
ԳՅՈՒՂՄԹԵՐՔՆԵՐԻ ԴԱՄԱԿԱՐԳՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ՝ ԸՍՏ ՀԱՍՈՒՆԱՑՄԱՆ
ԱՍՏԻՃԱՆԻ**

Հետազոտված են ԻՎ դիապազոնի՝ հասարակական կյանքում, մասնավորապես՝ գյուղատնտեսության ոլորտում կիրառության հարցերը: Բերված են որոշ տվյալներ՝ կապված IRPhE-ի լաբորատորիայում կիրառական ռադիոֆիզիկայի խմբի կողմից ստեղծված նոր սարքավորման հետ: Աշխատանքի նպատակը NIR ալիքների հատկությունների միջոցով մրգերի և բանջարեղենի հասունության ու որակական հատկանիշների գնահատումն է՝ մինչև բերքահավաքը կամ դրանից հետո:

Առանցքային բառեր. ԻՎ, Բիո Լամբերտի օրենք, դյուրակիր, ծրագրավորվող, ԻՎ կլանում:

**Р.А. СИМОНЯН, Д.Г. ЗАРГАРЯН, А.Г. ГУЛЯН, Г.А. ПИРУМЯН
СИСТЕМА СОРТИРОВКИ АГРОПРОДУКТОВ ПО СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ**

Исследуются вопросы использования ИК-диапазона в социальной жизни, особенно в сельскохозяйственном машиностроении. Описываются некоторые вопросы, связанные с новым устройством, разработанным в лаборатории прикладной радиофизики IRPhE. Дается оценка зрелости и качества фруктов - овощей до или после сбора урожая с использованием свойств NIR волн.

Ключевые слова: инфракрасный, закон Бера Ламберта, мобильный, программируемый, ИК поглощение.

УДК 621.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ

А.А. ТЕРЗЯН, Г.С. СУКИАСЯН, А.Э. АКОПЯН, А.А. ГЕВОРГЯН

О СВОЙСТВАХ ДИВЕРГЕНЦИИ ВЕКТОРА МАГНИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА
ПРИ ТРЕХМЕРНОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
НЕЛИНЕЙНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Исследованы свойства дивергенции вектора магнитного потенциала электромагнитного поля. Доказано, что приравнивание нулю дивергенции потенциала приводит к независимым уравнениям относительно каждой составляющей. Показана возможность распараллеливания процесса решения полевых задач методом конечных элементов по трем составляющим векторного магнитного потенциала.

Ключевые слова: электромагнитное поле, дивергенция вектора магнитного потенциала, распараллеливание решения.

Трехмерное магнитное поле, созданное электрическим током, подчиняется классическому уравнению Максвелла:

$$\operatorname{rot} \frac{1}{\mu} \vec{B} = \delta.$$

Представим вектор индукции магнитного поля в виде вихря вектора магнитного потенциала:

$$\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}.$$

Тогда уравнение Максвелла приобретает вид

$$\operatorname{rot} \frac{1}{\mu} (\operatorname{rot} \vec{A}) = \delta$$

Применяя в декартовой системе координат (x, y, z) определение вихря, уравнение Максвелла преобразуется к следующему виду [1,2]

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

где $A = (A^x, A^y, A^z)$ - вектор магнитного потенциала; $\delta = (\delta^x, \delta^y, \delta^z)$ - вектор плотности тока; μ - величина магнитной проницаемости.

Согласно теореме о разложении Гельмгольца, если дивергенция и ротор поля определены в каждой точке области, то во всей области вектор поля можно представить в виде суммы безвихревого и соленоидального полей [2,3]. Тем самым вектор магнитного потенциала можно представить в виде $\vec{A}' = \vec{A} + \text{grad}\phi$, следовательно, для любой скалярной функции ϕ , $\vec{B}' = \vec{B}$, так как $\text{rot}(\text{grad}\phi) = 0$.

Таким образом, имеется множество решений уравнения Максвелла. При решении трехмерной задачи магнитостатики для того, чтобы уравнение Максвелла решалось однозначно, применяется кулоновская калибровка, которая требует принудительного выполнения условия [4-7]:

$$\text{div}\vec{A} = 0.$$

Исследуем, как отражается кулоновская калибровка на уравнении Максвелла в декартовой системе координат. Преобразуем уравнения (1):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial x} A^y - \frac{\partial}{\partial y} A^x \right) + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial x} A^z - \frac{\partial}{\partial z} A^x \right) = \\ & = \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^y - \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^x + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^z - \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^x. \end{aligned}$$

Из-за гладкости функции потенциала можно заменить порядок дифференцирования и получить

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial x} A^y - \frac{\partial}{\partial y} A^x \right) + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial x} A^z - \frac{\partial}{\partial z} A^x \right) = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial y} A^y + \frac{\partial}{\partial z} A^z \right) - \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^x - \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^x. \end{aligned} \quad (2)$$

Для дивергенции вектора магнитного потенциала имеем

$$\text{div} A = \frac{\partial A^x}{\partial x} + \frac{\partial A^y}{\partial y} + \frac{\partial A^z}{\partial z}.$$

Приравнивая нулю дивергенцию вектора магнитного потенциала и подставляя полученное выражение в (2), будем иметь

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial x} A^y - \frac{\partial}{\partial y} A^x \right) + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial}{\partial x} A^z - \frac{\partial}{\partial z} A^x \right) = \\ & = -\frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^x - \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^x - \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^x. \end{aligned}$$

Аналогично, преобразуя производные составляющих A^y, A^z , получаем, что приравнивание нулю дивергенции вектора магнитного потенциала приводит к независимым уравнениям относительно каждой составляющей, а именно:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^x + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^x + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^x = -\delta^x, \\ \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^y + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^y + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^y = -\delta^y, \\ \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^z + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^z + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^z = -\delta^z. \end{cases} \quad (3)$$

Заметим, что каждое из трех уравнений системы (1) явно зависит от всех трех составляющих A^x, A^y, A^z , в то время как три уравнения системы (3) связаны неявно посредством функции магнитной проницаемости. Это дает возможность распараллеливания процесса решения системы (3) по трем независимым уравнениям относительно составляющих вектора магнитного потенциала.

Прямое решение системы (3) затруднительно из-за нелинейности задачи: величина магнитной проницаемости зависит от потенциала и тоже является неизвестной. В методе конечных элементов задача нахождения решения системы (3) заменяется вариационной, т.е. рассматривается некий функционал, минимум которого достигается точным решением уравнений (3). Затем с помощью метода базисных функций можно получить расчетные уравнения для минимизации функционала.

Дискретизируем задачу, разбив рассматриваемую область Ω на тетраэдры (элементы) и приняв, что внутри элемента e магнитная проницаемость μ постоянна, а потенциалы являются линейной функцией вида

$$A^x = \sum_{t \in W_e} A_t^x b_t^e(x, y, z), \quad A^y = \sum_{t \in W_e} A_t^y b_t^e(x, y, z), \quad A^z = \sum_{t \in W_e} A_t^z b_t^e(x, y, z), \quad (4)$$

где $W_e = (i, j, k, m)$ - множество вершин элемента e ; A_t - значение потенциала A в узле t ; $b_t^e(x, y, z)$ - базисная линейная функция, равная единице в узле t и нулю в остальных трех вершинах тетраэдра e .

Базисные функции удобно записать в виде детерминанта

$$b_k^e(x, y, z) = \frac{1}{6V_e} \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_j & y_j & z_j & 1 \\ x_i & y_i & z_i & 1 \\ x_m & y_m & z_m & 1 \end{vmatrix},$$

где (x_t, y_t, z_t) - декартовы координаты вершин тетраэдра, $t = (i, j, k, m)$; V_e - объем тетраэдра e :

$$6V_c = \begin{vmatrix} x_i & y_i & z_i & 1 \\ x_j & y_j & z_j & 1 \\ x_k & y_k & z_k & 1 \\ x_m & y_m & z_m & 1 \end{vmatrix}.$$

Отметим важную особенность трехмерного метода конечных элементов: для всех трех составляющих вектора магнитного потенциала в (4) используются одни и те же базисные функции.

После построения тетраэдрической сетки [8] получающуюся систему линейных уравнений можно решать параллельно на трех процессорах относительно каждой составляющей. Так как магнитная проницаемость μ зависит от вектора индукции магнитного поля, а последний зависит от всех трех составляющих вектора магнитного потенциала, то при параллельном решении приходится обеспечивать межпроцессорный обмен значениями магнитной проницаемости μ .

В методе конечных элементов задача решения системы дифференциальных уравнений (3) сводится к решению системы линейных уравнений с матрицей ленточного типа. Оценим, как уменьшаются размеры соответствующих матриц и их лент ненулевых элементов при параллельном решении на трех процессорах.

Из-за независимости уравнений в системе (3) появляется возможность их параллельного решения на трех процессорах, что приводит к уменьшению втрое количества неизвестных в каждом процессоре.

Пусть исследуемая область представляет собой куб, имеющий по n узлов дискретизации в длину, ширину и глубину. Каждому узлу соответствуют три неизвестных значения составляющих вектора магнитного потенциала в данном узле. Таким образом, количество неизвестных (и количество уравнений) в системе линейных уравнений будет равно $3n^3$. Соответствующая матрица имеет размер $3n^3 \times 3n^3$, а ширина ее ленты равна $6n$. При параллельном решении на трех процессорах матрица системы линейных уравнений будет иметь размер $n^3 \times n^3$, а ширина ее ленты будет равна $2n$.

Уменьшение размеров матриц не только ускоряет время счета, но и существенно улучшает точность приближенного решения, что приводит к уменьшению числа необходимых итераций. Уменьшение размеров матриц также благотворно влияет на невязку, возникающую при пересчете значений магнитной проницаемости μ .

Заключение. Кулоновская калибровка, которая требует принудительного приравнивания нулю дивергенции вектора магнитного потенциала, приводит к независимым уравнениям относительно каждой составляющей. Это дает возможность распараллеливания процесса решения полевых задач методом конечных элементов по трем составляющим вектора магнитного потенциала при обеспечении межпроцессорного обмена значениями магнитной проницаемости μ .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новик Я.А.** Вариационная формулировка решения задачи расчета трехмерного стационарного магнитного поля с учетом нелинейных свойств среды // Изв. АН ЛатвССР. Сер. Физ. и техн. наук.- 1974. - № 4.- С.79-89.
2. **Арфкен Г.** Математические методы в физике. - М.: Атомиздат, 1970. - 712 с.
3. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров: -М.: Наука, 1973. - 831 с.
4. **Нейман Л.Р., Калантаров П.Л.** Теоретические основы электротехники. Т.3. - М.: Госэнергоиздат, 1959. - 231 с.
5. **Макаров А.М. Лунева Л.А.** Основы электромагнетизма. Т.3: Электронный учебник. - М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2002.
6. **Самарский А.А.** Теория разностных схем. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. - 616 с.
7. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э.** О свойствах векторных характеристик при конечно-элементном моделировании трехмерного магнитного поля // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2012.-Т. 65, № 4.- С. 406-414.
8. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э. Геворгян А.А.** К построению оптимальной расчетной сетки для решения полевых задач методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2010. - Т. 63, № 3.- С. 319-327.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.04.2013.

ՀԱ. ԹԵՐԶՅԱՆ, Հ.Ս. ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ, Ա.Է. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ա.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

**ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԵՌԱԶՍՓ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐՐԱՅԻՆ
ՍՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ ՎԵԿՏՈՐԻ
ԴԻՎԵՐԳԵՆՑԻԱՅԻ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ**

Հետազոտվել են եռաչափ էլեկտրամագնիսական դաշտի վեկտորական մագնիսական պոտենցիալի դիվերգենցիայի հատկությունները: Ապացուցված է, որ պոտենցիալի դիվերգենցիայի հավասարեցումը զրոյի հանգեցնում է անկախ հավասարումների՝ ըստ ամեն մի բաղադրիչի: Ցույց է տված վերջավոր տարրերի մեթոդով դաշտային խնդիրների լուծման ընթացքի զուգահեռացման հնարավորությունը ըստ վեկտորական մագնիսական պոտենցիալի երեք բաղադրիչների:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամագնիսական դաշտ, վեկտորական մագնիսական պոտենցիալի դիվերգենցիա, լուծման զուգահեռացում:

H.A. TERZIAN, H.S. SUKIASYAN, A.E. HAKOBYAN, A.A. GEVORGYAN

**ON PROPERTIES OF DIVERGENCE OF MAGNETIC POTENTIAL VECTOR
BY THREE DIMENSIONAL FINITE ELEMENTARY MODELING OF NON LINEAR
MAGNETIC FIELD**

The properties of divergence of vector magnetic potential of three dimensional magnetic fields are investigated. It is proved that the vanishing of potential divergence reduces to independent equations with respect to each component. The possibility of parallelization of the solution process for field problems by the finite element method by all components of vector magnetic potential is shown.

Keywords: electromagnetic field, divergence of vector magnetic potential, parallelization of solution.

Ս.Ա. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, Մ.Կ. ԴԱՐԱԽՉՅԱՆ

ԱԶԱՏ ԵԶՐԱՑԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԻ ԳՈՅՈՒԹՅԱՆ ԲԱՎԱՐԱՐ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԸ
ՎԱՐԻԱՑԻՈՆ ՀԱՇՎԻ ԽՆԴՐՈՒՄ

Վարիացիոն հաշվի խնդրի համար մշակված է ֆունկցիայի աջակողմյան ազատ եզրի գոյության բավարար պայմանների վերլուծության եղանակ:

Առանցքային բառեր. վարիացիոն հաշիվ, ազատ եզրեր, ֆունկցիոնալ, շարք, մասնակի ածանցյալներ, դիֆերենցիալ հավասարում, ինտեգրալ:

Օպտիմալ կառավարման միաշափ վարիացիոն հաշվի (ՎՀ) խնդիրներում ազատ եզրերի (ԱԵ) գոյության անհրաժեշտ պայմաններն ուսումնասիրված են [1-4] աշխատություններում: Այդ պայմանները նկարագրվում են Էյլեր-Պուասոնի հավասարումներով [4]: Սակայն ԱԵ գոյության բավարար պայմանների գնահատումը, նշված աշխատությունների շրջանակներում երկրորդ վարիացիայի նկարագրմամբ, գործնականում կապված է դժվարությունների հետ՝ անհայտ պարամետրերի առկայության պատճառով: Ուսումնասիրվում են թվային մեթոդներով լուծվող միաշափ ՎՀ ոչ ավտոնոմ խնդրում ֆունկցիայի աջակողմյան ԱԵ գոյության բավարար պայմանները:

Ունենք վարիացիոն հաշվի ոչ ավտոնոմ հետևյալ խնդիրը.

$$I = \int_{t_0}^t F(y(\tau), y'(\tau), \tau) d\tau \rightarrow \min(\max), \quad (1)$$

$$\begin{cases} \tau = t_0, & y = y_0, \\ \tau = t, & y = y_1, \end{cases} \quad (2)$$

որտեղ t_0, y_0, t եզրային պարամետրերի (ԵՊ) արժեքներն ամրագրված են:

Ենթադրվում է, որ (1) ֆունկցիոնալի ենթաինտեգրալային F ֆունկցիան ունի բարձր կարգի անընդհատ մասնակի ածանցյալներ, և (1), (2) առանց սահմանափակումների խնդիրն ունի լուծում, այսինքն՝ $y(\tau, y_1)$ ֆունկցիան բավարարում է Էյլերի հետևյալ հավասարմանը [1].

$$F_y - \frac{d}{d\tau} F_{y'} = 0: \quad (3)$$

Էյլերի (3) հավասարման լուծումը կունենա ինտեգրման երկու հաստատուններ, որոնք որոշվում են եզրային (2) պայմաններից: Քանի որ եզրային y_1 պարամետրը

ազատ է, ապա ինտեգրման հաստատունները կախված կլինեն y_1 պարամետրից, և արդյունքում y էքստրեմալը կարելի է դիտարկել որպես երկու պարամետրերի ֆունկցիա՝

$$y = y(\tau, y_1), \quad (4)$$

որը կբավարարի եզրային (2) պայմանները.

$$\begin{aligned} y(\tau, y_1)_{\tau=t_0} &= y_0, \\ y(\tau, y_1)_{\tau=t} &= y_1 : \end{aligned} \quad (5)$$

Ենթադրվում է, որ $y(\tau, y_1)$ ֆունկցիան ունի բարձր կարգի մասնակի ածանցյալներ: Ֆունկցիոնալի օպտիմալ արժեքը կլինի ֆունկցիա y_1 եզրային պարամետրից, և ԱԵ գոյության բավարար պայմանների խնդիրը կլինի համարժեք մաթեմատիկական ծրագրավորման հետևյալ խնդրին.

$$I = I(y_1) \rightarrow \min(\max), \quad (6)$$

որը կարելի է ուսումնասիրել դասական անալիզի մեթոդներով [5]: Ենթադրելով, որ y_1 -ի օպտիմալ արժեքը հայտնի է, ֆունկցիոնալի $\Delta I(y_1)$ փոփոխությունը՝ երկրորդ անդամի ճշտությամբ կախված y_1 -ի Δy_1 փոփոխությունից, կորոշվի հետևյալ արտահայտությամբ [5].

$$\Delta I(y_1) = I(y_1 + \Delta y_1) - I(y_1) = \frac{\partial I}{\partial y_1} \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 I}{\partial y_1^2} \cdot \Delta y_1^2 + \beta(\Delta y_1^2): \quad (7)$$

Ստացված (7) արտահայտությունից կհետևեն y_1 ԵՊ-ի գոյության հետևյալ բավարար պայմանները.

$$\begin{cases} \partial I / \partial y_1 = 0, \\ \partial^2 I / \partial y_1^2 > 0 \rightarrow \min, \\ \partial^2 I / \partial y_1^2 < 0 \rightarrow \max : \end{cases} \quad (8)$$

Այն դեպքում, երբ (1),(2) խնդիրն ունի անալիտիկ լուծում, y_1 -ի էքստրեմումի հարցը կլուծվի (8)-ից: Բացառապես թվային մեթոդներով լուծվող (1),(2) խնդիրների դեպքում (6) ֆունկցիան բացահայտ տեսքով հայտնի չէ, սակայն կարելի է որոշել (7) շարքի գործակիցները՝ վերաձելով Թեյլորի շարքի (1) ինտեգրալային արտահայտությունը՝ y_1 -ի Δy_1 փոփոխությունների դեպքում.

$$\begin{aligned} \Delta I(y_1) = I(y_1 + \Delta y_1) - I(y_1) &= \int_{t_0}^t F(y(\tau, y_1 + \Delta y_1), \dot{y}(\tau, y_1 + \Delta y_1), \tau) d\tau - \\ &- \int_{t_0}^t F(y(\tau, y_1), \dot{y}(\tau, y_1), \tau) d\tau : \end{aligned} \quad (9)$$

Ներկայացնենք Թեյլորի շարքով (9)-ի ենթահետևողական արտահայտությունը y_1 կետի շրջակայքում՝

$$\begin{aligned} F(y(\tau, y_1 + \Delta y_1), \dot{y}(\tau, y_1 + \Delta y_1), \tau) &= F(y(\tau, y_1), \dot{y}(\tau, y_1), \tau) + \\ &+ (F_y \frac{\partial y}{\partial y_1} + F_{\dot{y}} \frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1}) \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} (F_{yy} \cdot (\frac{\partial y}{\partial y_1})^2 + 2 \cdot F_{y\dot{y}} \frac{\partial y}{\partial y_1} \cdot \frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1} + \\ &+ F_{\dot{y}\dot{y}} (\frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1})^2 + F_y \frac{\partial^2 y}{\partial y_1^2} + F_{\dot{y}} \frac{\partial^2 \dot{y}}{\partial y_1^2}) \cdot \Delta y_1^2 + \beta_1 (\Delta y_1^2), \end{aligned} \quad (10)$$

որտեղ $\beta_1 (\Delta y_1^2)$ -ն շարքերի բարձր կարգի անդամների գումարն է:

Հաշվի առնենք (10)-ը (9)-ում և, կատարելով մասերով ինտեգրում (10) արտահայտության երկրորդ գումարելիի երկրորդ անդամով, երրորդ գումարելիի երկրորդ և հինգերորդ անդամներով պայմանավորված ինտեգրալներում, կունենանք՝

$$\int_{t_0}^t F_{\dot{y}} \cdot \frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1} d\tau = F_{\dot{y}} \cdot \frac{\partial y}{\partial y_1} \Big|_{t_0}^t - \int_{t_0}^t \frac{\partial y}{\partial y_1} \cdot \frac{dF_{\dot{y}}}{d\tau} d\tau, \quad (11)$$

$$\int_{t_0}^t 2 \cdot F_{y\dot{y}} \cdot \frac{\partial y}{\partial y_1} \cdot \frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1} d\tau = \int_{t_0}^t F_{y\dot{y}} \cdot d \left(\frac{\partial y}{\partial y_1} \right)^2 = F_{y\dot{y}} \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial y_1} \right)^2 \Big|_{t_0}^t - \int_{t_0}^t \left(\frac{\partial y}{\partial y_1} \right)^2 \cdot \frac{dF_{y\dot{y}}}{d\tau} d\tau, \quad (12)$$

$$\int_{t_0}^t F_y \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial y_1^2} d\tau = \int_{t_0}^t F_{\dot{y}} \cdot d \frac{\partial^2 y}{\partial y_1^2} = F_{\dot{y}} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial y_1^2} \Big|_{t_0}^t - \int_{t_0}^t \frac{\partial^2 y}{\partial y_1^2} \cdot \frac{dF_{\dot{y}}}{d\tau} d\tau: \quad (13)$$

Ստացված (11), (12) և (13) արտահայտությունները կարելի է պարզեցնել՝ օգտվելով $y(\tau, y_1)$ ֆունկցիայի՝ ըստ y_1 պարամետրի մասնակի ածանցյալների հատկություններից՝ արգումենտի $\tau = t$ և $\tau = t_0$ արժեքների դեպքում:

Ապացուցենք հետևյալ թեորեմները.

Թեորեմ 1. Եթե $y(\tau, y_1)$ ֆունկցիան (1), (2) խնդրի համար թույլատրելի ֆունկցիա է, այդ թվում՝ էքստրեմալ, ապա $\tau = t$ արժեքի դեպքում տեղի ունեն հետևյալ պայմանները.

$$(\partial y(\tau, y_1) / \partial y_1)_{\tau=t} = 1, \quad (\partial^k y(\tau, y_1) / \partial y_1^k)_{\tau=t} = 0 \quad k \geq 2: \quad (14)$$

Ապացույց: Եթե $y(\tau, y_1)$ -ը թույլատրելի ֆունկցիա է, ապա ԵՊ-ի $(y_1 + \Delta y_1)$ արժեքի դեպքում, որտեղ Δy_1 -ը կամայական փոքր փոփոխություն է, համաձայն (5)-ի՝ տեղի կունենա՝

$$y(\tau, y_1 + \Delta y_1)_{\tau=t} = y_1 + \Delta y_1: \quad (15)$$

Վերածենք շարքի (15) արտահայտության ձախ մասը՝ ըստ y_1 պարամետրի՝

$$y(\tau, y_1 + \Delta y_1)_{\tau=t} = (y(\tau, y_1) + \frac{\partial y(\tau, y_1)}{\partial y_1} \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 y(\tau, y_1)}{\partial y_1^2} \cdot \Delta y_1^2 + \dots \\ \dots + \frac{1}{k!} \cdot \frac{\partial^k y(\tau, y_1)}{\partial y_1^k} \cdot \Delta y_1^k + \dots)_{\tau=t} = y_1 + \Delta y_1 : \quad (16)$$

Հաշվի առնելով (5)-ի երկրորդ պայմանը՝ (16)-ից կունենանք՝

$$\left(\frac{\partial y(\tau, y_1)}{\partial y_1} \Big|_{\tau=t} - 1 \right) \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 y(\tau, y_1)}{\partial y_1^2} \Big|_{\tau=t} \cdot \Delta y_1^2 + \dots + \frac{1}{k!} \cdot \frac{\partial^k y(\tau, y_1)}{\partial y_1^k} \Big|_{\tau=t} \cdot \Delta y_1^k + \dots = 0 : \quad (17)$$

Քանի որ ստացված (17) հավասարումը տեղի ունի կամայական Δy_1 փոքր փոփոխությունների դեպքում, ապա տեղի կունենան հետևյալ պայմանները.

$$(\partial y(\tau, y_1) / \partial y_1)_{\tau=t} = 1, \quad (\partial^k y(\tau, y_1) / \partial y_1^k)_{\tau=t} = 0 \quad k \geq 2 :$$

Այսպիսով, (14) պայմանները տեղի ունեն:

Թեորեմ 2. Եթե $y(\tau, y_1)$ ֆունկցիան (1), (2) խնդրի համար թույլատրելի ֆունկցիա է, այդ թվում՝ էքստրեմալ, ապա $\tau = t_0$ արժեքի դեպքում տեղի ունեն հետևյալ պայմանները.

$$(\partial^k y(\tau, y_1) / \partial y_1^k)_{\tau=t_0} = 0 \quad k \geq 1 : \quad (18)$$

Ապացույց: Քանի, որ $y(\tau, y_1)$ ֆունկցիան թույլատրելի է, ապա ԵՊ-ի $(y_1 + \Delta y_1)$ արժեքի դեպքում, երբ Δy_1 -ը կամայական փոքր աճ է, համաձայն (5)-ի առաջին պայմանի՝ տեղի կունենա՝

$$y(\tau, y_1 + \Delta y_1)_{\tau=t_0} = y_0 : \quad (19)$$

Վերածենք շարքի (19) արտահայտության ձախ մասը՝ ըստ y_1 պարամետրի՝

$$y(\tau, y_1 + \Delta y_1)_{\tau=t_0} = (y(\tau, y_1) + \frac{\partial y(\tau, y_1)}{\partial y_1} \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 y(\tau, y_1)}{\partial y_1^2} \cdot \Delta y_1^2 + \dots \\ \dots + \frac{1}{k!} \cdot \frac{\partial^k y(\tau, y_1)}{\partial y_1^k} \cdot \Delta y_1^k + \dots)_{\tau=t_0} = y_0 : \quad (20)$$

Հաշվի առնելով (5)-ի առաջին պայմանը՝ (20)-ից կունենանք հետևյալ հավասարումը.

$$\frac{\partial y(\tau, y_1)}{\partial y_1} \Big|_{\tau=t_0} \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 y(\tau, y_1)}{\partial y_1^2} \Big|_{\tau=t_0} \cdot \Delta y_1^2 + \dots + \frac{1}{k!} \cdot \frac{\partial^k y(\tau, y_1)}{\partial y_1^k} \Big|_{\tau=t_0} \cdot \Delta y_1^k + \dots = 0 : \quad (21)$$

Քանի որ Δy_1 -ը կամայական փոքր փոփոխություն է, ապա (21)-ից կհետևեն հետևյալ պայմանները.

$$(\partial y(\tau, y_1)/\partial y_1)_{\tau=t_0} = 0, \quad (\partial^2 y(\tau, y_1)/\partial y_1^2)_{\tau=t_0} = 0, \quad (\partial^k y(\tau, y_1)/\partial y_1^k)_{\tau=t_0} = 0 \quad k \geq 1,$$

որը և (18)-ի հիմնավորումն է:

(14) և (18) պայմաններից օգտվելու դեպքում (11), (12) և (13) հավասարումները կընդունեն հետևյալ տեսքը.

$$\int_{t_0}^t F_{\dot{y}} \cdot \frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1} d\tau = F_{\dot{y}_{\tau=t}} - \int_{t_0}^t \frac{\partial y}{\partial y_1} \cdot \frac{dF_{\dot{y}}}{d\tau} d\tau, \quad (22)$$

$$\int_{t_0}^t 2 \cdot F_{y\ddot{y}} \cdot \frac{\partial y}{\partial y_1} \cdot \frac{\partial \ddot{y}}{\partial y_1} d\tau = F_{y\ddot{y}_{\tau=t}} - \int_{t_0}^t \left(\frac{\partial y}{\partial y_1} \right)^2 \cdot \frac{dF_{y\ddot{y}}}{d\tau} d\tau, \quad (23)$$

$$\int_{t_0}^t F_{\ddot{y}} \cdot \frac{\partial^2 \dot{y}}{\partial y_1^2} d\tau = - \int_{t_0}^t \frac{\partial^2 y}{\partial y_1^2} \cdot \frac{dF_{\ddot{y}}}{d\tau} d\tau: \quad (24)$$

Ստացված (22), (23) և (24) արտահայտությունների արդյունքում (9)-ը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$\begin{aligned} \Delta I(y_1) = & \left(\int_{t_0}^t (F_{\dot{y}} - \frac{d}{d\tau} F_{\dot{y}}) d\tau + F_{\dot{y}_{\tau=t}} \right) \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} \left(\int_{t_0}^t ((F_{y\ddot{y}} - \frac{d}{d\tau} F_{y\ddot{y}}) \cdot (\frac{\partial y}{\partial y_1})^2 + \right. \\ & \left. + F_{y\ddot{y}} (\frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1})^2 + (F_{\ddot{y}} - \frac{d}{d\tau} F_{\ddot{y}}) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial y_1^2} d\tau + F_{y\ddot{y}_{\tau=t}} \right) \cdot \Delta y_1^2 + \beta (\Delta y_1^2): \end{aligned} \quad (25)$$

Քանի որ ըստ ենթադրության՝ $y(\tau, y_1)$ -ը էքստրեմալ է, ապա տեղի կունենա (3) պայմանը: Այդ դեպքում (25)-ը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$\begin{aligned} \Delta I(y_1) = & F_{\dot{y}_{\tau=t}} \cdot \Delta y_1 + \frac{1}{2} (F_{y\ddot{y}_{\tau=t}} + \int_{t_0}^t ((F_{y\ddot{y}} - \frac{d}{d\tau} F_{y\ddot{y}}) \cdot (\frac{\partial y}{\partial y_1})^2 + F_{y\ddot{y}} (\frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1})^2) d\tau) \Delta y_1^2 + \\ & + \beta (\Delta y_1^2): \end{aligned} \quad (26)$$

Ստացված (26) հավասարումից (7)-ի $\partial I/\partial y_1$ և $\partial^2 I/\partial y_1^2$ գործակիցները կորոշվեն հետևյալ արտահայտություններով.

$$\frac{\partial I}{\partial y_1} = F_{\dot{y}_{\tau=t}}, \quad (27)$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial y_1^2} = F_{y\ddot{y}_{\tau=t}} + \int_{t_0}^t ((F_{y\ddot{y}} - \frac{d}{d\tau} F_{y\ddot{y}}) \cdot (\frac{\partial y}{\partial y_1})^2 + F_{y\ddot{y}} (\frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1})^2) d\tau: \quad (28)$$

Էքստրեմումի անհրաժեշտ պայմանը (8)-ի առաջին հավասարումն է: Այն (27)-ի հիման վրա կունենա հետևյալ տեսքը.

$$F_y(y(\tau, y_1), \dot{y}(\tau, y_1), \tau)_{\tau=t} = 0, \quad (29)$$

որը համընկնում է ՎՀ (1), (2) խնդրի ֆունկցիայի աջակողմյան ԱԵ գոյության՝ [1-4] աշխատանքներում ներկայացված և այլ դատողություններով ստացված անհրաժեշտ պայմանին:

Ինչպես երևում է (28)-ից, (7) արտահայտության երկրորդ անդամի որոշման համար անհրաժեշտ է ունենալ ոչ միայն $y(\tau, y_1)$, $\dot{y}(\tau, y_1)$ ֆունկցիաները, այլև ըստ y_1 պարամետրի նրանց մասնակի ածանցյալները: Այդ մասնակի ածանցյալ ֆունկցիաները կարելի է որոշել վարիացիայի առաջին աստիճանի հետևյալ հավասարումից՝ ըստ y_1 պարամետրի [6].

$$\left(F_{yy} - \frac{d}{d\tau} F_{y\dot{y}}\right) \cdot \frac{\partial y}{\partial y_1} - \left(\frac{d}{d\tau} F_{y\dot{y}}\right) \cdot \frac{\partial \dot{y}}{\partial y_1} - F_{y\ddot{y}} \cdot \frac{\partial \ddot{y}}{\partial y_1} = 0, \quad (30)$$

(14) և (18) –ից հետևող եզրային հետևյալ պայմանների դեպքում.

$$\begin{aligned} \tau = t_0, \quad \partial y(\tau, y_1) / \partial y_1 &= 0, \\ \tau = t, \quad \partial y(\tau, y_1) / \partial y_1 &= 1: \end{aligned} \quad (31)$$

Այսպիսով, թվային մեթոդով (1), (2) խնդրի լուծումը և ԱԵ y_1 պարամետրի օպտիմալության բավարար (8) պայմանի ստուգումը կարելի է կատարել հետևյալ հաջորդականությամբ.

ա) թվային (մասնավորապես կրակոցների) մեթոդով [2] անհրաժեշտ է լուծել (2) և (29) եզրային պարամետրերով Էյլերի (3) հավասարումը, որի արդյունքում կորոշվի ինչպես y_1 պարամետրը, այնպես էլ $\dot{y}_{\tau=t_0}$ սկզբնական պայմանը: Արդյունքում՝ Էյլերի (3) հավասարման համար կունենանք սկզբնական հետևյալ պայմանները.

$$\tau = t_0, \quad y = y_0, \quad \dot{y} = \dot{y}_0, \quad (32)$$

բ) թվային մեթոդով անհրաժեշտ է համատեղ լուծել (32) սկզբնական պայմաններով Էյլերի (3) հավասարումը և եզրային (31) պայմաններով (30) դիֆերենցիալ հավասարումը: Արդյունքում՝ կունենանք (30) դիֆերենցիալ հավասարման սկզբնական հետևյալ պայմանները.

$$\tau = t_0, \quad \partial y / \partial y_1 = 0, \quad \partial \dot{y} / \partial y_1 = \partial \dot{y}_0, \quad (33)$$

գ) լուծվում են (32), (33) սկզբնական պայմաններով (3) և (30) դիֆերենցիալ հավասարումները՝ համատեղ հաշվելով (28) արտահայտության ինտեգրալի արժեքը: Այնուհետև, հաշվելով (7) արտահայտության երկրորդ անդամի գործակցի արժեքը՝

(28)-ի հիման վրա, (8) պայմաններից որոշվում է y_1 արժեքի էքստրեմումի կետ լինելու հարցը:

Գործնականում y_1 արժեքի էքստրեմումի կետ լինելու հարցը կարելի է պարզել ֆունկցիայի եզրային $(y_1 \pm \Delta y_1)$ արժեքների դեպքում (1),(2) խնդրի լուծման և ֆունկցիոնալի $I(y_1)$, $I(y_1 + \Delta y_1)$, $I(y_1 - \Delta y_1)$ արժեքների համեմատման միջոցով: Սակայն այս եղանակը աշխատատար է: Հոդվածում մշակված եղանակը նախընտրելի է ոչ միայն աշխատատարության տեսանկյունից, այլև հնարավորություն է տալիս (7)-ի հիման վրա գնահատել օպտիմումի զգայնությունը եզրային y_1 պարամետրի նկատմամբ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление.- М.: Наука, 1965. – 425 с.
2. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами.- М.: Радио и связь, 1982.-392 с.
3. Зеликин М.И. Оптимальное управление и вариационное исчисление.- М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 160 с.
4. Петров Ю.П. Вариационные методы теории оптимального управления.- 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1977.- 220 с.
5. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование.- М.: Мир, 1975. – 534 с.
6. Մանակյան Ս.Ա., Դարահյան Մ.Կ. Օպտիմալ ֆունկցիայի ըստ եզրային պարամետրերի մասնակի ածանցյալների որոշումը կառավարման վարիացիոն խնդիրներում // Լրաբեր-76 ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). - 2009.- Հատոր 1, N1. -էջ 514-517:

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.04.2013:

С.А. СААКЯН, М.К. ДАРАХЧЯН

ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ СВОБОДНОГО ГРАНИЧНОГО ПАРАМЕТРА В ЗАДАЧЕ ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

Разработан способ анализа достаточных условий существования свободной границы функции для задачи вариационного исчисления.

Ключевые слова: вариационное исчисление, свободные границы, функционал, ряд, частные производные, дифференциальное уравнение, интеграл.

S.A. SAHAKYAN, M.K. DARAKHCHYAN

SUFFICIENT CONDITIONS FOR THE EXISTENCE OF A FREE BOUNDARY PARAMETER IN THE PROBLEM OF VARIATION CALCULUS

A method for analyzing sufficient conditions for the existence of a free boundary of a function in the variation calculus is developed.

Keywords: variation calculus, free boundaries, functional, series, partial derivatives, differential equation, integral.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍՏԱԿՑԱՆ Մ.Գ., ՄԻՍԹԱՆԻ Շ.Զ., ԹՈՐՈՍՅԱՆ Մ.Ս.

ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԵՐԿԱՐԱԿԵՅՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ
ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ 95

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ Ա.ՅՈՒ., ՍԱՍՈՒՆՅԱՆ Մ.Է.,

ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ Ա.Ս.

ԱԶՈՏԱՅՎԱԾ ՖԵՐՈՔՐՈՍԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ
ՔՐՈՄԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԱՅԻՆ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ
ԵՂԱՆԱԿՈՎ 103

ՄԽԹԱՐՅԱՆ Մ.Ռ.

ԿՈՇԻԿԻ ՄԻԿՐՈԿԼԻՄԱՅԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԱՍՏԱՏՈՒՄԸ ԱՊՐԻՈՐԻ
ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ 113

ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ՌԱՖՅԱՆ Ռ.Ա.

ԲՆԱԿԼԻՄԱՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐԵՎԱՆԻ ԶԷԿ-Ի
ՀԱՄԱԿՅՎԱԾ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՎՐԱ 120

ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Ա.Ս.

ՏԱՐԲԵՐ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐՈՎ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿՆԵՐԻ ՄԻՋԵՎ
ՆԵՐԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՔԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԲԱՇԽՄԱՆ
ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 127

ԷԼԲԱԿՅԱՆ Ս.Հ.

ՕԴԻ ԱՎԵԼՅՈՒԿԻ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՆՎԱԶԵՅՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ԶԷԿ-ԵՐԻ ԳԱԶԱՅԻՆ
ԱՐՏԱՆԵՏՈՒՄՆԵՐԻ ՎՏԱՆԳԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ
ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 133

ՍԱՖԱՐՅԱՆ Լ.Վ.

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ 139

ԲԱՂԴԱՍՄԱՐՅԱՆ Մ.Ք., ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ Ս.Ս.

ԱՂԱՅ-ՇԱՐԺԻՉ ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ
ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼ 148

ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Է.Ն., ՇԱՐԱՔՉՅԱՆ Ա.Հ., ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Ա.Ս., ՄԵԼԻՔՅԱՆ Ա.Ա.

ԹԱՐԳՄԱՆՉԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԿՈՆՏԵՔՍՏ-ԿԱԽԱԼ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ
ԻՐԱԿԱՆԱՅՆՈՂ ՄԵՏԱԼԵԶՎԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 156

ԽԶԱՐԶՅԱՆ Ա.Ա.

«ՍԹԱՐ» ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՅ-
ՄԱՆ ԵՎ ՍՏՈՒԳՄԱՆ ՄՈՏԵՅՈՒՄ 163

ՄԻՄՈՆՅԱՆ Ռ.Ա., ԶԱՐԳԱՐՅԱՆ Դ.Գ., ՂՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ., ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ Հ.Ա.

ԳՅՈՒՂՄԹԵՐՔՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ՝ ԸՍՏ ՀԱՍՈՒՆԱՅՄԱՆ
ԱՍՏԻՃԱՆԻ 171

ԹԵՐԶՅԱՆ Հ.Ա., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս., ՀԱԿՈՔՅԱՆ Ա.Է., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Ա.Ա.

ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԵՌԱՉԱՓ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐՐԱՅԻՆ
ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ ՎԵԿՏՈՐԻ
ԴԻՎԵՐԳԵՆՑԻԱՅԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ 177

ՄԱՀԱԿՅԱՆ Ս.Ա., ԴԱՐԱԽՉՅԱՆ Մ.Կ.

ԱԶԱՏ ԵԶՐԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԻ ԳՈՅՈՒԹՅԱՆ ԲԱՎԱՐԱՐ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԸ
ՎԱՐԻԱՅԻՈՆ ՀԱՇՎԻ ԽՆԴՐՈՒՄ 182

СОДЕРЖАНИЕ

СТАКЯН М.Г., СИСТАНИ Ш.ДЖ., ТОРОСЯН М.С. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ.....	95
МАРТИРОСЯН В.А., ШМАВОНЯН А.Ю., САСУНЦЯН М.Э., НИКОГОСЯН А.С. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АЗОТИРОВАННОГО ФЕРРОХРОМА ПУТЕМ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ АРМЕНИИ.....	103
МХИТАРЯН М.Р. УСТАНОВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ОБУВИ МЕТОДОМ АПРИОРНОГО РАНЖИРОВАНИЯ	113
МАРУХЯН В.З., РАФЯН Р.А. ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАБОТУ КОМБИНИРОВАННОГО ЭНЕРГЕБЛОКА ЕРЕВАНСКОЙ ТЭЦ	120
АРАКЕЛЯН А.С. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРИСТАНЦИОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ЭНЕРГЕБЛОКАМИ С РАЗНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	127
ЭЛБАКЯН С.Г. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ВРЕДНОСТИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТЭС ПРИ СНИЖЕНИИ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА	133
САФАРЯН Л.В. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	139
БАГДАСАРЯН М.К., АЛАВЕРДЯН С.С. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕЛЬНИЦА-ДВИГАТЕЛЬ	148
МАНУКЯН Э.Н., ШАРАБЧЯН А.А., МАНУКЯН А.С., МЕЛИКЯН А.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЯЗЫКА В БАЗАХ ЗНАНИЙ СИСТЕМ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА	156
ХЗАРДЖЯН А.А. ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРОВЕРКЕ ПРОЦЕССА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАР - СИСТЕМЫ ПАМЯТИ	163
СИМОНЯН Р.А., ЗАРГАРЯН Д.Г., ГУЛЯН А.Г., ПИРУМЯН Г.А. СИСТЕМА СОРТИРОВКИ АГРОПРОДУКТОВ ПО СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ	171
ТЕРЗЯН А.А., СУКИАСЯН Г.С., АКОПЯН А.Э., ГЕВОРГЯН А.А. О СВОЙСТВАХ ДИВЕРГЕНЦИИ ВЕКТОРА МАГНИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ТРЕХМЕРНОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕЛИНЕЙНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	177
СААКЯН С.А., ДАРАХЧЯН М.К. ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ СВОБОДНОГО ГРАНИЧНОГО ПАРАМЕТРА В ЗАДАЧЕ ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ	182

CONTENTS

STAKYAN M.G., SISTANI SH.J., TOROSYAN M.S. MACHINE ELEMENTS STRENGTH AND LONGEVITY ASSESSMENT IN CASE OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION	95
MARTIROSYAN V.H., SHMAVONYAN A.YU., SASUNTSYAN M.E., NIKOGHOSYAN A.S. DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR OBTAINING NITRIDED FERROCHROMIUM BY ALUMINOTHERMAL REDUCTION OF CHROMITE CONCENTRATES OF ARMENIA.....	103
MKHITARYAN M.R. SETTING THE BASIC PARAMETERS OF THE SHOES MICROCLIMATE BY THE METHOD OF PRIORITY RANKING	113
MARUKHYAN V.Z., RAFYAN R.A. THE INFLUENCE OF NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS ON THE OPERATION OF COMBINED POWER UNIT OF YTPP.....	120
ARAKELYAN A.S. DEVELOPING A CALCULATING ALGORITHM FOR AN OPTIMAL DISTRIBUTION OF THE INPLANT POWER LOAD AMONG THE POWER UNITS WITH DIFFERENT POWER CHARACTERISTICS.....	127
ELBAKYAN S.H. DEVELOPING AN ALGORITHM FOR EVALUATING THE HAZARD INDICATOR OF THE TPP COMBUSTION PRODUCTS AT DECREASING THE VALUE OF AIR RATIO EXCESS	133
SAFARYAN L.V. PECULIARITIES OF STRUCTURAL ANALYSIS OF THE ESTABLISHED REGIMES OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM.....	139
BAGHDASARYAN M.K., ALAVERDYAN S.S. A MATHEMATICAL MODEL FOR INVESTIGATING THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM MILL-MOTOR.....	148
MANUKYAN E.N. , SHARABCHIAN A.H., MANUKYAN A.S., MELIKYAN A.A. APPLYING A METALANGUAGE IN THE KNOWLEDGE BASES OF THE MACHINE TRANSLATION SYSTEMS	156
KHZARJYAN A.A. AN APPROACH OF STAR MEMORY SYSTEM USE FLOW AUTOMATION AND ITS VERIFICATION.....	163
SIMONYAN R.A., ZARGARYAN D.G., GHULYAN A.G., PIRUMYAN H.A. THE AGRO PRODUCT SORTING SYSTEM BASED ON THE DEGREE OF MATURITY	171
TERZKYAN H.A., SUKIASYAN H.S., HAKOBYAN A.E., GEVORGYAN A.A. ON PROPERTIES OF DIVERGENCE OF MAGNETIC POTENTIAL VECTOR BY THREE DIMENSIONAL FINITE ELEMENTARY MODELING OF NON LINEAR MAGNETIC FIELD.....	177
SAHAKYAN S.A., DARAKHCHYAN M.K. SUFFICIENT CONDITIONS FOR THE EXISTENCE OF A FREE BOUNDARY PARAMETER IN THE PROBLEM OF VARIATION CALCULUS.....	182