

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար),
Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Լ. ԱՐԵՇՅԱՆ, Ռ.Վ. ԱՌՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ,
Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ,
ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ,
Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора), З.К.
СТЕПАНИЯН (ответ. секретарь),
С.Г. АГБАЛЯН, Г.Л. АРЕШЯН, Р.В. АТОЯН, В.В. БУНИАТЯН,
С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН, В.З. МАРУХЯН, Ю.Л. САРКИСЯН,
В.С. САРКИСЯН, С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН, В.С. ХАЧАТРЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editorial-in-Chief), **H.A. TERZYAN** (Vice-Editor-in-Chief),
Z.K. STEPANYAN (Secretary - in - Chief), **S.G. AGHBALYAN,**
G.L., ARESHYAN, R.V. ATOYAN, V.V. BUNIATYAN, S.P. DAVTYAN, S.M.
GHAZARYAN, V.Z. MAROUKHYAN, YU.L. SARGSYAN,
V.S. SARKISSYAN, S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN,
V.S. KHACHATRYAN

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային Շարվածքը

էւ ձեւավորումը՝ ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Н.Е. САРКИСЯН, Н.Н. САРКИСЯН

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ
НА ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Исследовано влияние направления линии действия силы на концентрацию напряжений в условиях кратковременного статического растяжения стеклопластиков при центральном круговом отверстии. Показано, что экспериментальные значения эффективного коэффициента концентрации напряжений существенно отличаются от теоретических значений, рассчитанных для анизотропных однородных сред.

Ключевые слова: концентратор напряжений, прочность, стеклотекстолит, статическое растяжение.

Влияние концентратора напряжений на изменение прочности композитных материалов, в частности стеклопластиков, изучено еще в недостаточной степени, в том числе в экспериментальном аспекте [1,2 и др.].

Как известно [3, 4], распределение нормальных напряжений в анизотропной тонкой пластинке вблизи концентратора напряжений определяется в виде

$$\begin{aligned} a_{22} \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} - 2a_{26} \frac{\partial^4 F}{\partial x^3 \partial y} + (2a_{12} + a_{66}) \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} - \\ - 2a_{16} \frac{\partial^4 F}{\partial x \partial y^3} + a_{11} \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где F - функция напряжений; a_{ii} - константы, определяющие упругие свойства материала.

Армированные во взаимно перпендикулярных направлениях стеклопластики, равно как и испытанные в данной работе стекловолокнистые композиты [5], принято считать материалами, обладающими свойствами анизотропных ортотропных тел. Следовательно, для них упругие постоянные $a_{16}=a_{26}=0$.

Учитывая указанное выше условие, характеристическое уравнение (1) приводят к уравнению вида

$$\lambda^4 + \left(\frac{E_1}{G_{12}} - 2\nu_{12} \right) \lambda^2 + \frac{E_1}{E_2} = 0, \quad (2)$$

где E_1 , E_2 и ν_{12} соответственно являются экспериментальными значениями модуля упругости и коэффициента поперечной деформации по направлениям упругих осей материала анизотропной пластинки.

Как известно, корни уравнения (2) являются мнимыми либо комплексными.

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \beta_1 i, & \lambda_3 &= -\beta_1 i, \\ \lambda_2 &= \beta_2 i, & \lambda_4 &= -\beta_2 i.\end{aligned}\quad (3)$$

Распределение напряжений в зоне концентратора в основном определяется значениями β_1 и β_2 , а также граничными условиями.

Для главного направления оси упругой симметрии (в нашем случае, например, ось x) для концентратора напряжений, имеющего вид центрального эллипсоидального отверстия, распределение напряжений в случае растянутой, достаточно широкой пластинки (рабочий участок образца) можно определить из выражения

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma + \frac{\sigma b}{\beta_1 - \beta_2} \times \\ &\times \left\{ \frac{\beta_1^2}{a - \beta_1 b} \left[1 - \frac{\beta_1 y}{\sqrt{a^2 + \beta_1^2 (y^2 - b^2)}} \right] - \frac{\beta_2^2}{a - \beta_2 b} \left[1 - \frac{\beta_2 y}{\sqrt{a^2 + \beta_2^2 (y^2 - b^2)}} \right] \right\},\end{aligned}\quad (4)$$

где a и b - полуоси эллипса; σ - номинальное значение напряжений.

Подставляя в (4) значение $a=b$, получим расчетное выражение напряжений в зоне центрального кругового отверстия:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma + \frac{\sigma}{\beta_1 - \beta_2} \times \\ &\times \left\{ \frac{\beta_1^2}{1 - \beta_1} \left[1 - \frac{\beta_1 y}{\sqrt{a^2 + \beta_1^2 (y^2 - a^2)}} \right] - \frac{\beta_2^2}{1 - \beta_2} \left[1 - \frac{\beta_2 y}{\sqrt{a^2 + \beta_2^2 (y^2 - a^2)}} \right] \right\}.\end{aligned}\quad (5)$$

Анализ уравнения (5) показывает, что для исследованных в данной работе стеклопластиков марок СТ и ТСУ-8/3 при установленных значениях коэффициентов, определяющих анизотропию свойств (см. табл.), концентрация напряжений выражена более ярко, чем в случае изотропных материалов.

Развитие разрушения армированных анизотропных материалов у нагруженных композитов приводит к тому, что эффективный коэффициент концентрации напряжений получается значительно более меньшим, чем его теоретическое значение:

$$K_\sigma = \sigma_{в, гл} / \sigma_{в, кн} . \quad (6)$$

В формуле (6), как известно, значения $\sigma_{в, гл}$ и $\sigma_{в, кн}$ представляют собой временное сопротивление материала (в данном случае, предел прочности) при одинаковых условиях нагружения, соответственно, для гладкого образца (без концентратора напряжений) и образца, имеющего концентратор напряжений.

Эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ для стеклопластиков составляет обычно 1,3...1,4 (например, [2]). В данной работе для K_σ получены почти такого же порядка значения в случаях, если нагружение

(растяжение) образцов проводилось по направлению основы армирующей ткани (1,35 и 1,45 соответственно для материалов СТ и ТСУ-8/3), а по направлению утка значения K_σ значительно более высокие - 1,65 и 1,80. Отметим, что приведенные нами значения эффективного коэффициента концентрации напряжений соответствуют концентратору напряжений в виде круглого отверстия радиусом $R=2$ мм.

Как следует из (5), для рассмотренного выше вида концентратора напряжений теоретические значения K_σ , независимо от радиуса концентратора, составляют

$$K_{\sigma, \text{теор}} = 1 + \beta_1 + \beta_2. \quad (7)$$

Значения комплексных параметров упругих свойств композитного материала β_1 и β_2 определяются из уравнений

$$\beta_1 \beta_2 = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}, \quad (8)$$

$$\beta_1^2 + \beta_2^2 = \frac{E_1}{G_{12}} - 2\nu_{21},$$

где E_1 и E_2 - значения модуля упругости (Юнга) в направлениях осей x и y , но не для направлений основы и утка стеклоткани; G_{12} и ν_{12} - соответственно модуль сдвига и коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации).

Экспериментальные и рассчитанные по формулам (6)-(8) теоретические значения (см. табл.) отражают влияние концентратора напряжений в виде центрального кругового отверстия диаметром 4 мм на изменение предела прочности материалов.

Приведенные значения свидетельствуют о большой разнице между теоретически рассчитанными и полученными экспериментальным путем значениями прочности анизотропного материала, которые относятся к эффективному коэффициенту концентрации напряжений K .

Таблица

Направ- ление растяже- ния	Прочность, <i>МПа</i>		E_x , <i>МПа</i>	ν_{xy}	G_{xy} , <i>МПа</i>	α_1	α_2	Коэф- фициент К	
	$\sigma_{\partial, \text{пл}}$	$\sigma_{\partial, \text{кн}}$						Теор.	Эксп.
Стеклотекстолит СТ									
по основе	292	238	21200	0,17	2900	0,39	2,55	3,94	1,50
по утку	221	127	20000	0,08	2600	0,36	2,78	3,14	1,42
Стеклотекстолит ТСУ-8/3									
по основе	533	369	29000	0,14	5300	0,52	2,20	3,82	1,40
по утку	372	205	22000	0,04	3800	0,37	2,80	3,17	1,35

При этом разница между ними существенно зависит от направления линии действия нагрузки. Как видно из таблицы, экспериментальные и теоретические значения коэффициента K отличаются друг от друга по направлению основы ткани примерно в 2,5 раза, а по утку - в 1,75 раз. Интересно отметить, что на

количественную сторону указанного выше явления не влияет изменение марки стеклотекстолита, т.е. характеристик прочности и деформативности композита, в то время как сами эти характеристики друг от друга отличаются примерно в 1,3 и 1,7 раза, соответственно, для **E** и **σ_d** .

Представляет определенный интерес исследование изменения градиента поля напряжений, что также является мерой, характеризующей концентрацию напряжений.

В работе рассчитаны значения напряжений в точках контура отверстия и боковой поверхности рабочего участка образца, лежащих в направлении, перпендикулярном продольной оси образца, т.е. $y=2$ и $y=7,5$ мм. Расчеты, проведенные по формуле (5), показывают, что для рассмотренных в данной работе двух типов стеклотекстолита в точках на боковой поверхности растягиваемого образца имеет место существенное ослабление напряженного состояния. Степень недогруженности, т.е. градиент поля напряжения образца, составляет 10...55 МПа/мм. При этом большие значения приведенного интервала соответствуют высокопрочному стеклопластику. Что касается степени недогруженности, то в точке боковой поверхности образца (по оси y) она составляет 15...20% по сравнению с номинальным значением напряжения для образца, имеющего концентратор напряжений. Следует отметить, что эффект недогруженности материала в точках боковой поверхности образца при его продольном растяжении (без концентрации напряжения) имеет также свое экспериментальное подтверждение [6], в том числе для случаев растяжения образца в направлениях, отличных от направления основы армирующей ткани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А.** Сопротивление полимерных и композитных материалов. - Рига: Зинатне. 3-е изд., перераб. и допол., 1980. -572 с.
2. **Серенсен С.В., Стреляев В.С.** Статическая конструкционная прочность стеклопластиков // Вестник машиностроения.- 1962. -№3.- С.3-9.
3. **Амбарцумян С.А.** Разномодульная теория упругости. - М.: Наука, 1982. - 318 с.
4. **Савин Г.Н.** Концентрация напряжений около отверстий. -Киев: Наукова думка, 1968. - 486с.
5. **Саркисян Н.Н., Саркисян Н.Е.** Характер повреждения композитных материалов и оценка снижения их прочности при циклическом деформировании // Изв. НАН РА, Механика. – 2000. - Т.53. - С.78-82.
6. **Гольдман А.Я., Савельева Н.Ф.** О напряженном состоянии и некоторых особенностях разрушения образцов стеклопластиков при растяжении под углом к направлению армирования // Механика полимеров. –1967. - №6. -С.1030-1034.

ГУАСА.

Материал поступил в редакцию 10.05.2002.

Ն.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ն.Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

**ԼԱՐՄԱՆ ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՏՈՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
ԿՈՄՊՈԶԻՏԱՑԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ԱՍՐՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ**

Հետազոտված է ապակեպլաստների կարճատև ստատիկ ձգման դեպքում ուժի ազդման ուղղության (ըստ հենքի և թեզանի) ազդեցությունը լարումների խտացման վրա կլոր կենտրոնական անցքի դեպքում: Սահմանված է, որ լարումների խտացման արդյունավետության գործակցի փոքրձևական արժեքները էապես տարբերվում են անիզոտրոպ համասեռ միջավայրի համար տեսականորեն հաշվարկված արդյունքներից:

N.E. SARGSYAN, N.N. SARGSYAN

**STRAIN CONCENTRATOR IMPACT FEATURES ON COMPOSITE MATERIAL
STRENGTH**

Line direction impact of force action on strain concentration under short-term conditions of static glass plastic tension with a central circular hole is viewed. It is shown that experimental data of effective strain concentration factor are essentially different from theoretical ones meant for anisotropic homogeneous media.

М.Г. СТАКЯН, А.О. ОГАНЕСЯН, А.Р. ДЕМИРХАНЫ

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОГА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПО ДОЛГОВЕЧНОСТЯМ

Сообщение 2. Определение априорных характеристик вариационных рядов долговечностей по уровням перенапряжений

Получены корреляционные связи между основными статистиками, в частности, порогом чувствительности генерированных условных выборок долговечностей и объемами этих выборок на разных уровнях перенапряжений. Для обобщения результатов статистического исследования получена система линейных уравнений относительных коэффициентов указанных статистик и составлена номограмма для определения этих коэффициентов от объема испытаний и заданного уровня вероятности неразрушения.

Ключевые слова: испытания на усталость, порог чувствительности, корреляционная связь, номограмма.

Использование данных массовых испытаний на усталость ($n = 600$, рис. 1 [1]), генерация отдельных выборок циклических долговечностей в реальном интервале изменения их объемов ($n_v = 20 \dots 100$) и большая частота повторений случайной выборки при фиксированном объеме n_v ($u = 100$) обеспечили сходимость основных статистик вариационных рядов долговечностей, что свидетельствует о достоверности полученных в результате статистического (виртуального) эксперимента расчетных величин.

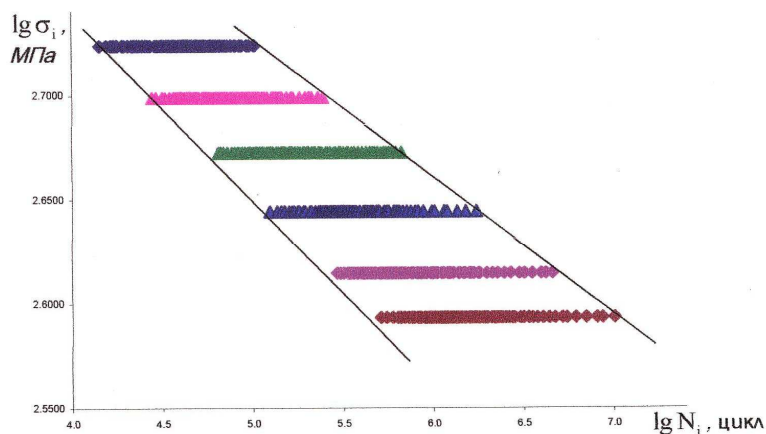


Рис. 1

Это позволяет считать, что виртуальный эксперимент, моделирующий режим

работы парка машин усталостной лаборатории, максимально приближен к реальным условиям эксплуатации передаточных механизмов. Поэтому осредненные результаты этого эксперимента можно считать априорными и распространить их на валы, изготавливаемые из широко применяющихся среднеуглеродистых и низколегированных сталей [1], а показатели рассеяния использовать для определения доверительных интервалов основных статистик вариационных рядов, описываемых нормальным законом распределения [2].

На основе результатов комплексной проверки нормальности распределения, а также вероятностных значений указанных статистик без учета и с учетом порога чувствительности, соответственно, для общей совокупности (Π_0) и отдельной выборки (Π_v) можно представить в виде эмпирических линий функции нормального распределения:

$$\begin{aligned}\hat{U}_{\Pi_0} &= \bar{U}_{io} + z_p s_{Uio}, v_{Uio} = s_{Uio} / \bar{U}_{io}, \\ \hat{U}'_{\Pi_0} &= \bar{U}'_{io} + z_p s'_{Uio}, v'_{Uio} = s'_{Uio} / \bar{U}'_{io}, \\ \hat{U}_{\Pi_{iv}} &= \bar{U}_{iv} + z_p s_{Uiv}, v_{Uiv} = s_{Uiv} / \bar{U}_{iv}, \\ \hat{U}'_{\Pi_{iv}} &= \bar{U}'_{iv} + z_p s'_{Uiv}, v'_{Uiv} = s'_{Uiv} / \bar{U}'_{iv}.\end{aligned}\tag{1}$$

где $\bar{U}_{io} = \bar{x}_{io}, s_{io}, v_{io}, \lg \sum N_{io}; \bar{U}'_{io} = \bar{x}'_{io}, s'_{io}, v'_{io}, \bar{x}_{oio};$
 $\bar{U}_{iv} = \bar{x}_{iv}, s_{iv}, v_{iv}, \lg \sum N_{iv}; \bar{U}'_{iv} = \bar{x}'_{iv}, s'_{iv}, v'_{iv}, \bar{x}_{oiv};$
 $s_{Uio} = s_{xio}, s_{s_{io}^2}, s_{vio}, s_{\lg \sum N_{io}}; s'_{Uio} = s'_{xio}, s'_{s_{io}^2}, s'_{vio}, s'_{xoio};$
 $s_{Uiv} = s_{xiv}, s_{s_{iv}^2}, s_{viv}, s_{\lg \sum N_{iv}}; s'_{Uiv} = s'_{xiv}, s'_{s_{iv}^2}, s'_{viv}, s'_{xoiv}.$

Первоначально группируют данные и составляют таблицу значений $\hat{U}_{\Pi_0}$, $\hat{U}'_{\Pi_0}$ и $\hat{U}_{\Pi_{iv}}$, $\hat{U}'_{\Pi_{iv}}$ для вероятностей $P = 0,5, 0,9, 0,95, 0,99$ и $0,999$ ($z_p = 0, -1,28, -1,64, -2,32, -3,09$, см. табл.):

$$\begin{aligned}\hat{U}_{\Pi_0} &= \hat{\bar{x}}_{io}, \hat{s}_{io}, \hat{v}_{io}, \lg \sum \hat{N}_{io}; \quad \hat{U}_{\Pi_{iv}} = \hat{\bar{x}}_{iv}, \hat{s}_{iv}, \hat{v}_{iv}, \lg \sum \hat{N}_{iv}; \\ \hat{U}'_{\Pi_0} &= \hat{\bar{x}}'_{io}, \hat{s}'_{io}, \hat{v}'_{io}, \hat{\bar{x}}_{oio}; \quad \hat{U}'_{\Pi_{iv}} = \hat{\bar{x}}'_{iv}, \hat{s}'_{iv}, \hat{v}'_{iv}, \hat{\bar{x}}_{oiv}.\end{aligned}$$

Как отмечено в [3, 4], малоизученной является связь между основными статистиками рядов и объемом испытаний, которая фактически регламентирует два противоположных критерия эффективности механических испытаний: достоверность полученных результатов и экономический аспект, связанный с объемом и продолжительностью испытаний. С целью выявления корреляционных связей между указанными статистиками и объемом испытаний используют метод преобразования [2] и отыскания оптимальной формы связи $U_{\Pi_{iv}}, U'_{\Pi_{iv}} = f_{1,2}(n_v)$, $s_{Uiv}, s'_{Uiv} = f_{3,4}(n_v)$, $v_{Uiv}, v'_{Uiv} = f_{5,6}(n_v)$ для вероятностных значений, приведенных в таблице. Полученные связи могут быть использованы в различных

расчетных схемах и при графическом представлении результатов.

Таблица

n_v	$\bar{U}_{iv},$ $\bar{U}'_{iv}$	$S_{Uiv},$ S'_{Uiv}	$v_{Uiv},$ v'_{Uiv}	Значения $\hat{U}_{Piv}$ и $\hat{U}'_{Piv}$ при $P =$				
				0,5	0,9	0,95	0,99	0,999
n_0	$\bar{U}_{io},$ $\bar{U}'_{io}$	$S_{Uio},$ S'_{Uio}	$v_{Uio},$ v'_{Uio}	$\hat{U}_{0,5io},$ $\hat{U}'_{0,5io}$	$\hat{U}_{0,9io},$ $\hat{U}'_{0,9io}$	$\hat{U}_{0,95io},$ $\hat{U}'_{0,95io}$	$\hat{U}_{0,99io},$ $\hat{U}'_{0,99io}$	$\hat{U}_{0,999io},$ $\hat{U}'_{0,999io}$
n_1	$\bar{U}_{i1},$ $\bar{U}'_{i1}$	$S_{Ui1},$ S'_{Ui1}	$v_{Ui1},$ v'_{Ui1}	$\hat{U}_{0,5i1},$ $\hat{U}'_{0,5i1}$	$\hat{U}_{0,9i1},$ $\hat{U}'_{0,9i1}$	$\hat{U}_{0,95i1},$ $\hat{U}'_{0,95i1}$	$\hat{U}_{0,99i1},$ $\hat{U}'_{0,99i1}$	$\hat{U}_{0,999i1},$ $\hat{U}'_{0,999i1}$
n_2	$\bar{U}_{i2},$ $\bar{U}'_{i2}$	$S_{Ui2},$ S'_{Ui2}	$v_{Ui2},$ v'_{Ui2}	$\hat{U}_{0,5i2},$ $\hat{U}'_{0,5i2}$	$\hat{U}_{0,9i2},$ $\hat{U}'_{0,9i2}$	$\hat{U}_{0,95i2},$ $\hat{U}'_{0,95i2}$	$\hat{U}_{0,99i2},$ $\hat{U}'_{0,99i2}$	$\hat{U}_{0,999i2},$ $\hat{U}'_{0,999i2}$
n_3	$\bar{U}_{i3},$ $\bar{U}'_{i3}$	$S_{Ui3},$ S'_{Ui3}	$v_{Ui3},$ v'_{Ui3}	$\hat{U}_{0,5i3},$ $\hat{U}'_{0,5i3}$	$\hat{U}_{0,9i3},$ $\hat{U}'_{0,9i3}$	$\hat{U}_{0,95i3},$ $\hat{U}'_{0,95i3}$	$\hat{U}_{0,99i3},$ $\hat{U}'_{0,99i3}$	$\hat{U}_{0,999i3},$ $\hat{U}'_{0,999i3}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n_v	$\bar{U}_{iv},$ $\bar{U}'_{iv}$	$S_{Uiv},$ S'_{Uiv}	$v_{Uiv},$ v'_{Uiv}	$\hat{U}_{0,5iv},$ $\hat{U}'_{0,5iv}$	$\hat{U}_{0,9iv},$ $\hat{U}'_{0,9iv}$	$\hat{U}_{0,95iv},$ $\hat{U}'_{0,95iv}$	$\hat{U}_{0,99iv},$ $\hat{U}'_{0,99iv}$	$\hat{U}_{0,999iv},$ $\hat{U}'_{0,999iv}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n_1	$\bar{U}_{il},$ $\bar{U}'_{il}$	$S_{Uil},$ S'_{Uil}	$v_{Uil},$ v'_{Uil}	$\hat{U}_{0,5il},$ $\hat{U}'_{0,5il}$	$\hat{U}_{0,9il},$ $\hat{U}'_{0,9il}$	$\hat{U}_{0,95il},$ $\hat{U}'_{0,95il}$	$\hat{U}_{0,99il},$ $\hat{U}'_{0,99il}$	$\hat{U}_{0,999il},$ $\hat{U}'_{0,999il}$

Для универсализации результатов статистического исследования и их распространения на валы, изготовленные из указанного класса конструкционных сталей, целесообразно ввести относительные коэффициенты типа

$$\hat{\delta}_{Piv} = \hat{U}_{Pio} / \hat{U}_{Piv}, \quad \hat{\delta}'_{Piv} = \hat{U}'_{Pio} / \hat{U}'_{Piv}, \quad (2)$$

где $\hat{\delta}_{Piv} = \hat{\delta}_{xiv}, \hat{\delta}_{siv}, \hat{\delta}_{viv}, \hat{\delta}_{lg \sum N_{io}}; \hat{\delta}'_{Piv} = \hat{\delta}'_{xiv}, \hat{\delta}'_{siv}, \hat{\delta}'_{viv}, \delta_{xoiiv},$

$$\hat{\delta}_{xiv} = \hat{x}_{io} / \hat{x}_{iv}, \quad \hat{\delta}_{siv} = \hat{s}_{io} / \hat{s}_{iv}, \quad \hat{\delta}_{viv} = \hat{v}_{io} / \hat{v}_{iv}, \quad \hat{\delta}_{lg \sum N_{io}} = \lg \sum \hat{N}_{io} / \lg \sum \hat{N}_{iv},$$

$$\hat{\delta}'_{xiv} = \hat{x}'_{io} / \hat{x}'_{iv}, \quad \hat{\delta}'_{siv} = \hat{s}'_{io} / \hat{s}'_{iv}, \quad \hat{\delta}'_{viv} = \hat{v}'_{io} / \hat{v}'_{iv}, \quad \hat{\delta}_{xoiiv} = \bar{x}_{io} / \bar{x}_{oiiv}.$$

Аналогично определяют оптимальную форму связи $\hat{\delta}_{Piv},$

$\hat{\delta}'_{piV} = \varphi_{1,2}(n_v)$ для всех значений $\hat{\delta}_{piV}$, $\hat{\delta}'_{piV} y_v = a + b(x_v - \bar{x})$, где $y_v = \hat{\delta}_{x'iv}, \hat{\delta}_{s'iv}, \hat{\delta}_{v'iv}, \hat{\delta}_{lg \Sigma N_{io}}$ и $\hat{\delta}'_{x'iv}, \hat{\delta}'_{s'iv}, \hat{\delta}'_{v'iv}, \delta_{x'ioV}$, $x_v = n_v$ или $lg n_v$.

Обобщая результаты статистического эксперимента, получают системы линейных корреляционных уравнений без учета и с учетом порога чувствительности, в которых в качестве параметра принят квантиль нормального распределения Z_p :

$$\begin{cases} \hat{\delta}_{x'iv} = a_1 + b_1(n - \bar{n}), \\ \hat{\delta}_{s'iv} = a_2 + b_2(n - \bar{n}), \\ \hat{\delta}_{v'iv} = a_3 + b_3(n - \bar{n}), \\ \hat{\delta}_{lg \Sigma N_{io}} = a_4 + b_4(n - \bar{n}), \end{cases} \quad \begin{cases} \hat{\delta}'_{x'iv} = a'_1 + b'_1(n - \bar{n}), \\ \hat{\delta}'_{s'iv} = a'_2 + b'_2(n - \bar{n}), \\ \hat{\delta}'_{v'iv} = a'_3 + b'_3(n - \bar{n}), \\ \hat{\delta}'_{x'ioV} = a'_4 + b'_4(n - \bar{n}). \end{cases} \quad (3)$$

В ряде случаев для быстрой или экспертной оценки предпочтение дается графическим методам определения искомых статистических показателей. Для этой цели удобно использовать метод номографии и составить номограмму, которая позволяет несложным графическим построением определить один или несколько интересующих статистик, а также решить ряд обратных задач с разными предварительными условиями (рис. 2).

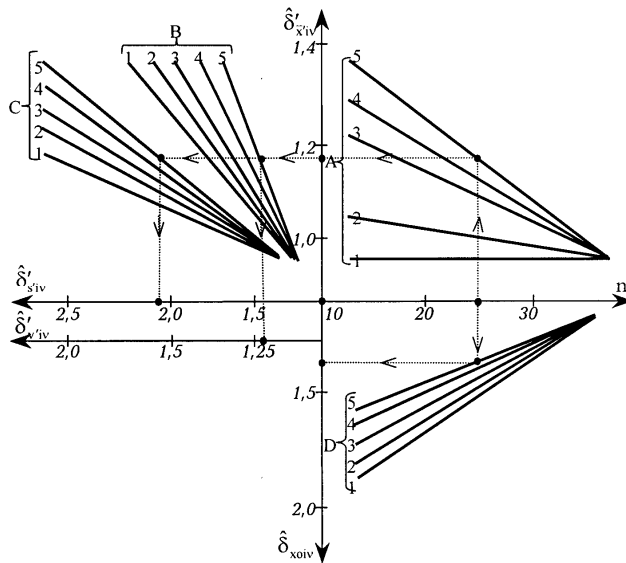


Рис. 2. Номограмма

$$F(\hat{\delta}'_{x'iv}, \hat{\delta}'_{s'iv}, \hat{\delta}'_{v'iv}, \hat{\delta}'_{x'ioV}, n, Z_p) = 0.$$

Зависимости:

$$A - \hat{\delta}'_{x'iv} = \varphi_1(n),$$

$$B - \hat{\delta}_{x'iv} = \psi_1(\delta_{v'iv}),$$

$$C - \hat{\delta}_{x'iv} = \psi_2(\delta_{s'iv}),$$

$$D - \hat{\delta}_{x'ioV} = \varphi_2(n).$$

Линии 1...5 соответствуют

$$P(N) = 0,5, 0,9, 0,95, 0,99$$

по 0,999

Несколько видоизменяя систему (3), представим ее в удобной для номограммы форме:

$$\begin{cases}
\hat{\delta}_{\bar{x}iv} = a_1 + b_1(n - \bar{n}), & A_1 = (a_1 b_2 - a_2 b_1)/b_2, \\
\hat{\delta}_{\bar{x}iv} = A_1 + B_1 \hat{\delta}_{siv}, & A_2 = (a_1 b_3 - a_3 b_1)/b_3, \\
\hat{\delta}_{\bar{x}iv} = A_2 + B_2 \hat{\delta}_{viv}, & B_1 = b_1/b_2, \\
\hat{\delta}_{lg \Sigma N_{io}} = a_4 + b_4(n - \bar{n}), & B_2 = b_1/b_3,
\end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases}
\hat{\delta}'_{\bar{x}iv} = a'_1 + b'_1(n - \bar{n}), & A'_1 = (a'_1 b'_2 - a'_2 b'_1)/b'_2, \\
\hat{\delta}'_{\bar{x}iv} = A'_1 + B'_1 \hat{\delta}'_{siv}, & A'_2 = (a'_1 b'_3 - a'_3 b'_1)/b'_3, \\
\hat{\delta}'_{\bar{x}iv} = A'_2 + B'_2 \hat{\delta}'_{viv}, & B'_1 = b'_1/b'_2, \\
\hat{\delta}'_{xoiv} = a'_4 + b'_4(n - \bar{n}), & B'_2 = b'_1/b'_3.
\end{cases}$$

В итоге для каждого уровня перенапряжений σ_i можно получить по две номограммы – без учета и с учетом порога чувствительности N_{oi} .

Для данного статистического исследования наибольший интерес представляет второй случай. На рис. 2, используя данные [1], для $\sigma_i = 540, 510, 480, 450, 420$ и 400 МПа дана эта номограмма и ход графических процедур для объема испытаний $n_v = 25$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бастенер Ф., Бастьен М., Поме Ж.** Статистический анализ результатов новых усталостных испытаний // Усталость и выносливость металлов: Сб. ст. – М.: ИЛ, 1963. – С. 390-406.
2. **Стакян М. Г., Оганесян А. О., Демирханян А. Р.** Статистическое исследование порога чувствительности по долговечностям. Сообщение 1. Проверка нормальности распределения статистик вариационных рядов долговечностей // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2003. – Т. 56, No 2. – С. 206-215.
3. **Степнов М.Н.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справ. – М.: Машиностр., 1985. – 232 с.
4. **Стакян М.Г., Джрбашян Т.Э.** Влияние характера распределения образцов по уровням напряжений на результаты усталостных испытаний // Изв. вузов. Машиностр. – 1994. – No10-12. – С. 42-46.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.01.2002.

**Մ. Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա. Հ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ա. Ռ. ԴԵՄԻՐԽԱՆՅԱՆ
ԸՍՏ ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ՝ ԶԳԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ՇԵՄԻ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

**Հաղորդում 2. Երկարակեցությունների փոփոխականի շարքերի
նախափորձական վիճակագրերի որոշումն ըստ գերլարումների մակարդակների**

Ստացված են հարաբերակցական կապեր երկարակեցությունների գենե-
րացված պայմանական ընտրանքների հիմնական վիճակագրերի, մասնա-
վորապես՝ “զգայնության շեմի” և այդ ընտրանքների ծավալների միջև՝ գերլա-
րումների տարբեր մակարդակներով: Վիճակագրական հետազոտության
արդյունքներն ընդհանրացնելու նպատակով ստացված է նշված վիճակագրերի
հարաբերական գործակիցների գծային հավասարումների համակարգ, կազմված
է այդ գործակիցների որոշման նոմոգրամ՝ կախված փորձարկումների ծավալից և
չքայքայման հավանականության տրված մակարդակից:

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

**STATISTICAL INVESTIGATION OF THE THRESHOLD OF SENSITIVENESS
DUE TO DURABILITY**

**Information 2. The determination of the pre-experimental description of
variational series of durability due to the levels of overstresses.**

Correlational connections between basic descriptions of generated conven-
tional selections of durability, particularly the “threshold of sensitiveness”, and the
amount of these selections on different levels of overstresses are obtained. In
order to generalize the results of statistical investigation, there exists a system of
linear equation of relative coefficients of the given statistics; and a nomogram has
been built in order to determine those coefficients depending on the scope of
experiments and given non-destruction of probability level.

С.А. ГАСПАРЯН

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВАЛОВ-ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматриваются вопросы распределения усталостной долговечности валов-шпоночных соединений с учетом влияния длины концентратора напряжений при переменном изгибе и наложения статического кручения. Исследование осуществлено предложенным методом испытаний с сокращенной продолжительностью, основанным на статистической модели "слабейшего звена" и изложенным для двух видов исходного закона распределения вероятности. Приведен анализ кривых распределения долговечности валов.

Ключевые слова: долговечность, вероятность, шпоночная канавка, концентрация напряжений.

Возникновение и рост усталостной трещины в основном обуславливаются градиентом напряжений. Поэтому его влияние на усталостную долговечность валов-шпоночных соединений существенно изучать на основе распределения напряжений в зоне их концентраций [1,2]. С этой целью проведены усталостные испытания образцов со шпоночной канавкой с острым фрезерованным концевым участком, более широко применяемым вследствие компактности соединения и фиксированного положения шпонки. Концентрацию напряжений таких шпоночных канавок можно считать результатом совместного действия двух концентраторов напряжений - полукруга концевого участка и галтели на дне канавки. Ввиду использования определенного стандартного соотношения радиуса скругления галтели к диаметру вала изменение характера распределения напряжений обуславливается отношением размера полукруга к длине канавки и влиянием вида нагружения. Таким образом, контур шпоночной канавки может быть представлен как гладкая замкнутая кривая, составленная из двух равных полукругов диаметром d , имеющих, соответственно, две равнозначные зоны концентрации напряжений, соединенные прямолинейными отрезками размера $l=kd$ (рис. 1).

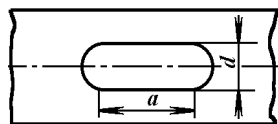


Рис. 1

Испытания осуществлены на специальной усталостной машине, разрушающей образцы циклическим изгибом и статическим кручением совместно или врозь. Испытанию подверглись 4 серии по 5 однотипных в каждой из них образцов, различающихся по соотношению k и виду нагружения. Эксперимент по оценке усталостной долговечности проведен методом испытаний с сокращенной продолжительностью [3], основанным на статистической

модели "слабейшего звена", с учетом того, что образец со шпоночной канавкой считается элементом, содержащим два идентичных звена (две зоны концентрации напряжений). Поэтому образцы с $a = 0$ были изготовлены с двумя отверстиями.

Метод испытаний с сокращенной продолжительностью предполагает одновременное испытание группы k идентичных объектов - звеньев, составляющих единый элемент, и прекращение его с разрушением слабейшего из них. В предположении независимости случайных величин - ресурсов X звеньев, распределенных по определенному исходному закону $F(X)$, ресурс элемента (образца) определяется законом распределения наименьшей порядковой статистики выборки объемом k - $F_k(X)$:

$$F_k(X) = 1 - [1 - F(X)]^k, \quad (1)$$

$$f_k(X) = k[1 - F(X)]^{k-1} f(X), \quad (2)$$

где $f(X)$ и $f_k(X)$ - соответствующие плотности распределений.

В качестве исходных законов распределений усталостной долговечности принимаются асимптотическое распределение наименьших значений типа III - распределение Вейбулла-Гнеденко, и логарифмически нормальное распределение, построенные на правдоподобных физико-статистических моделях разрушения "слабейшего звена" и пропорционального эффекта соответственно.

При испытании элементов-образцов оценка параметров выбранной исходной функции распределения долговечности исследуемого звена производится на основе выборочного распределения $F_k(X)$ при условии, что число звеньев элемента k достаточно мало.

Если исходным для усталостной долговечности звена элемента принимается закон распределения Вейбулла-Гнеденко

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{(x - \gamma)}{\eta} \right)^\beta \right], \quad (3)$$

то с учетом свойства самовоспроизведения функции получим

$$F_k(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{(x - \gamma)}{\eta_k} \right)^\beta \right], \quad (4)$$

где

$$\eta_k = \eta k^{-1/\beta}, \quad (5)$$

т.е. распределение наименьшей порядковой статистики имеет ту же форму с единственным отличием - масштабным множителем $1/k^{1/\beta}$. Оценив известными методами параметры η_k , γ , β выборочного распределения $F(x)$, из (5) определяем изменяющийся параметр исходного распределения.

Если в качестве исходного для усталостной долговечности X принят логарифмически-нормальный закон распределения случайной величины $Y = \lg X$:

$$F(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y \exp \left[- \frac{(y - a_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] dy, \quad (6)$$

$$F(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp[-(y - a_y)^2 / 2\sigma_y^2], \quad (7)$$

где a_y - математическое ожидание случайной величины Y ; σ_y^2 - дисперсия с. в. Y , то посредством нормирования распределения (6) величиной $Z = [(y - a_y) / 2\sigma_y]$ определяем математическое ожидание и дисперсию приведенных наименьших значений $M(Z_k)$ и $D(Z_k)$. Численные значения этих величин для $2 \leq k \leq 10$ приведены в табл. 1.

Оценки параметров a_y , σ_y^2 исходного распределения определяются по

$$\bar{\sigma}_y^2 = \bar{s}^2 / D(z_k), \quad (8)$$

$$\bar{a}_y = \bar{y} - M(z) \sqrt{s^2 / D(z_k)}, \quad (9)$$

где $M(Z_k)$, $D(Z_k)$ берутся из табл. 1 по k , выборочное среднее $\bar{y}$ и дисперсия s^2 вычисляются по

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n, \quad (10)$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1); \quad (11)$$

y_i - логарифмы долговечностей испытанных образцов-элементов; n - их число.

Если $\hat{F}_k(X)$ является эмпирической оценкой функции $F_k(X)$, то, согласно (1),

$$\hat{F}(X) = 1 - [1 - F_k(X)]^{1/k} \quad (12)$$

Таблица 1

k	$M(Z)_k$	$D(Z)_k$
1	0	1
2	-0,564	0,682
3	-0,846	0,559
4	-1,029	0,492
5	-1,163	0,448
6	-1,267	0,416
7	-1,352	0,392
8	-1,424	0,373
9	-1,485	0,357
10	-1,539	0,344
11	-1,586	0,333
12	-1,629	0,324

представляет эмпирическую оценку функции $F(X)$, что допускает использование соответственно построенной вероятностной бумаги для графического представления результатов испытаний с ординатами выборочных точек, преобразованных по (12).

Построение графиков функции распределения случайной величины X осуществляется на вероятностной бумаге, название которой связано с методом масштабирования оси y . Закон распределения $F(X)$, определяющий тип вероятностной бумаги, изображается прямой линией, зави-

сящей от параметров положения и масштаба данного распределения, что позволяет провести проверку соответствия гипотезе, упрощает предсказание долговечности без необходимости предварительных оценок параметров распределения и упростить сопоставление функций распределения характеристик с.в. в связи с вариациями разных факторов (технологических, эксплуатационных и т.д.), а также

четко указывает на различие между двумя законами распределений, почти идентичными при построении их в обычном линейном масштабе [4].

При нанесении позиций выборочных точек на вероятностной бумаге следует выбрать накопленную частоту $W(x)$ или эмпирическую оценку $\hat{F}(x)$ для $F(x)$ в предложенном [5] виде, имеющем минимальную среднеквадратическую ошибку и смещение

$$W = (i - \alpha_i) / (n - \alpha_i - \beta_i + 1)$$

и правомерном при оптимальном значении $\alpha_i = \beta_i = 3/8$ для выбранных исходных законов распределений. Здесь i - порядковый номер образца в вариационном ряду; n - объем выборки.

При построении вероятностной сетки для логарифмически-нормального распределения вдоль оси абсцисс наносится логарифмическая шкала случайной величины X , а по оси ординат - шкала функции нормального распределения, определяемая по формуле (5). Параллельно со шкалой F строится шкала значений нормированной случайной величины.

При построении вероятностной сетки для распределения Вейбулла-Гнеденко вдоль оси абсцисс также наносится логарифмическая шкала случайной величины, а вдоль оси ординат - шкала значений функции распределения F , связанной с величиной y в равномерном масштабе формулой $y = \lg[-\ln(1 - F)]$. График функции распределения изображается прямой с угловым коэффициентом b , проходящей через точку с координатами $x = c$ и $y = 0$ (т.е. $1 - 1/e = 0,632$), $\lg[-\ln(1 - F)] = \beta [\lg(x) - \lg c]$ и полученной двойным логарифмированием уравнения (3). Угловой коэффициент $b = 1/\beta$.

Результаты эксперимента приведены в виде эмпирических кривых распределения усталостной долговечности образцов всех серий с использованием вероятностной бумаги, построенной на основе вышеизложенного, предварительно приняв в качестве исходного логарифмически-нормальный закон распределения. Оценки параметров усталостной долговечности для всех серий опытов приведены в табл. 2 с учетом выбранных из табл. 1 значений и при $k = 2$.

Эмпирические функции распределения усталостной долговечности образцов для различных длин шпоночной канавки и видов нагружения приведены на рис. 2.

Таблица 2

№	Тип		Параметры распределения	
	образцов (по длине канавки)	нагрузки	$\lg \bar{N}$	$S_{\lg N}$
1	с отверстием	изгиб	4,304	0,601
2	со средней канавкой	изгиб	4,431	0,167
3	с длинной " "	изгиб	3,957	0,301
4	с длинной " "	изгиб с кручен.	4,284	0,238

Сравнение относительных позиций кривых распределения усталостной долговечности подтверждает закономерность результатов теоретических исследований [1,2], т.е. влияние градиента напряжений на усталостную долговечность, обусловленное значением относительной длины шпоночной канавки, а также приложенным статическим моментом кручения.

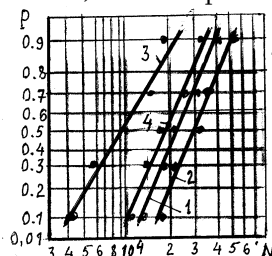


Рис. 2

- 1- с длинной канавкой ($a = 4d$ – циклический изгиб)
 2- со средней " " ($a = 2.5d$ – циклический изгиб)
 3- с отверстием ($a = 0$ – циклический изгиб)
 4- с длинной " " (циклический изгиб и статическое кручение)

При этом следует указать на существенное практическое значение использования метода проведения испытаний на долговечность на основе статистической модели “слабейшего звена”, обеспечивающего значительную экономию материала и сокращающего общую длительность эксперимента при учете наименьших значений порядковых статистик испытаний на долговечность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гаспарян С. А., Шемян Л. А.** Оценка усталостной долговечности валов шпоночных соединений: Тез. докл. Межд. конф. “Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций”. - Киев, 2000. - С. 315.
2. **Гаспарян С. А., Слукни Г. Л.** Исследование распределения напряжений шпоночных соединений поляризационно – оптическим методом // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. - Т. 54, №2. - С. 173 - 178.
3. **Захарян А. Х., Гаспарян С. А.** Испытание на усталость с сокращенной продолжительностью // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1988. - №1. - С. 23 - 28.
4. **Гумбель Э.** Статистика экстремальных значений. - М.: Мир, 1965. - 450с.
5. **Дж. Као.** Модели долговечности и их использование: Справочник по надежности. - М.: Мир, 1977. - Т. 1. - С. 51-76.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 04.07.2002.

Ս.Հ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ
ԵՐԻԹԱՅԻՆ ՄԻԱՑՈՒԹՅԱՄԲ ԼԻՍԵՆՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ
ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Դիտարկվում է լիսենների հոգնածային երկարակեցության բաշխումը լարումների կուտակիչի՝ երիթային ակոսի երկարության հաշվառմամբ, փոփոխական ծոման ու վրադրված ստատիկ ոլորման դեպքում: Հետազոտությունն իրականացվել է կրճատված տևականությամբ փորձարկումների առաջարկված մեթոդով (հիմնված ամենաթույլ օղակի վիճակագրական մոդելի վրա), որը շարադրված է ելակետային հավանականության բաշխման երկու օրենքների համար: Բերված է լիսենների երկարակեցության բաշխման կորերի վերլուծություն:

S. H. GASPARYAN
PROBABILISTIC EVALUATION OF KEYED-JOINT SHAFT'S DURABILITY

Distribution of fatigue durability of keyed-joint shafts has been considered subject to the influence of stress riser's size at variable bending and imposed static torque. Investigation has been realized by the proposed method of reduced duration testing based on the statistical model of the weakest link and given for two kinds of initial distribution law of probability. The analysis of shaft durability distribution curves is given.

М.А. ГРИГОРЯН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Установлены преимущества АРМ, обеспечивающего уменьшение удельного расхода ролика и энергоемкость процесса. Колебание АР обеспечивает уменьшение износа ролика и силовых характеристик процесса. Моделированием ударных систем алмазное зерно - абразивное зерно выведены теоретические выражения для определения силы правки.

Ключевые слова: алмазный ролик, температура, расход, производительность, ударная сила.

Повышение производительности процесса правки шлифовальных кругов (ШК) является первостепенной задачей эффективного его осуществления. С этой точки зрения большой интерес представляет применение правящих инструментов со специальной конструкцией и специальными способами правки.

Алмазные правящие ролики с мелкими отверстиями (АРМ). Процесс правки ШК алмазными роликами (АР) сопровождается высокой температурой, которая вызывает на алмазных зернах тепловые явления и вследствие этого износ самих зерен и АР. Основным источником температур правки являются зона непосредственного резания алмазным зерном и зона трения между АР и ШК. Следовательно, для эффективного использования алмазных зерен ролика и повышения производительности процесса правки необходимо снижение температуры в зоне правки, что, в свою очередь, приводит к созданию благоприятных условий работы ролика и повышению режимов резания. При правке АР каждое его зерно в зоне контакта нагревается и при выходе из него под влиянием смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ) и окружающей среды сильно охлаждается, т.е. подвергается тепловому удару, создавая условия для появления и развития в них микротрещин. Такой режим работы алмазного зерна приводит к преждевременному его разрушению и, следовательно, к увеличению удельного расхода АР.

С целью повышения износостойкости предложен АР с мелкими отверстиями диаметром $\sim 1,5$ мм, выходящими непосредственно в его рабочую поверхность. Площадь этих отверстий составляет 10...15% общей рабочей площади ролика. Такие ролики можно получить как гальваническим методом, так и методом порошковой металлургии - прессованием и спеканием при высоких температурах. Корпус ролика изготавливается цельным или сборным, в зависимости от его

конструкции. На рабочей поверхности корпуса до нанесения алмазоносного слоя обрабатывают (сверлением) отверстия. На рис. 1 показана одна из конструкций ролика углового профиля, предназначенная для профилирования червячных зубошлифовальных кругов. Ролик состоит из металлического корпуса 1, на котором с помощью винтов прикреплена крышка 2, через которую во внутреннюю полость ролика подается СОЖ. При вращении ролика СОЖ с большой скоростью выбрасывается через отверстие 3 непосредственно в зону правки, заполняя межзеренное пространство ролика. На рис.2 показана схема устройства для подачи СОЖ через отверстия ролика в зону резания. От гидронасоса через полую оправку 1 и радиальные отверстия оправки жидкость попадает во внутреннюю полость 2 ролика, из которой под действием центробежных сил проходит через мелкие радиальные отверстия на периферию ролика. Корпус ролика после износа алмазоносного слоя можно использовать многократно. Для этого его рабочая поверхность подвергается анодному травлению с целью удаления остатков связующего материала и алмаза, а профиль контролируется и в случае необходимости корректируется.

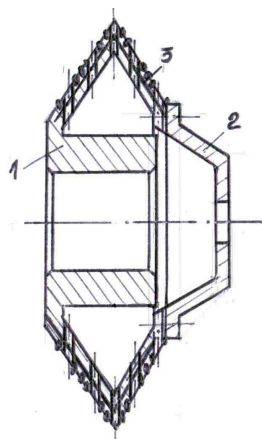


Рис. 1. Алмазный угловой ролик с отверстиями для подвода СОЖ:
1- корпус, 2 – крышка, 3 - отверстие

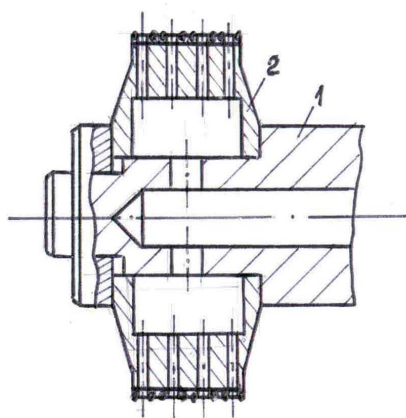


Рис. 2. Схема устройства для подачи СОЖ через отверстия ролика в зону резания: 1 – оправка, 2 – ролик алмазный

С целью выявления преимуществ АРМ исследован процесс правки червячных зубошлифовальных кругов 24А СМ2 7 К5 и ЛО 12 СМ2 К5. При этом использованы АРМ из алмазов марки АС15 зернистостью 250/200 на металлической связке М2-02. Исследования показали, что мощность, расходуемая на правку, снижается по сравнению с мощностью правки обычным роликом (рис.3). Это объясняется тем, что подача СОЖ под высокой скоростью на поверхность ролика и наличие ее непосредственно в зоне резания создает такие условия, при которых соприкосновение ШК и отходов правки с металлической связкой ролика отсутствует, что уменьшает трение между ними, т.е облегчает процесс проведения правки.

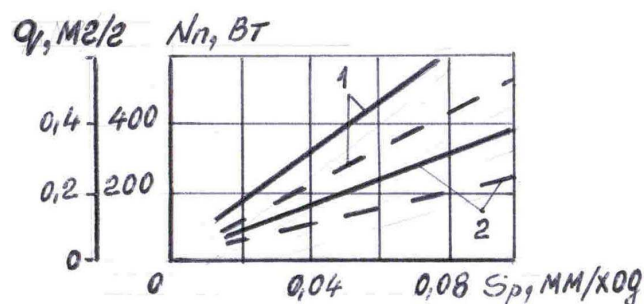


Рис. 3. Зависимость мощности N_n правки и удельного расхода q от радиальной подачи S_p ролика при правке круга 24A12CM27K5 $m = 3 \cdot 10^{-3}$ м АР AC15 250/200 M2-02: 1 - обычный ролик; 2 - ролик с отверстиями (N_n – штриховые линии, q – пунктирные линии)

Использование АРМ приводит к увеличению износостойкости по сравнению с обычным АР. Как видно, удельный расход обычных АР больше, чем у роликов с отверстиями (рис.3), что объясняется действием температурных и механических факторов в зоне резания. Так, при правке обычным АР отходы заполняют зазоры между роликом и кругом. Плотный сжатый слой отхода разрушает металлическую связку ролика при их относительном движении, вследствие чего возрастает износ связующего материала, что приводит к уменьшению прочности закрепления зерна, ослаблению и выпадению его из связки. Кроме того, отходы, воздействуя на металлическую связку, способствуют росту работы трения и температуры правки, что отрицательно влияет на стойкость режущих кромок зерен. В итоге расход АР увеличивается. При обычной подаче СОЖ в зону правки воздушный поток, создаваемый вращающимися ШК, препятствует эффективному охлаждению алмазных зерен, следовательно, износ правящего ролика повышается. При правке с АРМ, за счет наличия СОЖ непосредственно в зоне резания, защищается металлическая связка от контактирования с ней отходов правки, тем самым увеличивается прочность зерна в связке; уменьшается работа трения и температура правки; происходит активный процесс теплообмена ввиду хорошей теплопроводности алмаза; зерна не нагреваются до высокой температуры в зоне правки и вследствие этого не подвергаются большим тепловым ударам при их выходе из зоны контакта. Перечисленные условия приводят к уменьшению расхода алмазных зерен ролика и дают возможность повысить производительность процесса правки.

Установлено, что АРМ незначительно влияет на микрогеометрию режущей поверхности ШК и шероховатость поверхности шлифованных зубчатых колес, так как эти ролики обеспечивают такую же шероховатость, как и обычные.

Правка алмазным роликом с колебанием (АРК). Другим способом повышения стойкости АР может быть сочетание резания с ударным воздействием алмазных зерен на поверхность ШК с колебанием. При этом возбуждается

колебание АР в направлении, перпендикулярном его оси, т.е. в радиальном направлении. Исследования, проведенные на зубошлифовальных станках модели 5В833, показали, что наложение на АР определенных колебаний сказывается положительно на результатах правки. Вибрационная правка ШК 24А 12 СМ2 7 К5 АР АС15 250/200 М2-02 показала, что благодаря периодическому характеру контактирования ролика с кругом условия шламообразования, за счет интенсификации процесса разрушения поверхностного слоя ШК и его вывода из зоны резания вследствие активизации действия СОЖ, улучшаются; в зоне резания происходит процесс предразрушения и быстрого удаления из зоны правки продуктов разрушения, а также выпавших зерен; напряженность процесса правки снижается; отходы слабо контактируют с компонентами ролика и круга. Эти факторы в итоге способствуют снижению мощности правки и силы резания (рис.4) (коэффициент эффективности по мощности составляет 0,75...0,85). Микроскопическое изучение износа отдельных алмазных зерен показало, что при вибрационной правке износ алмазов в 1,3...1,5 раза меньше. Это можно объяснить тем, что алмазное зерно вследствие колебательного движения периодически выходит из ШК, не нагреваясь до высокой температуры в течение каждого входа и частично или полностью охлаждаясь в течение каждого выхода. Удельный расход при вибрационной правке получается меньше, чем при обычной правке (рис.5). Полученный эффект по снижению удельного расхода и температуры можно объяснить улучшением и ускорением по капиллярным каналам проникновения СОЖ в зону резания, что способствует улучшению условия охлаждения ролика, очистке зазора между АР и ШК от продуктов правки, уменьшению трения между трущимися материалами в зоне правки и износа металлической связки, следовательно, и увеличению прочности зерна в связке.

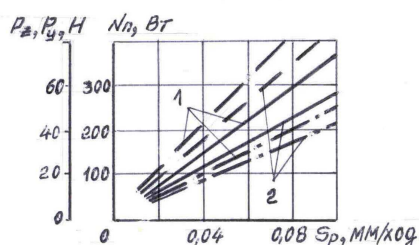


Рис.4. Зависимость мощности N_n и составляющих сил P_z и P_y от радиальной подачи S_p ролика при правке круга 24А12СМ27К5 $m = 3 \cdot 10^{-3}$ м АР АС15 250/200 М2-02: 1 - обычная правка ; 2 - вибрационная правка (N_n - штриховые линии, P_y - пунктирные линии, P_z - штрихпунктирные линии)

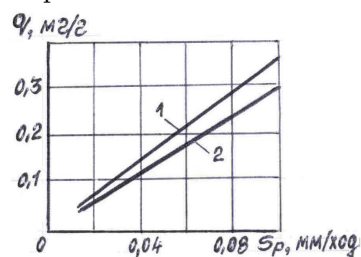


Рис.5. Зависимость удельного расхода q от радиальной подачи S_p ролика при правке круга 24А12СМ27К5 $m = 3 \cdot 10^{-3}$ м АР АС15 250/200 М2-02: 1 - обычная правка ; 2 - вибрационная правка

Из-за колебания АР возникают дополнительные источники ударной нагрузки. Соударение каждой пары алмазных и абразивных зерен АР из-за вращательных движений АР и ШК сопровождается дополнительным их

соударением вследствие колебательного движения АР в радиальном направлении, вызывая центральное продольное соударение алмазных и абразивных зерен. При этом каждое алмазное зерно с высокой скоростью воздействует на абразивное зерно, и под действием ударных сил, появляющихся на их граничных поверхностях, происходит процесс разрушения. Ударная сила, мгновенно возникающая на контакте зерен, упруго деформирует контактирующие поверхности и приводит к одновременному появлению напряжений сжатия, которые распространяются в противоположных направлениях от наружных поверхностей зерен вглубь через их АР и ШК. Учитывая, что металлическая связка АР и керамическая связка ШК, удерживающие алмазные и абразивные зерна, имеют значительно низкую жесткость по сравнению с жесткостью самих зерен, а также малую продолжительность действия ударного импульса, влиянием связок можно игнорировать и рассматривать динамические взаимодействия без дополнительных связей [1]. Представляя режущий выступ зерна как тонкую часть ступенчатого стержня, а основное зерно как его толстую часть, а также используя метод Сирса [2], учитывающий как местную деформацию (теория Герца), так и общую (волновая теория Сен-Венана), и известное волновое уравнение плоского удара, составляя систему уравнений в течение первого периода для алмазного $P_{y1} - 0 = C_p(V_{p1} - V_a)$ и абразивного $P_{y1} - 0 = -C_k(V_{k1} - V_b)$ зерен и принимая скорость абразивного зерна равной нулю, из приведенных систем уравнений определим скорости перемещения контактной площади в начальный период

$$V_{a1} - V_{b1} = V_y - \frac{C_p + C_k}{C_p C_k} P_1, \quad (1)$$

где P_1 – сила удара; C – ударная жесткость материала зерна ($C = F/\gamma a$, F , a , γ – соответственно площадь поперечного сечения режущего выступа зерна, плотность материала зерна и скорость звука в материале зерна); V_y – скорость удара; V_{a1} , V_{b1} – скорости крайних сечений контактирующих выступов, индексы “p” и “k” соответственно относятся к алмазным и абразивным зернам.

Учитывая, что сила P удара связана с величиной упругой деформации α соотношением Герца $P = K\alpha^{3/2}$ и представляя α как разницу путей, пройденных крайними сечениями выступов с момента удара ($\alpha = U_a - U_b$), имеем $d\alpha/dt = d(U_a - U_b)/dt$. Так как $d\alpha/dt = (d\alpha/dP)(dP/dt) = \alpha'P'$, то $V_{ai} - V_{bi} = \alpha'P'_i$. Обозначив предельную силу удара через P_0 : $P_0 : P_0 = C_p C_k V_y / (C_p + C_k)$, с учетом того, что для сферических торцев по [2] $\alpha = P^{2/3} K^{3/2}$ (K – коэффициент, зависящий от свойств материала зерен и кривизны контактирующих их поверхностей), определяя отсюда α' и подставляя их в подобную формулу (1), для i -го прохода получим дифференциальное уравнение для определения силы удара:

$$P'_i + \varphi P_i = \varphi [P_0 + br(P_{i-1} - rP_{i-2} + r^2P_{i-3} - \dots + r^{i-2}P_1)].$$

Решением этого уравнения для второго периода ($i=2$) будет

$$P = P_0 [1 + br - (1 - h + br)e^{-\varphi t_m} - br\varphi t_m e^{-\varphi t_m}],$$

где $b = 2C_k / (C_p + C_k)$; $r = C_p - C_k / (C_p + C_{p1})$; $h_1 = 1 - e^{-\varphi t_m}$; φ – показатель жесткости торца; t_m – время, соответствующее максимуму силы удара $t_m = e^{-\varphi T} / b\varphi$ (T – период собственных колебаний, $T = 2\ell_p / a_p$).

При одинаковой зернистости АР и ШК имеем $P = P_0 \exp - r^{-\varphi T}$.

Зная теоретическую величину силы удара на единичное зерно и количество одновременно контактирующих зерен, можно определить силу правки. Представляя P как радиальную силу микрорезания единичным зерном и зная количество n_y одновременно контактирующих зерен [3], можно получить теоретическую формулу для определения силы P_y при правке: $P_y = Pn_y$.

В качестве примера при правке червячных зубошлифовальных кругов 24АСМ27К5 с модулем $m=3 \cdot 10^{-3}$ м АР углового профиля АС15250/200 М2-02 (скорость ролика $V_p = 7$ м/с, скорость круга $V_k=0,44$, радиальная подача ролика $S_p=0,01 \cdot 10^{-3}$ м/ход, скорость удара $V_y=2$ м/с; физико-механические свойства: алмазных зерен – $E_p = 90 \cdot 10^{10}$, H/M^2 ; $\gamma_p = 3,5 \cdot 10^3$ кг/м², $\mu_p = 0,42$; электрокорундовых зерен – $E_k = 35 \cdot 10^{10}$, $\gamma_k = 4,1 \cdot 10^3$, $\mu_p = 0,42$) расчетное значение максимальной силы удара составляет $P=0,097$ Н. Так как при этом $n_y=250$ шт, то составляющая радиальная сила P_y правки будет $P_y = 0,097 \cdot 250 = 24,3$ Н.

Результаты полученных расчетных значений P и P_y хорошо согласуются с экспериментальными данными, что дает основание применять предлагаемую методику для аналитического определения силовых показателей при алмазно-абразивной обработке.

Таким образом, предлагаемые АРМ и АРК способствуют увеличению износостойкости АР, следовательно, допускают использование более высоких режимов правки и повышение производительности процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пановько Я.Г.** Введение в теорию механического удара. – М.: Физматгиз, 1977. – 223 с.
2. **Александров Е.В., Соколовский В.В.** Прикладная теория и расчеты ударных систем. – М.: Наука, 1969. – 201 с.
3. **Григорян М.А.** Некоторые особенности контактирования процесса правки // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. – Т.54, № 3. – С. 334-340.

Общественная организация “Хрупкие материалы” Материал поступил в редакцию 15.10.2001.

Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀԴԿԱՔԱՐԵՐԻ ՈՒՂՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Հիմնավորվել են առաջարկված հովացնող հեղուկի մատուցման անցքերով ալմաստե գրտնակի առավելությունները, որոնք ապահովում են գրտնակի տեսակարար ծախսի և գործընթացի էներգատարության փոքրացում: Գրտնակի տատանումներն ապահովում են վերջինիս ծախսի և գործընթացի ուժային բնութագրերի փոքրացում: Ալմաստե հատիկ-հղկանյութե հատիկ հարվածային համակարգի մոդելավորմամբ դուրս է բերվել ուղղման ուժի որոշման տեսական արտահայտություն:

M.A. GRIGORYAN

TECHNOLOGICAL APPROACH TO INCREASING THE PRODUCTIVITY OF DRESSING GRINDING WHEEL PROCESS

The advantages of proposed diamond roller with fine holes providing decrease of specific roller consumption and process capacity are set up. Diamond roller oscillation in dressing process minimizes roller wear and process force characteristics. Based on the stroke system modelling of “diamond grain-abrasive grain”, the theoretical expressions are deduced for determining the force.

С.С. ЧИБУХЧЯН, А.В. ДАДАМЯН

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МИКРОАВТОБУСОВ ТИПА “ГАЗЕЛЬ”, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ГОРОДЕ ЕРЕВАНЕ, ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ

На основе исследования работы микроавтобусов типа “Газель” в условиях г. Еревана с помощью программного пакета “MATLAB” была произведена корректировка периодичностей технических обслуживаний, что обеспечивает высокий уровень безотказной работы и соответственно безопасность движения.

Ключевые слова: эксплуатация, вероятность безотказной работы, корректировка, эффективность.

В последние годы существенная часть пассажирских перевозок в г. Ереване осуществляется микроавтобусами, в частности, микроавтобусами типа “Газель”. Поэтому необходимо обеспечить высокую эффективность их работы, что является важной технической и экономической задачей.

Главным условием повышения эффективности эксплуатации автотранспортных средств является обеспечение высокого и гарантированного уровня технической готовности парка путем правильной организации технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) подвижного состава, сокращения простоев под ремонт, т.е. путем оптимальной организации технической эксплуатации автомобилей.

Нормативная часть технической эксплуатации автомобилей прежде разрабатывалась, уточнялась и представлялась в “Положении о ТО и ТР подвижного состава автотранспорта” (далее “Положение”), разработанном впервые в 1972 году [1]. Периодичности технических обслуживаний, предлагаемые в “Положении”, год за годом существенно возросли. При каждом обновлении “Положения” (1973-1980, 1984) они увеличивались независимо от типа подвижного состава [2]. В дальнейшем разработку периодичностей ТО и других условий и норм технической эксплуатации начали осуществлять заводы-производители. В результате, ввиду развития техники и экономики, периодичности ТО конкретных моделей автомобилей в конкретных условиях эксплуатации возросли в несколько раз.

Величина периодичностей ТО-1 микроавтобусов, предлагаемая в “Положении”, вначале составляла 3000 км для первой категории эксплуатационных условий. Эта величина в дальнейшем уточнялась с помощью корректировочных коэффициентов для конкретных эксплуатационных условий.

В настоящее время автозавод “ГАЗ” предлагает для микроавтобусов типа “Газель” следующие интервалы периодичностей ТО: 10000 – 20000, 8000 – 16000, 7000 – 14000, 6000 – 12000 соответственно для ТО-1 и ТО-2.

Условия эксплуатации в г. Ереване соответствуют периодичностям 7000 – 14000, на которых и выполняются технические обслуживания в Ереванском таксомоторном парке.

При исследовании безотказной работы основных агрегатов и механизмов микроавтобусов типа “Газель” с помощью программного пакета “MATLAB” была разработана программа, которая дает возможность определить показатели эксплуатационной надежности микроавтобусов этого типа в конкретных условиях эксплуатации. Выяснилось, что вышеупомянутые периодичности ТО обеспечивают достаточно низкие величины вероятности безотказной работы (рис. 1).

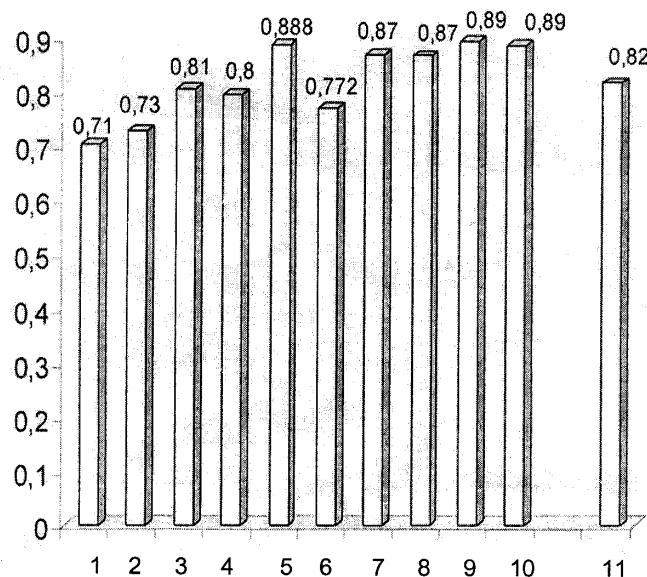


Рис. 1. Вероятности безотказной работы, соответствующие периодичности ТО-1, равной 7000 км: 1 – двигатель, 2 – КПП, 3 – задний мост, 4 – передняя подвеска, 5 – кузов, 6 – сцепление, 7 – тормозной механизм, 8 – газобаллонное оборудование, 9 – электрооборудование, 10 – рессоры, 11 – средний

На основании вышеназванного программного пакета была вычислена вероятность безотказной работы для автомобиля в целом, которая равна 0,9. При этом были приняты следующие вероятности безотказной работы: 0,96 – для агрегатов, непосредственно влияющих на безопасность движения (БД), 0,92 – для агрегатов, косвенно влияющих на БД, 0,85 – для остальных агрегатов. Таким образом, были приняты следующие вероятности безотказной работы для основных агрегатов и механизмов микроавтобусов: двигатель – 0,92, коробка перемены передачи (КПП) – 0,85, передняя подвеска – 0,96, кузов – 0,85, сцепление – 0,85,

тормозной механизм – 0,96, газобаллонное оборудование – 0,92, электрооборудование – 0,85, рессоры – 0,85. Соответствующие полученные наработки показаны на рис. 2.

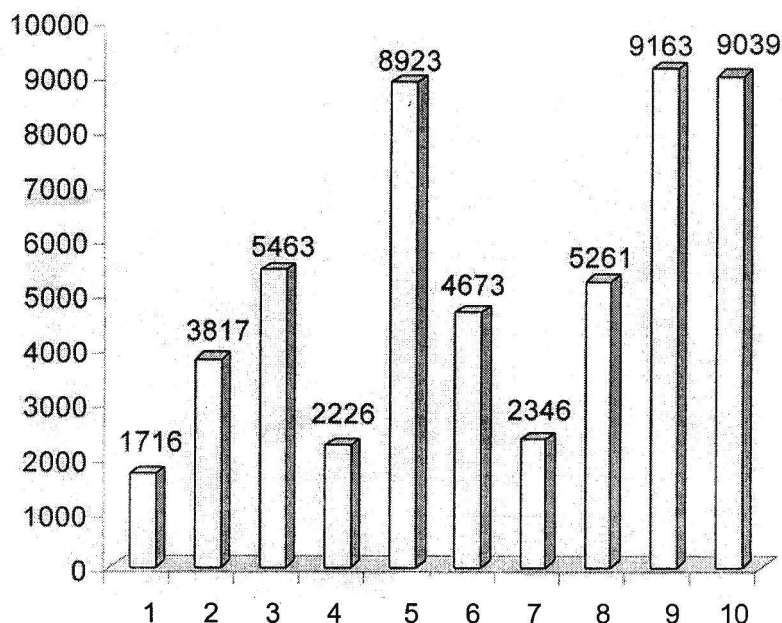


Рис. 2. Наработки, соответствующие принятым вероятностям безотказной работы: 1 – двигатель, 2 – КПП, 3 – задний мост, 4 – передняя подвеска, 5 – кузов, 6 – сцепление, 7 – тормозной механизм, 8 – газобаллонное оборудование, 9 – электрооборудование, 10 – рессоры

Как видно из рис. 2, агрегаты можно разделить на две группы, наработки которых строго различаются друг от друга. Первая группа включает в себя двигатель, КПП, задний мост, переднюю подвеску, сцепление, тормозной механизм и газобаллонное оборудование, а во вторую группу входят кузов, электрооборудование и рессоры.

Средние наработки первой и второй групп составляют соответственно 3600 км и 9000 км и для автомобиля в целом обеспечивают вероятность безотказной работы, равную 0,9. Исходя из этих величин, периодичность ТО-1 принимается 3600 км и обеспечивает высокий уровень безотказной работы, а работы по ТО-1 для агрегатов второй группы выполняются уже при ТО-2 с периодичностью 7200 км, которая для агрегатов второй группы обеспечивает вероятность безотказной работы больше 0,9.

Таким образом, в результате исследований, а также исходя из реальных показателей эксплуатационной надежности микроавтобусов типа “Газель”,

выяснилось, что для микроавтобусов данного типа в конкретных условиях эксплуатации в г. Ереване уточненные величины периодичностей ТО, обеспечивающие высокий уровень безотказной работы, составляют: для ТО-1- 3600 км, для ТО-2- 7200 км.

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что были получены малые значения периодичностей ТО, что влечет за собой дополнительные затраты, однако они обеспечивают высокий уровень безотказной работы, что очень важно, исходя из требований как безопасности пассажиров, так и движения. Кроме того, большое количество микроавтобусов создает серьезные экологические проблемы, в связи с чем с целью уменьшения загрязненности окружающей среды важное значение имеет повышение технической исправности автомобилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о ТО и ТР подвижного состава автотранспорта / Минавтотранс РСФСР. – М.: Транспорт, 1984.- 73 с.
2. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1990.- 272 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 26.01.2002.

Ս.Ս.ՉԻԲՈՒԽՉՅԱՆ, Ա.Վ. ԴԱԴԱՄՅԱՆ

**ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔՈՒՄ ՇԱՀԱԳՈՐԾՎՈՂ ԳԱԶԵԼ ՄԱԿՆԻԶԻ
ՄԻԿՐՈԱՎՏՈԲՈՒՍՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԲԱՐՁՐԱՅՈՒՄԸ ՆՐԱՆՑ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՍՊԱՍԱՐԿՄԱՆ
ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՃՇԳՐՄԱՆ ՇՆՈՐՀԻՎ**

Երևան քաղաքում շահագործվող “Գազել” մակնիշի միկրոավտոբուսների աշխատանքի ուսումնասիրության հիման վրա “MATLAB” ծրագրային փաթեթի օգնությամբ ճշգրտվել են տեխնիկական սպասարկման պարբերականությունները, որոնք ապահովում են անմեթ աշխատանքի և անվտանգ երթևեկության բարձր մակարդակ:

S.S. CHIBUKHCHYAN, A.V. DADAMYAN

**INCREASING EFFECIENCY OF “GAZEL” – TYPE MICROBUS IN SERVICE
IN YEREVAN BY CORRECTION OF
MAINTENANCE PERIODICITY**

Based on Gazel-type microbus studies on conditions of Yerevan by the programm package “Matlab”, a correction of maintenance periodicity providing high level of no-failure operation and accordinly safety traffic is produced.

В.С. САРКИСЯН, Г.А. АДИЛХАНЫН

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО МАССИВА

Описывается применение метода оценки остаточных деформаций откосов для прогноза перемещений оползневых массивов под воздействием землетрясений.

Ключевые слова: оползень, землетрясение, акселерограмма, перемещение, остаточная деформация, коэффициент запаса.

Республика Армения - страна с весьма пестрым геологическим строением, пересеченная множеством горных хребтов, изобилующая опасными геологическими явлениями, такими как: землетрясения, обвалы, оползни различного генезиса.

Прогнозирование этих процессов имеет важное значение. В частности, это относится к оползням, движение которых угрожает населенным пунктам, жизни и хозяйственной деятельности людей. На скорость перемещения оползней, как показывает анализ накопленных данных и материалов наблюдений, влияют такие факторы, как: водный режим в оползневом теле и прилегающих участках склона, землетрясения, погодные условия и т.д. Эти факторы могут стать пусковым механизмом прогрессирующего движения оползней и быть причиной периодической активизации процесса перемещений.

Методика прогнозирования влияния водного режима и погодных условий на скорость движения и перемещения оползня еще не разработана. Для приближенной оценки характера перемещений и скорости движения оползня во время землетрясения, при определенных допущениях и условиях, могут быть применены уравнения динамики. Такими условиями-допущениями являются: перемещения во время землетрясения малы по сравнению с размерами оползня; не прогнозируется разжижение грунтов; есть предпосылки рассматривать движение оползня, как твердого, нерасчленяемого и недеформируемого в процессе движения тела; поверхности сдвига могут быть аппроксимированы в виде круглоцилиндрической поверхности.

Скорости и перемещения оползневого тела могут быть получены из решения плоской задачи об угле поворота призмы обрушения грунтовых откосов для круглоцилиндрической поверхности скольжения при сейсмическом воздействии, заданном акселерограммой. Эта методика успешно применяется при расчете остаточных деформаций откосов грунтовых плотин [1-3].

Искомые величины могут быть получены путем интегрирования уравнения динамики для вращательного движения:

$$J_0 \frac{d^2 \Psi}{dt^2} = M_A - M_P + M_C; \quad M_C = \mu_c \frac{d^2 x}{dt^2}; \quad \mu_c = \int_{(S)} \gamma(x,y) f(y) (y_0 - y) dx dy, \quad (1)$$

где J_0 - момент инерции оползня относительно оси, проходящей через центр дуги скольжения; Ψ - угол поворота оползня; M_A и M_P - сумма моментов статических активных и пассивных сил; M_C - сумма моментов сейсмических инерционных горизонтальных сил; x - сейсмические горизонтальные перемещения ложа оползня; $\gamma(x,y)$ - удельный вес грунта; $(y_0 - y)$ - плечо сейсмического воздействия относительно центра вращения; $f(y)$ - функция отклика, для оползней $f(y)=1$.

Основное уравнение сводится к виду

$$\frac{d^2 \Psi}{dt^2} = a \left(\frac{d^2 x}{dt^2} - n \right); \quad a = \frac{\mu_c}{J_0}; \quad n = \frac{M_P - M_A}{\mu_c}. \quad (2)$$

Вторая производная сейсмических перемещений ложа оползня - суть функция ускорений ложа по времени, т.е. является акселерограммой землетрясения, которая может быть задана реальной записью или подобрана по аналогу.

Интегрирование этого дифференциального уравнения реализовано численными методами и продолжается до момента времени, при котором скорость движения обращается в нуль, или до тех пор, пока прекращается снижение скорости движения по инерции.

Очевидно, что нарастание скорости движения для оползней, находящихся в предельном состоянии, начинается с началом землетрясения, так как разность моментов активных и пассивных сил $M_A - M_P \approx 0$, следовательно, $n \approx 0$, и торможение движения осуществляется только обратным воздействием землетрясения.

На основе этой методики произведен прогноз перемещений шести оползней на территории Армении. Для моделирования сейсмического воздействия использовалась акселерограмма Эль-Центро (рис.1), которая приводилась к расчетной интенсивности землетрясения.

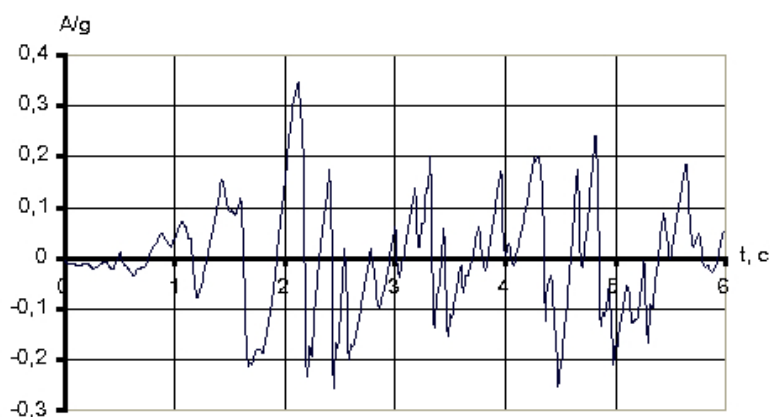


Рис.1. Акселерограмма Эль-Центро

За отсутствием данных по прочностным параметрам на поверхности сдвига предварительно последние определялись обратным расчетом устойчивости без учета сейсмических воздействий. Так как скорость движения оползня весьма мала, то можно считать, что в условиях отсутствия сейсмических воздействий коэффициент запаса устойчивости приблизительно равен единице, т.е. оползень находится практически в предельном состоянии. Это позволяет подобрать прочностные характеристики на поверхности скольжения такими, чтобы расчетный коэффициент запаса оказался равным единице в условиях отсутствия землетрясения. При этом сцепление принималось равным нулю, так как состояние движения оползня позволяет предполагать нарушение структурных связей в грунте, учитывая при этом способность связных грунтов к значительному снижению сцепления при динамических нагрузках. Результаты прогнозов приводятся в табл. 1.

Таблица 1

№	Оползень	A, доли “g”	R, м	φ, град.	K	n	a	V _{max} , см/с	V _c , см/с	L за время t _з , см
1	Вохчаберд- ский	0,3	9125,9	8,45	0,295	0	0,00107	53,2	31,18	131,9
		0,55			0,186			97,54	57,17	240,8
2	Дилижан- ский N1	0,3	1050,0	18,6	0,465	0	0,00903	51,66	30,28	127,5
		0,55			0,322			94,71	55,51	233,8
3	Дилижан- ский N2	0,3	10028,3	21,03	0,472	0	0,00095	51,91	30,42	128,2
		0,55			0,328			95,16	55,78	234,9
4	Дилижан- ский N3	0,3	3385,7	32,77	0,584	0	0,00270	49,81	29,19	123,0
		0,55			0,434			91,31	53,52	225,4
5	Ванадзор- ский N1	0,3	9745,0	20,75	0,499	0	0,00097	51,50	30,19	127,2
		0,55			0,352			94,42	55,34	233,1
6	Ванадзор- ский N2	0,3	2520,2	21,4	0,510	0	0,00381	52,32	30,66	129,2
		0,55			0,362			95,91	56,22	236,8

Здесь A - интенсивность сейсмического воздействия ложа оползня; R - радиус круглоцилиндрической поверхности, аппроксимирующей реальную поверхность сдвига; φ- угол внутреннего трения на поверхности сдвига; K - коэффициент запаса устойчивости с учетом сейсмических воздействий; n - интенсивность сейсмического воздействия ложа, приводящая оползень в состояние предельного равновесия; V_{max} - максимальная скорость движения, достигаемая в продолжительности t_з землетрясения; V_c - скорость движения в момент окончания землетрясения; L - перемещение по дуге сдвига.

Приведенные в табл.1 оползни в течение года в среднем перемещаются от 0,5 до 1 м, причем эти перемещения связаны с периодами активности, обусловленными водным режимом и погодными условиями, т.е. оползни оказываются то в состоянии предельного, то допредельного равновесия.

Продолжительность землетрясения $t_3=6$ с, за это время оползни перемещаются на величину, сравнимую и даже превосходящую их годовые перемещения. Однако с окончанием землетрясения движение продолжается с постоянной скоростью V_c (рис.2, этот и приводимые ниже графики иллюстрируют движение Вохчабердского оползня при интенсивности сейсмического воздействия $0,3g$). Следовательно, землетрясение может стать пусковым механизмом прогрессирующего движения и неограниченного увеличения его перемещений (рис.3), если поверхность ложа дальнейшего перемещения не будет оказывать дополнительного сопротивления. Причиной дополнительного сопротивления могут стать: боковое стеснение и уменьшение среднего уклона ложа, восстановление утерянной по причине динамических нагрузок прочности грунтов на поверхности сдвига или смена сопротивляющихся сдвигу грунтов.

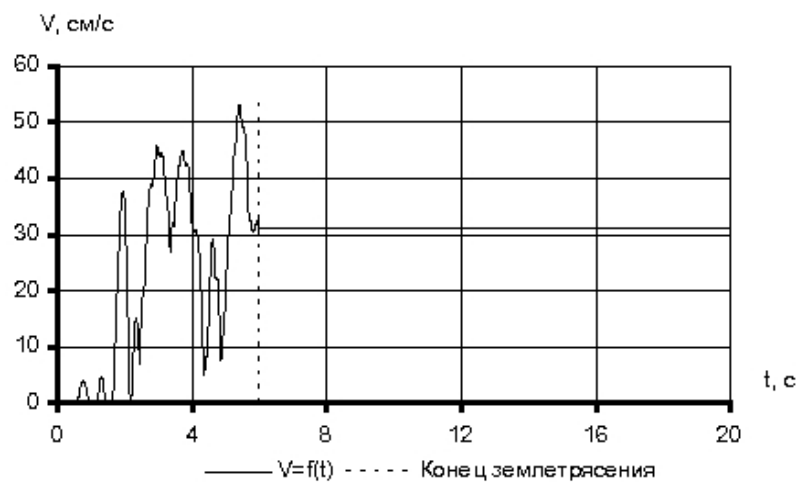


Рис.2. График скорости по нижним пикам акселерограммы

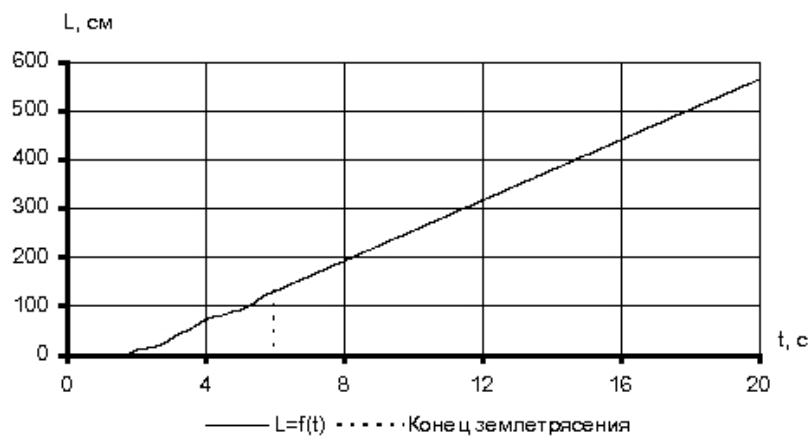


Рис.3. График перемещений по нижним пикам акселерограммы

Во всех рассмотренных оползнях резервы такого дополнительного сопротивления имелись. Величина интенсивности сейсмического воздействия ложа, приводящая оползень в состояние предельного равновесия, при весьма осторожной оценке (с запасом) сил сопротивления определена всего в $n=0,001$. Повтор прогнозов с новым параметром привел к результатам, приведенным в табл. 2, в которой T_p - момент времени полной остановки движения ($V=0$); V_p - скорость в момент T_p ; L_p - перемещение по дуге сдвига в момент T_p .

Осторожность оценки n очевидна из сравнения величин V_{max} , V_c и L за время t_3 обеих таблиц.

Учитывая, что акселерограмма подобрана априори и при корректном подборе в качестве аналоговой могут быть подобраны акселерограммы землетрясений с большей продолжительностью, то естественно ожидать значительного увеличения перемещений. Необходимо отметить, что инерционные характеристики этих оползней разнятся на порядок, однако они влияют на величину перемещений незначительно.

Для наглядности на рис.4 приведен график скорости движения, а на рис.5 график перемещений по времени для того же оползня.

Таблица 2

1	Оползень	A, доли "g"	n, доли "g"	T_p , с	V_p , см/с	V_{max} , см/с	V_c , см/с	L_p , см	L за время t_3 , см
1	Вохчабердский	0,3	0,001	33,94	0	50,06	27,47	505,7	124,05
		0,55		60,41	0	94,40	56,81	1680,0	233,3
2	Дилижанский N1	0,3	0,001	33,94	0	48,61	26,67	491,1	120,5
		0,55		60,41	0	91,66	51,90	1631,3	226,7
3	Дилижанский N2	0,3	0,001	33,94	0	48,85	26,80	493,4	121,0
		0,55		60,41	0	92,10	52,15	1639,1	227,8
4	Дилижанский N3	0,3	0,001	33,94	0	46,87	25,72	473,5	116,1
		0,55		60,41	0	88,37	50,14	1572,8	218,6
5	Ванадзорский N1	0,3	0,001	33,94	0	48,46	26,59	489,6	120,1
		0,55		60,41	0	91,38	51,75	1626,3	226,0
6	Ванадзорский N2	0,3	0,001	33,94	0	49,23	27,01	497,3	122,0
		0,55		60,41	0	92,82	52,56	1652,0	229,6

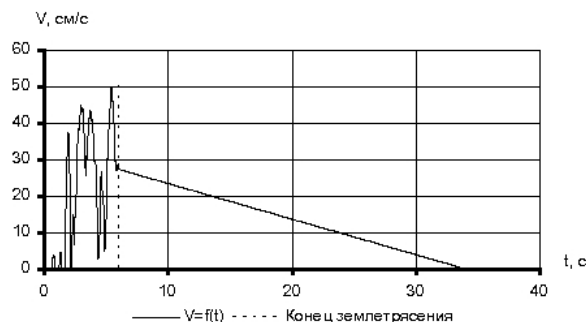


Рис.4. График скорости по нижним пикам акселерограммы

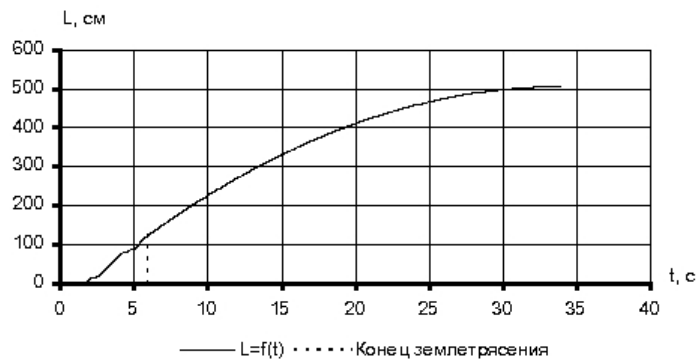


Рис.5. График перемещений по нижним пикам акселерограммы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П 17 - 85/ ВНИИГ. Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений: Пособие к разделу 5 СНиП II - 7 - 81. –Л.: ВНИИГ, 1986. – С. 310.
2. Бирбраер А. Н., Красников Н. Д. Динамический расчет устойчивости откосов с учетом возможности их перемещения // Труды координационных совещаний по гидротехнике. – 1973. –Вып.80. –С.35-41.
3. Красников Н.Д. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов. –М.: Энергоиздат,1981. –240с.

ЕГУАС. Материал поступил в редакцию 10.11.2001.

Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Հ.Ա. ԱԴԻԼԽԱՆՅԱՆ
ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԸ ԵՎ ՆՐԱ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ
ԶԱՆԳՎԱԾՆԵՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Նկարագրվում է երկրաշարժերի ազդեցությունից սողանքային զանգվածների տեղափոխությունների գնահատման համար շեպերի մնացորդային դեֆորմացիաների որոշման մեթոդի կիրառությունը:

V.S. SARKISYAN, H.A. ADILKHANYAN
EARTHQUAKE AND ITS INFLUENCE ON THE LANDSLIDE
MOTION PROCESS

Estimation method application of residual earth slope deformations for predicting landslide motion process affected by an earthquake is described.

Ж.А. АЧОЯН, А.А. КАЗАРЯН

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ НА МОДУЛЬ СТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД

Приводятся изменения УГВ и модуля дренажного стока в связи с очисткой (углубкой) горизонтальной дренажной сети. В условиях Араратской равнины ежегодная очистка указанных сетей приводит к снижению УГВ на 0,4...0,6 м и увеличению дренажного стока на 10...20 %.

Ключевые слова: грунтовая вода, дренажная и оросительная сети, модуль дренажного стока, напорное питание.

На орошаемых массивах для поддержания уровня грунтовых вод (УГВ) на определенную глубину, при котором не ощущается отрицательное влияние ГВ на почвообразовательный процесс, и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур создаются дренажные системы разных типов.

В Армении большое распространение получили горизонтальные дренажные сети, которые в основном (97 %) сосредоточены в Араратской равнине, с подкомандной площадью 33,0 тыс. га, из них открытой - 25,0 тыс. га и закрытой - 8,0 тыс. га. Общая их длина составляет 1562,2 км, из них открытой - 892,2 км и закрытой - 670,0 км.

Дренажные воды формируются в комбинации природных и ирригационно-хозяйственных факторов и используются в основном для орошения. В связи с этим важное значение имеет установление расхода дренажной сети при их различных состояниях (до и после очистки).

Обычно параметры постоянного горизонтального дренажа рассчитываются на среднегодовую нагрузку эксплуатационного периода с обязательной проверкой динамики УГВ в характерные периоды - вегетационный, предпосевной, поливной.

Модуль дренажного стока (л/с. га) в вегетационный период, т. е. при больших нагрузках на дренаж, определяется уравнением [1]

$$q_{др} = q_0 + q_{\phi} + q_{ор} - (q_{от} - q_{пр})^*, \quad (1)$$

где $q_{др}$ - модуль дренажного стока; q_0 - интенсивность подземного притока; q_{ϕ} - интенсивность питания ГВ за счет фильтрации из оросительных каналов; $q_{ор}$ - интенсивность питания ГВ за счет орошения; $q_{от}$ и $q_{пр}$ - интенсивность подземного бокового оттока и притока.

Рассмотрим элементы питания и расхода ГВ в условиях дренированной системы, т.е. до очистки коллекторно-дренажной сети.

Для Араратской равнины подземный приток выражается напорным питанием из низлежащих водоносных горизонтов. При стационарном режиме фильтрации интенсивность напорного питания приближенно можно определить в виде

$$q_0 = K_0 \frac{\Delta H}{m_0}, \quad (2)$$

где K_0 и m_0 – коэффициент фильтрации и мощность разделяющего слабофильтрующего слоя; ΔH – превышение напора над УГВ.

Интенсивность питания ГВ за счет фильтрации из оросительных каналов определяется в виде

$$q_{\Phi} = O_p \frac{1}{\eta} [\alpha_1 (1 - \eta_1) + \alpha_2 \eta_1 (1 - \eta_2) + \alpha_3 \eta_1 \eta_2 (1 - \eta_3)], \quad (3)$$

где O_p – оросительная норма (нетто), $м^3/га$; η – КПД оросительной системы ($\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$); η_1, η_2, η_3 – КПД магистральной, межхозяйственной и внутрихозяйственной сетей соответственно; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – доли фильтрационных потерь из тех же каналов, идущие на питание ГВ.

Интенсивность питания ГВ за счет орошения можно определить по формуле

$$q_{op} = (1 - \sigma) O_c + O_p - E_{и}, \quad (4)$$

где σ – коэффициент поверхностного стока атмосферных осадков; O_c – осадки на территории орошаемого поля за вегетационный период, $мм$; $E_{и}$ – испарение и транспирация (испаряемость), $мм$.

Для более дифференцированного определения модуля дренажного стока вся территория зоны влияния, охваченная дренажом по напорному питанию ГВ, с учетом главных водоприемников коллекторно-дренажных вод разделена на четыре участка.

Участок I расположен в юго-восточной части равнины с превышением напора над УГВ 0,2...0,6 м, водоприемником коллекторно-дренажных вод является р. Севджур. Участок II расположен между реками Севджур и Раздан с превышением напора над УГВ 0,8...1,1 м, водоприемником является р. Раздан. Участок III расположен между р. Раздан и селом Чадма-Су с превышением напора над УГВ 0,7...1,0 м, водоприемником является Раздан-Араксинский коллектор, впадающий в р. Аракс. Участок IV расположен в северо-восточной части равнины с превышением напора над УГВ 0,4 м, водоприемником является главный Араздаянский коллектор, впадающий в р. Аракс.

Для расчета водного баланса дренажного стока величины исходных параметров заимствованы из ранее проведенных изыскательских, проектных и опытных работ.

В условиях Араратской равнины, в зоне влияния горизонтального дренажа, характерно напорное питание ГВ из низлежащих горизонтов. Это питание в целом для равнины составляет 0,144 л/с или 4530 $м^3/га$ в год и оценивается как высокое (табл. 1).

Согласно данным ГЗАО “Ворогум”, в 2000 г. КПД магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов соответственно составили 0,9; 0,79 и 0,7, а системы – 0,497. Доли фильтрационных потерь из этих каналов, идущие на питание ГВ, соответственно 0,2; 0,4 и 0,9.

Таблица 1

Результаты расчетов модуля напорного питания ГВ Араратской равнины

N участка	Районы	Площадь напорного питания, га	m_0	K_0	ΔH	q_0
I	Армавирский	5391	4	0,008	0,2	0,046
	Эчмиадзинский	4900	3	0,006	0,6	0,139
II	Средневз.					0,090
	Армавирский	2950	3	0,005	0,8	0,151
III	Эчмиадзинский	8356	3	0,005	1,1	0,213
	Средневз.					0,197
IV	Масисский	3503	3	0,006	1,0	0,232
	Арташатский	6033	4	0,006	0,7	0,122
IV	Средневз.					0,162
	Араратский	1856	6	0,007	0,4	0,054
Средневзв. для Араратской равнины						0,144,

Средневзвешенное количество водозабора на орошение земель Араратской равнины составило 13300 $m^3/га$ (брутто), оросительная норма при указанных КПД нетто 6610 $m^3/га$. Осадки за вегетационный период составляют 170 мм, величина испаряемости – 600 мм, а коэффициент поверхностного стока атмосферных осадков – 0,1. Время вегетационного периода принимается 7,5 мес. или 225 сут.

На основе вышеприведенных исходных данных по формулам (1) – (4) проведены расчеты, результаты которых в обобщенном виде приводятся в табл. 2. Анализ полученных результатов показывает, что в формировании модуля дренажного стока Араратской равнины доля фильтрационных потерь из оросительных каналов составляет 44,0 %, от орошения – 24,3 %, а из низлежащих напорных горизонтов – 31,7 % (табл. 2).

В связи с изменением уровня ГВ модуль дренажного стока можно представить в виде

$$q_{др} = q_0 + q_{ф} + q_{ор} \pm \frac{\mu \Delta h}{t}, \quad (5)$$

где q_0 – интенсивность напорного питания при изменении УГВ; μ – коэффициент водоотдачи при понижении УГВ или недостатка насыщения при подъеме УГВ; Δh – величина изменения УГВ; t – продолжительность подъема или спада УГВ.

Таблица 2

Модуль дренажного стока в вегетационный период до очистки коллекторно-дренажной сети

N участка	Площадь участка, га	q_0	q_{ϕ}	q_{op}	$q_{др}$
I	10291	0,090	0,20	0,11	0,400
II	11306	0,197	0,20	0,11	0,507
III	9536	0,162	0,20	0,11	0,472
IV	1856	0,054	0,20	0,11	0,364
Средневзв. для Араратской долины		0,144			0,454

В нашем случае при очистке дренажной сети происходит понижение УГВ.

Время стекания объема воды из понижающего слоя к дренам без учета фильтрационных сопротивлений определяется зависимостью

$$t = \frac{V}{Kih}, \quad (6)$$

где V – объем гравитационной воды на 1 п.м длины дренажа в понижающем слое; K – коэффициент фильтрации грунтов активной зоны дренажа, м/сут; i – уклон потока к дренаю $i = \Delta h/L$ (L – половина междренного расстояния); h – мощность активной зоны дренажа ($h = 2...3 Hq$, Hq – глубина дренажа) [1,3].

Как показывают многолетние наблюдения за УГВ, после очистки коллекторно-дренажной сети Араратской равнины ГВ снижаются на 0,3...0,6, т. е. в среднем 0,4 м от первоначального уровня.

Для условий Араратской равнины величины остальных параметров, входящие в (5) и (6), в среднем такие: $h = 8$ м; $\mu = 0,12$ м; $K = 2,5$ м/сут; $L = 70$. При этом время стекания объема гравитационной воды, содержащейся в понижающем слое (Δh), к дренам составляет 30 сут. (6).

Следует отметить, что при очистке коллекторно-дренажной сети подземное питание ГВ увеличивается, а составляющие q_{ϕ} и q_{op} остаются почти неизменными (табл. 3).

Из табл. 3 следует, что после очистки модуль дренажного стока увеличивается в среднем на 56,8 %, а после стабилизации УГВ составляет 15,8 % по сравнению с периодом до их очистки.

Установлено, что при очистке (углублении) коллекторно-дренажной сети в первые сутки (7...12 сут.) происходит быстрое понижение УГВ, 70-80% содержащейся воды в понижающем слое удаляется и в дальнейшем замедляется и после 30-40 суток стабилизируется (3).

Таблица 3

Модуль дренажного стока после очистки коллекторно-дренажной сети						
N участка	Площадь участка, га	q_0	$q_{ф} + q_{ор}$	$\frac{\mu \Delta h}{t}$	$q_{др}$ л/с. га	
					После очистки	После стабилизации УГВ
I	10291	0,158	0,310	0,186	0,654	0,468
II	11306	0,274	0,310	0,186	0,770	0,584
III	9536	0,241	0,310	0,186	0,737	0,551
IV	1856	0,108	0,310	0,186	0,604	0,418
Средневзв. для Араратской равнины		0,216	0,310	0,186	0,712	0,526

Параметры коллекторно-водосборной сети и водоприемников равнины позволяют принимать и удалять дренажные воды, образуемые в период очистки.

Ежегодная очистка существующей коллекторно-дренажной сети способствует не только понижению УГВ и увеличению дренажных вод на 10...20 %, которые используются для орошения, но и улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аверьянов С. Ф.** Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. - М.: Академия наук, 1959.-83 с.
2. **Ананян А. К.** Дренаж при освоении содовых солончаков. - М.:Колос, 1971.-273 с.
3. **Ачоян Ж. А.** О некоторых вопросах гидродинамики массообмена в фильтрующей среде. - Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1978.- Т.31, N 4.- С.37-45.
4. **Веригин Н.Н., Саркисян В.С.** Методы расчета фильтрации из мелиоративных систем. - М.: Колос, 1970.-440 с.

ГЗАО "Контроль и мониторинг мелиоративного состояния орошаемых земель" РА при Гос. комитете водного хозяйства РА. Материал поступил в редакцию 0.07.2001.

Ժ.Ա. ԱՉՈՅԱՆ, Ա.Ա. ԴԱԶԱՐՅԱՆ ԴՐԵՆԱԺԱՑԻՆ ՑԱՆՑԻ ՎԻՃԱԿԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԳՐՈՒՆՏԱՑԻՆ ԶՐԵՐԻ ՀՈՍՔԻ ՄՈՂՈՒԼԻ ՎՐԱ

Բերվում են հորիզոնական դրենաժային ցանցերի մաքրումից (խորացումից) գրունտային ջրերի մակարդակների և դրանց հետ կապված դրենաժային հոսքի մոդուլի փոփոխությունները: Արարատյան հարթավայրի պայմաններում նշված ցանցերի տարեկան մաքրումը հանգեցնում է գրունտային ջրերի մակարդակների 0,4...0,6 մ իջեցմանը և դրենաժային հոսքի 10-20 % մեծացմանը:

Zh. ACHOYAN, A.A. GHAZARYAN IMPACT OF DRAINAGE NETWORK STATE ON GROUND WATER MODULUS OF FLOW

Ways of ground water level (GWL) change and drainage flow modulus for cleaning horizontal drainage network are proposed. In Ararat plain conditions the annual cleaning of drainage networks leads to decrease of GWL for 0,4...0,6 m and increase of drainage flow for 10...20%.

Г.Р. ДРМЕЯН

РЕНТГЕНОВСКИЙ ДИФРАКЦИОННЫЙ УВЕЛИЧИТЕЛЬ (ДИФРАКЦИОННАЯ ЛИНЗА-ЛУПА)

Изготовлена и применена дифракционная линза для увеличения дифракционных картин. Разработана методика, обеспечивающая большое разрешение при наблюдении микроструктур рентгенодифракционных картин.

Ключевые слова: дифракционная линза, угловое увеличение, рентгенотопография, двухкристальная система, разрешение, интерферометр, муар, оптическая сила.

Метод рентгеновской интерферометрии, являющийся одной из важнейших областей диагностики несовершенств и искажений в монокристаллах, успешно применяется для определения поля деформации в упруго-деформированных кристаллах. Высокая чувствительность рентгеноинтерференционных картин к незначительным нарушениям кристаллической решетки объясняется соизмеримостью межплоскостных расстояний кристалла с периодом микроскопической интерференционной структуры падающего на него волнового поля. Метод рентгенодифракционного муара является основным, дающим возможность с большой точностью определить поля напряжений, плотность радиационных (точечных) дефектов в кристаллах [1,2].

Известно, что показатель преломления рентгеновских лучей незначительно отличается от единицы. Поэтому до настоящего времени, к сожалению, не существует ни рентгеновских линз (лупы), ни микроскопов, которые были бы весьма эффективными из-за малости длины волны. В существующих приборах типа "Микрон-2", называемых рентгеновскими микроскопами, не используется ни преломление, ни дифракция рентгеновских лучей. Эти приборы регистрируют тени неоднородностей, появляемые из-за разностей коэффициентов поглощения матрицы и макродефектов (трещин, раковин, включений и т.д.), поэтому являются фактически не микроскопами, а обыкновенными дефектоскопами, имеющими небольшие разрешающие силы и непригодные для наблюдения микродефектов (дислокаций, кластеров и т.д.).

В рентгенотопографических методах прямого наблюдения за дефектами в кристаллах используется динамическая дифракция рентгеновских лучей, т.е. они имеют большое разрешение: пригодны для наблюдения отдельных дислокаций почти совершенных кристаллов. Разрешение рентгенографических методов значительно уступает разрешению электронно-микроскопических методов, применимость которых существенно ограничивается сильным поглощением электронов. Объемные дефекты можно исследовать, как правило, электронно-микроскопическими методами лишь в тонких пленках, толщина которых не больше 1000 Е. Поэтому возникла острая необходимость повышения разрешения

рентгенодифракционных методов исследования структурных несовершенств кристаллов, применяемых в науке, технике и производстве.

При дифракции рентгеновских лучей в кристаллах происходит сильное угловое увеличение пучка, чем и обусловлено большое разрешение рентгенодифракционных методов исследования совершенств кристаллов. Действительно [3], угловое увеличение в кристаллах выражается формулой

$$M = \frac{d\eta}{d\varepsilon} = \frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon} \frac{K}{R}, \quad (1)$$

где $d\varepsilon$ - угол сходимости падающего пучка; $d\eta$ - угол расходимости пучка в кристалле; θ - угол Брэгга; R - радиус дисперсионной поверхности; K - волновое число ($K = 1/\lambda$).

Как видно из (1), кристалл является мощным увеличителем: при $MoK_{\alpha 1}$ излучении для 220 отражения кремния M имеет величину порядка 10^4 . Этот эффект углового увеличения можно использовать для получения линейного увеличения, что дает возможность повысить разрешение рентгенодифракционных картин. Указанная цель достигается тем, что через идеальный толстый кристалл, находящийся в положении отражения, пропускается пучок, содержащий информацию о дефектах структуры исследуемого образца или муаровые узоры, полученные от двух- или трехблочного интерферометра.

1. Увеличение рентгеновских муаровых картин

Допустим, имеем двух- или трехкристальную систему, с помощью которой получаем муаровую картину (рис.1 и 2).

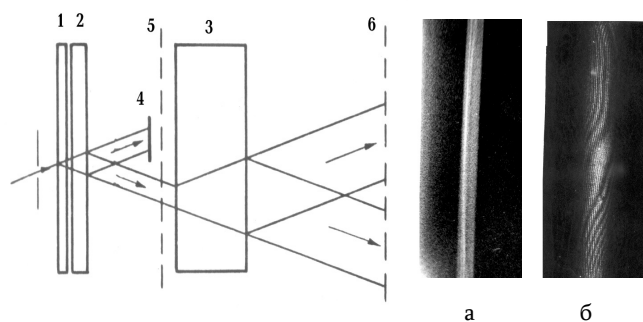


Рис. 1. Увеличение рентгеновских муаровых картин, полученных с помощью двухкристальной системы: а - муаровая картина, образованная двухкристальной системой; б - муаровая картина 1а после увеличения

Узкий пучок рентгеновских лучей, проходя через коллиматор с диафрагмой, падает на двухблочную систему, состоящую из кристаллов **1** и **2**. Дифрагированный пучок падает на совершенный толстый кристалл **3**, находящийся в положении отражения, а проходящий пучок задерживается посредством экрана **4**. Дифрагированный пучок, содержащий муаровые картины, проходит через толстый кристалл, который, не меняя характера муара, увеличивает эту картину. На рис. 1а приведена муаровая картина, образованная двухкристальной системой. Снимок получен на фотопластинке **5**, помещенной между вторым и третьим блоками. На рис. 1б приведена эта же картина на фотопластинке **6**, расположенной после третьего блока. Как видно, муаровых полос на фотопластинке не видно; они четко проглядываются только после третьего блока, т.е. после увеличения.

Аналогичный эффект получается при использовании трехблочной системы вместо двухблочной. На рис. 2 узкий пучок рентгеновских лучей падает на трехблочную систему кристаллов **1**, **2** и **3**. Пучки **7** и **8**, содержащие муаровую картину, падают на толстый совершенный кристалл **4**, а пучки, не участвующие в образовании муаровой картины, задерживаются экранами **5** и **6**.

На рис. 2а приведена муаровая картина, образованная трехкристальной системой (рис. 2). Снимок получен на фотопластинке **9**, помещенной между третьим и четвертым блоками. На рис. 2б приведена эта же картина на фотопластинке **10** после увеличения (после прохождения через четвертый блок).

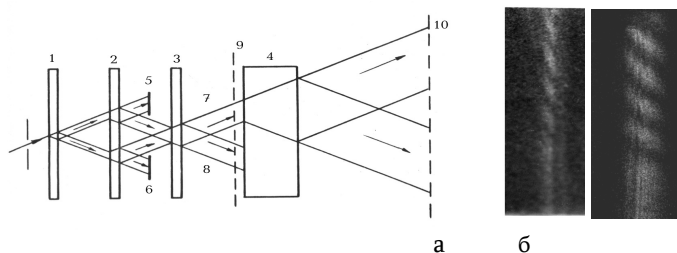


Рис. 2. Увеличение рентгеновских муаровых картин, полученных с помощью трехкристальной системы: а - муаровая картина, образованная трехкристальной системой; б - муаровая картина 2а после увеличения

Как видно, при прохождении пучков, содержащих муаровые картины, через толстый кристалл в положении отражения эти картины сильно увеличиваются, следовательно, значительно увеличивается разрешение системы.

2. Увеличение рентгено топографических картин

Увеличить можно не только муаровые, но и рентгено топографические картины. Это можно сделать, пропустив пучок, содержащий рентгено топографическую картину, полученную от тонкого исследуемого образца, через толстый совершенный кристалл в положении отражения.

На рис. 3 узкий рентгеновский пучок падает на исследуемый кристалл **1**. Дифрагированный пучок **2**, содержащий топографическую картину кристалла **1**, падает на толстый идеальный кристалл **3** в положении отражения, а прошедший

пучок задерживается экраном **4**. На рис. 3а показана топограмма, полученная от исследуемого образца **1** на фотопластинке **5**, а на рис. 3б - увеличенная топограмма, полученная на фотопластинке **6**.

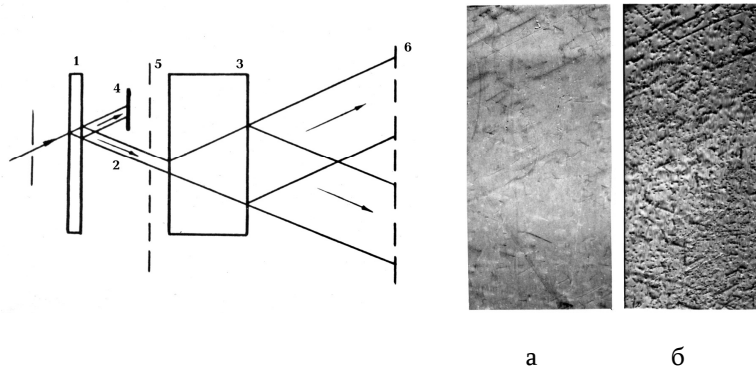


Рис. 3. Схема для увеличения рентгенотопографических картин:
а – топографическая картина, полученная без увеличения;
б – картина 3а после увеличения

Как видно, при прохождении пучка, содержащего дифракционную топографическую картину, через толстый кристалл в положении отражения происходит повышение разрешения этой картины.

Таким образом, схемы, показанные на рис. 1-3, фактически, являются схемами рентгеновских увеличителей (рентгеновских луп или микроскопов), которые дают возможность сильно увеличить рентгеноинтерференционные картины.

3. Рентгеновская дифракционная линза с большой оптической силой

В предыдущих разделах был предложен прибор для увеличения рентгеноинтерференционных и рентгенотопографических картин, которое практически не превышает двух порядков. Действительно, увеличение таких систем фактически определяется отношением толщин кристалла-анализатора (толстый совершенный кристалл, находящийся в положении отражения и установленный после системы тонких монокристаллов) и исследуемого образца (представляющего собой систему из нескольких тонких монокристаллов). Это увеличение из-за неминуемого поглощения рентгеновских лучей в анализаторе нельзя сделать большим. Дело в том, что увеличение по схеме, показанной на рис. 4 (где **1** – исследуемый кристалл, **2** – толстый совершенный кристалл, **3** – экран для задержки прошедшего пучка, **4** – рентгеновская фотопластинка), небольшое – картина ограничена в пределах треугольника SA_1B_1 , и ширина картины не больше, чем основание A_1B_1 этого треугольника. Увеличение определяется отношением AB/A_2B_2 или d_t/d_m , где d_m – суммарная толщина тонких кристаллов, d_t – толщина толстого кристалла, и его можно увеличить, уменьшая A_2B_2 .

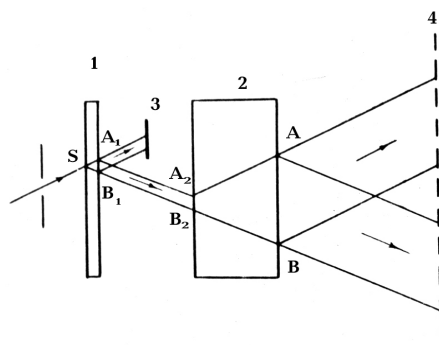


Рис. 4. Схема для увеличения рентгенодифракционных картин

Последнего можно достичь, пропуская последовательно отдельные части дифрагированного пучка $A_1A_2B_2B_1$ через специальную узкую щель, т. е. увеличивая картину по частям.

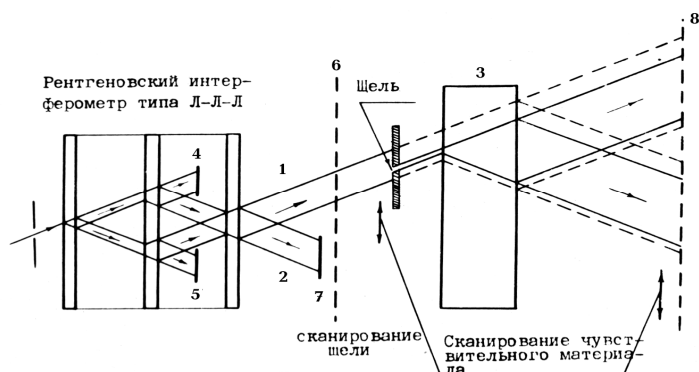


Рис. 5. Схема рентгеновской дифракционной линзы с большой оптической силой

Предлагается метод, дающий возможность повысить разрешение, по крайней мере, еще на порядок, т.е. увеличить рентгенодифракционные картины на три порядка, что очень важно как для науки, так и для производства. Действительно, если дифракционную картину увеличить по частям, то есть пропустить ее отдельные части через узкую щель (рис. 5), то получим дополнительное увеличение. Следовательно, повышается разрешение рентгено топографических и рентгеноинтерферометрических методов исследования совершенств кристаллов и динамических эффектов.

Дифрагированный рентгеновский пучок, содержащий информацию о структуре волнового поля системы тонких монокристаллов (муаровые узоры, топографические изображения дефектов в кристалле или различные картины динамических эффектов), пропускается последовательно по частям по ширине специальной узкой сканируемой щели, установленной между системой тонких монокристаллов и толстых монокристаллов, и фиксируется на рентгеновской пленке, которая расположена за толстым совершенным монокристаллом. Рентгеновская пленка сканируется син-хронно с щелью с определенным

соотношением скоростей, согласован-ным с параметрами системы $V_s/V_r=d_m/d_t$, где V_s и V_r - соответственно скорости перемещения щели и рентгеновской пленки.

Таким образом, щель при ее сканировании постепенно пропускает отдельные части пучка, дифрагированного в первом кристалле (или в системе тонких кристаллов), которые, проходя через толстый совершенный монокристалл в направлении отражения, претерпевают угловое увеличение. Если скорости сканирования выбрать так, чтобы их отношение удовлетворяло условию

$$V_r/V_s = S/S_1, \quad (2)$$

где S - основание треугольника Бормана; S_1 - ширина щели, т.е. ширина пучка, падающего на толстый идеальный монокристалл, то на рентгеновской пленке получим увеличенное изображение топограммы или различных картин динамических эффектов. Такая система дает значительное увеличение дифракционной картины, т.е. позволяет существенно повысить разрешающую способность рентгенодифракционных методов.

Итак, цель достигается тем, что через совершенный толстый кристалл, находящийся в положении отражения, с помощью специальной узкой сканируемой щели последовательно пропускаются отдельные части пучка вдоль ее ширины, содержащего информацию о дефектах структуры исследуемого образца или муаровые узоры, полученные от разных типов интерферометров, а окончательная картина фиксируется на сканируемой пленке.

4. Экспериментальная часть

Допустим, система тонких монокристаллов представляет собой трех-кристальный интерферометр типа Л-Л-Л, с помощью которого получаем муаровую картину (рис. 5). Узкий пучок рентгеновских лучей, проходя че-рез коллиматор с диафрагмой, падает на интерферометр. Пучки **1** и **2**, содержащие муаровые картины, падают на толстый совершенный моно-кристалл **3**, находящийся в положении отражения, а пучки, не участвующие в образовании муаровой картины, задерживаются экранами **4** и **5**. Для наглядности на рисунке показан ход лучей в толстом кристалле только для пучка **1** (пучок **2** задерживается экраном **7**).

На рис. 6а приведена муаровая картина, образованная трехкристальной системой. Снимок получен на рентгеновской пленке **6**, помещенной между третьим и четвертым блоками. На рис. 6б приведена та же картина, зарегистрированная на рентгеновской пленке **8** после увеличения (после прохождения через четвертый блок), без сканируемой щели и при неподвижной рентгеновской пленке, а на рис. 6в - эта же картина, зарегистрированная на рентгеновской пленке **8**, которая сканируется синхронно с щелью согласно соотношению скоростей, данному в (2). Как видно из рис.6б, при прохождении пучков, содержащих муаровые картины, через толстый кристалл в положении отражения они увеличиваются. Из рис.6в видно, что эффект увеличения гораздо сильнее выявляется при наличии

сканирующей щели. На рис. 5 пунктирные линии после щели показывают ход лучей в толстом совершенном кристалле при отсутствии щели.

Таким образом, схема, показанная на рис.5, фактически, является схемой рентгеновских увеличителей (микроскопов).



Рис. 6. Муаровая картина: а - образованная трехкристальной системой; б - увеличенная картина 5а без сканируемой щели и рентгеновской пленки; в - увеличенная картина 5а при сканируемой щели и рентгеновской пленке

Аналогичным образом можно получить увеличение интерференционных картин, полученных от интерферометров произвольного типа, а также повысить разрешение рентгенотопографических методов.

Этот эффект может применяться в таких областях физических исследований, как рентгенография микродефектов, рентгеновская спектроскопия, рентгеновская интерферометрия, прецизионный рентгеноструктурный анализ, а также для исследования тонкой структуры интерференционных картин. Может показаться, что интерференционные картины, наблюдаемые после увеличителя (идеально толстого кристалла), не существовали до него и образовались в нем, т.е. последний кристалл не играет роли увеличителя, а участвует в процессе образования этих картин.

В том, что последний толстый кристалл (увеличитель, рис.1- 5) только увеличивает линейные размеры дифракционной картины и не вносит никакой дополнительной информации в интерференционную картину, можно убедиться на основании следующих теоретических соображений и экспериментальных фактов:

1. Кристалл-увеличитель – толстый и идеальный, следовательно, поле, имеющее большой коэффициент поглощения, полностью исчезает, и в нем не возникает маятникового распределения интенсивности, а внутриполевое распределение, имеющее период, равный межплоскостному расстоянию отражающих плоскостей, вне кристалла не сохраняется. Далее, так как кристалл-увеличитель совершенный и на его топограмме не наблюдается изображения дефектов, то, исходя из вышесказанного, вытекает, что он не меняет характера распределения интенсивности в пучке, проходящем через него, уменьшает общую интенсивность, не изменяя интерференционной картины, но увеличивая ее угловые размеры в плоскости рассеяния.

2. Первичные муаровые картины (рис. 2а и 6а) и их увеличенные картины (картины, наблюдаемые после увеличителя, рис. 2б и 5в) отличаются только размерами в плоскости рассеяния.

3. Наконец, система, состоящая из двух близко расположенных тонких кристаллических пластинок и одного далеко расположенного толстого кристалла

(увеличитель), показывает, что после тонких пластинок интерференционная картина не видна (рис. 1а), но после толстого кристалла она наблюдается (рис. 1б). Можно убедиться, что эту интерференционную картину создает не толстый кристалл - это результат наложения волн на втором кристалле, полученных в первом тонком кристалле в результате расщепления первичной волны. Действительно, если удалить одну из этих тонких пластинок или увеличить расстояние между ними, то интерференционная картина, наблюдаемая после толстого кристалла, исчезнет.

Следовательно, интерференционная картина, наблюдаемая после толстого кристалла, возникла в подсистеме двух тонких кристаллов и стала видимой после увеличения.

Таким образом, последний опыт также убедительно показывает, что кристалл-увеличитель не вносит новой информации в интерференционную картину, а только увеличивает ее угловые размеры в плоскости рассеяния.

По результатам исследования мы приходим к следующим выводам: пропуская пучок, содержащий дифракционную информацию, через идеальный толстый кристалл в направлении отражения можно увеличить угловые размеры дифракционной картины в направлении дифракционного вектора, что приводит к значительному повышению разрешения рентгенодифракционных исследований; разработаны рентгенодифракционные линзы, с помощью которых увеличены рентгенографические и рентгеноинтерференционные картины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абоян А.О.** Исследование полей деформации в кристалле-анализаторе рентгеновского интерферометра, подвергнутого ионной имплантации // Изв. НАН РА, Физика. -2000.- Т.4.№ 4. – С. 212-219.
2. **Абоян А.О.** Рентгеноинтерферометрический метод определения плотности радиационных дефектов в монокристаллах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. -2000. – Т.66, № 6. –С.22-24.
3. **Authier A.** Acta geologica et geographica. Universities Gomenianse // Geologica, Bratislava. -1968. –Vol. 14. – P. 11 – 42.

Гюмрийский педагогический институт. Материал поступил в редакцию 30.09.2002.

Հ.Ռ. ԴՐՄԵՅԱՆ

ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ԴԻՖՐԱԿՏԻՈՆ ԽՈՇՈՐԱՑՈՒՑԻՉ

(ԴԻՖՐԱԿՏԻՈՆ ՈՍՊԵՏԱԿ - ԽՈՇՈՐԱՑՈՒՑՅԱԼ)

Պատրաստվել և կիրառվել է դիֆրակցիոն ուսպնյակ դիֆրակցիոն պատկերների խոշորացման համար: Մշակվել է ռենտգենադիֆրակցիոն պատկերների միկրոկառուցվածքների դիտման մեծ լուծաչափություն ապահովող եղանակ:

G.R. DRMEYAN

X-RAY DIFFRACTION MAGNIFIER (DIFFRACTION LENS-MAGNIFIER)

A diffraction lens is prepared and applied to magnify diffraction patterns. A method providing high resolution on observation pattern microstructures is developed.

А.Г. АМБАРЦУМЯН, Б.В. ПЕТРОСЯН, Г.Г. АКОПЯН, Ю.Г. КРДЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВАРКИ ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМИСТЫХ СТЕКОЛ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ГАРНИСАЖНОЙ ПЕЧИ ПРЯМОГО НАГРЕВА

Обсуждаются технологические вопросы процессов варки и выработки высококремнеземистых стекол в электрической гарнисажной печи прямого нагрева, связанные с пуском печи, качеством шихты и стекла, находящегося под слоем шихты. Показано, что при варке некоторых составов стекол для получения качественного стекла можно перейти к прерывистому действию работы печи.

Ключевые слова: гарнисаж, шихта, шихтный слой, варка стекла.

Электрические гарнисажные печи прямого нагрева (ЭГППН) для варки стекла впервые описаны в [1]. В [2] приведены результаты исследований по варке стекол в ЭГППН небольшой производительности. Первоначально в этих печах были сварены тугоплавкие стекла с содержанием SiO_2 до 89,5 масс.%, температурой варки до 2000°C , температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) от 10×10^{-7} до $25 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ и температурой начала деформации ($T_{\text{нд}}$) 950°C , используемые в высокоинтенсивных источниках света (ВИС) в качестве переходных при спаивании кварцевого стекла с вольфрамом или молибденом для изготовления тугоплавких изоляционных покрытий в космических летательных аппаратах [2,3].

В настоящее время конструкция этой печи несколько видоизменена по сравнению с первоначальной [2], что дает возможность варить в ней стекла различной тугоплавкости от высококремнеземистых (ВКС) с $T_{\text{нд}} \sim 1050^\circ\text{C}$ до легкоплавких.

Указанные конструктивные изменения в основном касались молибденовых электродов и выпускной трубки [4].

На рисунке приведено расположение трех фазовых электродов 3 относительно центрального (нулевого) электрода 1, выполненного в виде треугольной призмы с отверстием 2, служащим для съема готовой стекломассы из печи.

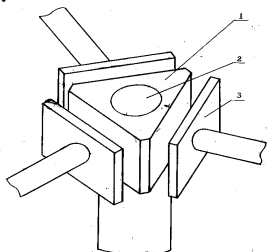


Рис.
402

Такая конструкция электродов выгодно отличается от предыдущей легкостью изготовления.

Для обеспечения варки стекол различной тугоплавкости в указанной ЭГППН, наряду с конструктивными изменениями, проводились мероприятия технологического характера.

Опыты показали, что для уменьшения пускового периода печи, т.е. ускорения времени плавки межэлектродного легкоплавкого “пускового” стекла, следует параллельно включить индукционный нагрев выпускной трубки, который способствует дополнительному разогреву центрального электрода. Таким разогревом можно пользоваться также и после аварийных остановок ЭГППН для быстрого восстановления нормального режима печи.

Процесс варки стекла в ЭГППН проходит под слоем шихты, что дает возможность значительно сократить улетучивание легколетучих компонентов стекла, обеспечивая получение однородного стекла стабильного состава. Под шихтным слоем находится слой стекломассы над центральным электродом, наличие которого при определенной толщине над электродами способствует стабильной работе печи и получению гомогенной, осветленной стекломассы. При варке стекол различной тугоплавкости в ЭГППН особое значение приобретает высота уровня этого слоя стекломассы.

Обычно задача создания такого слоя связана с установлением равновесия между скоростью варки и выработки стекла. Для стекол различной тугоплавкости решение этой задачи связано также с технологическими особенностями варки данного стекла. Например, при варке легкоплавких стекол из-за сильных конвекционных потоков слой стекломассы над электродами необходимо держать достаточно большим для непопадания непроварившихся частиц шихты в готовое стекло. Для тугоплавких же стекол типа ВКС повышенный уровень стекломассы над электродами создает опасность образования слоя спекшейся шихты в виде неподвижной твердой корки по всей поверхности печи. При дальнейшей выработке стекла, вследствие снижения уровня стекломассы, может произойти отрыв последней от шихтной корки. Дальнейшее снижение уровня стекломассы может привести к оголению электродов.

Наиболее рациональным способом устранения образования шихтной корки является ускорение процесса варки ВКС, что осуществляется применением измельченного кварцевого песка (т.н. кварцевой крупки). Снижение уровня стекломассы для устранения процесса образования шихтной корки хотя является эффективным способом, однако крайне нежелательно, т.к. при этом разъедание электродного материала может достигнуть значительных размеров. Так, например, при варке ВКС с содержанием SiO_2 до 96 масс.% и низком уровне стекломассы над верхней кромкой электродов (центрального и трех фазовых) разъедание составляло ~ 15%. При этом разъедание в верхних частях электродов, близких к верхнему уровню стекломассы, значительно больше, чем в нижних. Аналогичное явление наблюдается и при варке нетугоплавких стекол, однако оно выражено слабее. Это дает основание полагать, что разъедание молибденовых электродов является

результатом взаимодействия последних с растворенными в стекле газами, особенно кислородом.

Таблица

Стекло	Температура варки, °C	T _{нд} , °C	Уд.расход электро-энергии, кВт/кг	Высота стекломассы над электродами, см
БАГ-2 (SiO ₂ -96%)	~2100	1050	~14	5-7
C88-5	1450	550	~3,5	10-12
Легкоплавкое стекло	1300	~400	2,6	15

В таблице приведены некоторые данные из опыта варки стекол различной тугоплавкости в ЭГППН. Эти данные не претендуют на абсолютную точность, т.к. зависят от производительности печи, состава шихты и стекла и других факторов, однако они дают общую картину особенностей варки стекол различной тугоплавкости в ЭГППН.

При варке некоторых боросиликатных стекол, склонных к микроликвации, для получения стекла без опалесценции и глушения применяется прерывный способ, т.е. прекращается выработка стекла, загружается необходимое количество (порция) шихты, и лишь после выдержки соответствующего электрического режима варки (температуры) в течение определенного времени, которое определяется опытным путем, начинается выработка стекла. Этот способ связан с некоторым снижением производительности, однако он обеспечивает получение качественного стекла. Периодическую выработку стекла иногда необходимо применять при выработке ВКС в виде трубок для оболочек ВИС, к которым предъявляются определенные требования по однородности и пузырности.

В рассматриваемой ЭГППН выработка стеклотрубок осложняется тем, что снижение температуры по выпускной трубке от зоны трехфазных электродов до выступающей части, где она подвергается индукционному нагреву, происходит неравномерно и имеет температурный минимум на уровне дна печи, где последнее подвергается сильному охлаждению [2]. При этом необходимо, чтобы вытягивание стекла происходило в интервале температур, охватывающих изменение вязкости до 10⁷ пуаз. Это означает, что для ВКС с содержанием SiO₂ до 96 масс% (стекло БАГ-2), температурная зависимость вязкости которого выражается уравнением

$$\lg \eta = -4,068 + 20703,9 / T,$$

где η – вязкость пуазы, T – температура, K, соответствующая вязкости 10⁷ пуаз, будет 1600°C, т.е. формование стеклотрубок должно осуществляться при температурах, выше полученной.

Приведенные выше технологические особенности варки стекол в ЭГППН небольшой производительности по-разному могут проявляться в печах иной конструкции и производительности.

Данная ЭГППН при определенных конструктивных изменениях печи и соответствующем технологическом подходе к выработке стекол дает возможность варки более широкого спектра составов стекол.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент Франции №1297789 (1962), I.M.Y. le Clerc de Bussy, Verres et Refractaires, 1972, 26 (2), 66-77.
2. **Костянян К.А., Мелик-Ахназаров А.Ф.** и др. Электрические гарнисажные печи для стекловарения.- Ереван: Айастан, 1979. - 96 с.
3. **Howard E. Goldstein, Leiser D.B. and Katvala V.** Reaction cured borosilicate glass coating for low-density fibrous silica insulation. Borate Glasses: Materials science research. Volume 12. Plenum press, New York and London, 1978 - P.623-634.
4. **Հակոբյան Հ.Գ., Համբարձումյան Ա.Գ., Կոստանյան Կ.Ա.** Գարնիսաժային էլեկտրական վառարան: Գյուտի արտոնագիր N 965, 10.06.2001:

НППМ. Материал поступил в редакцию 09.07.2002.

**Ա.Գ. ՀԱՄԲԱՐԶՈՒՄՅԱՆ, Բ.Վ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Գ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ,
ՅՈՒ.Գ. ԿՐԴՅԱՆ**

**ԲԱՐՁՐ ՍԻԼԻԿԱԶՈՂԱՅԻՆ ԱՊԱԿԻՆԵՐԻ ԵՓՄԱՆ ՈՐՈՇ
ԱՌԱՆՁԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՈՒՂՂԱԿԻ ՏԱՔԱՑՄԱՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ԳԱՐՆԻՍԱԺԱՅԻՆ ՎԱՌԱՐԱՆՈՒՄ**

Քննարկվում են գործողության մեջ գտնվող ուղղակի տաքացման էլեկտրական գարնիսաժային վառարաններում բարձր սիլիկահող պարունակող ապակիների եփահալման տեխնոլոգիական հարցերը՝ կապված վառարանի թողարկման, հումքախառնուրդի և նրա տակ գտնվող ապակու շերտի հաստությունների և մշակվող ապակու որակի հետ: Ցույց է տրված, որ մի շարք ապակիների եփահալման ժամանակ որակյալ արտադրանքի ստացման համար կարելի է անցնել վառարանի ընդհատ գործողությանը:

A.G.HAMBARDZUMYAN, B.V. PETROSYAN, H.G. HAKOBYAN, JU.G.KRDYAN

**SOME FEATURES OF HIGH SILICEOUS GLASS MELTING IN ELECTRICAL
GARNISSAGE FURNACE OF DIRECT HEATING**

Technological problems of melting and output of highsiliceous glasses in electrical garnissage furnace of direct heating, connected with furnace start, charge and quality and thickness of glass located under charge layer are discussed. It was shown that for several glasses the furnace intermittent operating conditions can be used for obtaining good quality glasses.

Г.Б. ГРИГОРЯН, Г. Г. ГРИГОРЯН

МОНОПРОЦЕСС АВТОГЕННОЙ ПЛАВКИ МЕДНО-СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА АРМЕНИИ

Дается обоснование технологии прямого получения меди путем самосжигания и плавления медно-сульфидного концентрата. Предложен оптимальный вариант автогенного монопроцесса с его основными технологическими условиями. Показано, что концентрат одновременно является источником тепловой энергии.

Ключевые слова: технология, концентрат, самоплавка, металлы, энергия.

Армения богата разнообразными рудными и нерудными сырьевыми ресурсами, эффективное использование которых является важной экономической задачей. Учитывая, что богатство недр республики является национальным достоянием, очевидна необходимость организации их переработки с извлечением всех ценных компонентов сырья. Однако в условиях отсутствия эффективной технологии и перерабатывающего предприятия с требуемой производительностью выпускаемые медные, молибденовые и другие сульфидные концентраты в основном реализуются за пределами республики, что экономически нецелесообразно и не отвечает национальным интересам.

Известные многостадийные процессы не обеспечивают возможность использования тепловой энергии и сопутствующих ценностей концентрата [1-3]. Физико-химические свойства сульфидного концентрата определяют преимущественную пригодность известной автогенной плавки концентрата с последующим жидкофазным окислением штейна в конвертере на черновую медь. Однако двухстадийность данной технологии также снижает эффективность переработки концентрата [2].

В определенных технологических условиях проведения автогенной плавки можно получить черновую медь, минуя конвертерный процесс. С этой целью исследовались возможности разработки одностадийной автогенной монотехнологии прямого получения меди.

Эксперименты проводились на сульфидных концентратах Капана, имеющих следующий химический состав (%):

17 Си; 32,44 S; 31,5 Fe; 9,46 SiO₂; 3,76 Al₂O₃; 1,5 CaO; 1,5 MgO; 2,84 CO₂.

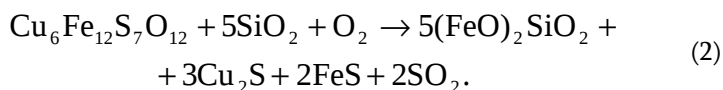
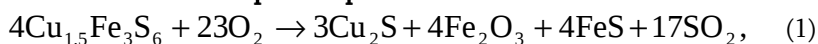
В качестве флюсовой добавки использовался кварцевый песок с содержанием 92% SiO₂.

Принцип автогенной монотехнологии заключается в одновременном проведении процессов самосжигания и плавления концентрата с получением газшлакометаллических смешанных продуктов в факеле и их последующим

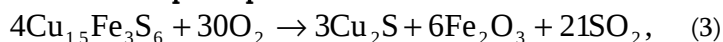
разделением в реакторе. Так как изучение указанных совмещенных процессов в одном лабораторном реакторе практически невозможно, исследования проводились методом имитации: вначале раздельное твердофазное окисление концентрата (реакции 1,3,5,7), далее плавление полученного огарка (реакции 2,4,6,8).

Прямое получение меди зависит от содержания серы и связанного кислорода в огарке. Для выявления указанной зависимости проводились четыре варианта экспериментов с различным содержанием серы и связанного кислорода в огарке по реакциям:

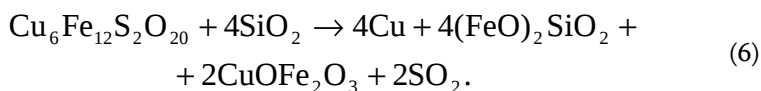
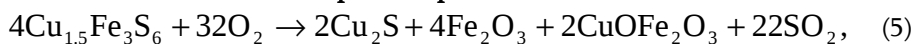
Первый вариант



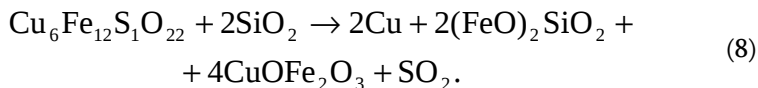
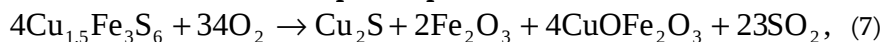
Второй вариант



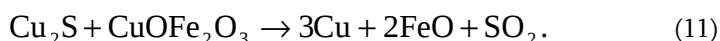
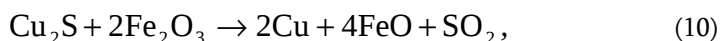
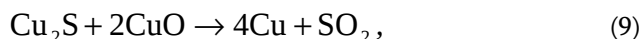
Третий вариант



Четвертый вариант



Выделение меди при плавке огарка (реакции 4,6,8) происходит при взаимодействии сульфида меди с оксидами меди и железа по упрощенным реакциям:



Продолжительность окисления концентрата составила 90...240 мин при температуре 815...850° С. Содержание серы в огарке колебалось в пределах 0,2...18%, а содержание связанного кислорода - в пределах 0,1...12%. Степень обессеривания концентрата составила 44...99,4%. Из силикатного песка и огарка приготавливался требуемый состав навесок массой 200 грамм для лабораторных плавки. Плавки проводились в тиглях из оксида алюминия в лабораторных печах при температуре 1350...1450°С. Эксперименту подвергались навески следующего состава, %:

18-19 Cu; 1,9-14 S; 43-46 FeO; 12,5-16,5 SiO₂; 4,3-4,4 Al₂O₃ + CaO + MgO; 3,8-11,6 O₂. В навеске с низким содержанием серы наблюдалось высокое содержание связанного кислорода и наоборот (рис.1).

Как видно из результатов опытных плавов (рис.1), медь максимально выделяется в условиях второго варианта (реакции 3 и 4), где содержание серы и кислорода в навеске одинаково и составляет 6,4%. За пределами этого содержания медь либо накапливается в сульфидах (рис.1, вариант 1, реакции 1 и 2), либо окисляется и переходит в шлак (рис.1, варианты 3 и 4, реакции 5-8). На практике факельный совмещенный процесс самосжигания (реакции 1,3,5,7) и плавления (реакции 2,4,6,8) концентрата осуществляется шихтовой горелкой специальной конструкции.

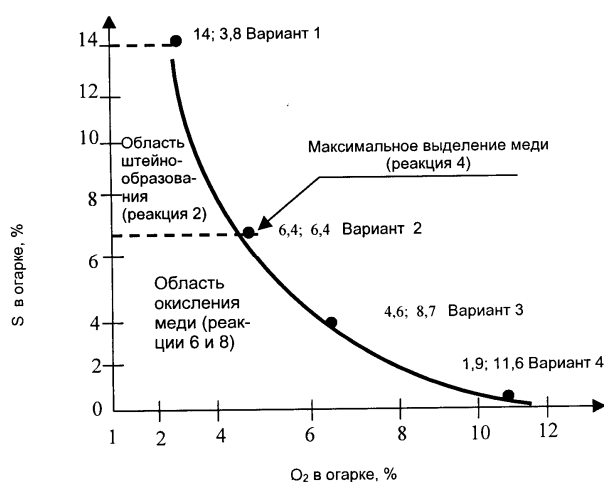
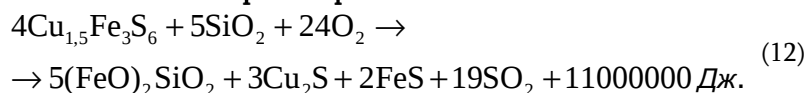


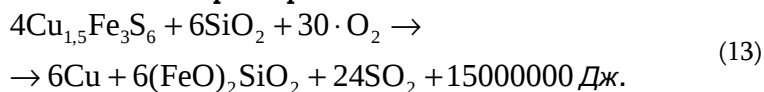
Рис.1. Серо-кислородные параметры плавки огарка (1,9...14% S и 3,8 ... 11,6 O₂)

Основные суммарные реакции совмещенного процесса:

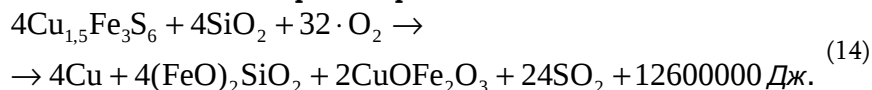
Первый вариант



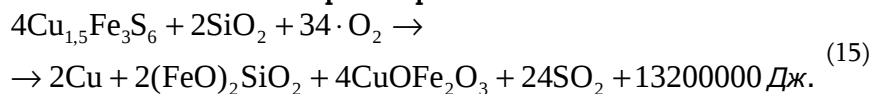
Второй вариант



Третий вариант



Четвертый вариант



Тепловые эффекты реакции рассчитаны известным методом [4]. В лабораторных экспериментах при температуре 1200 (С и ниже в мягченно-тестообразной навеске выделения меди не происходило, следовательно, не имело место взаимодействие сульфида меди и окислов по реакциям 4,6,8-11. Металлическая медь выделялась после полного расплавления навески и выдержки расплава в тигле. Отсюда следует, что в условиях совмещенного процесса в факеле выделения меди по реакции (13) маловероятно, оно должно происходить в накопленном расплаве реактора.

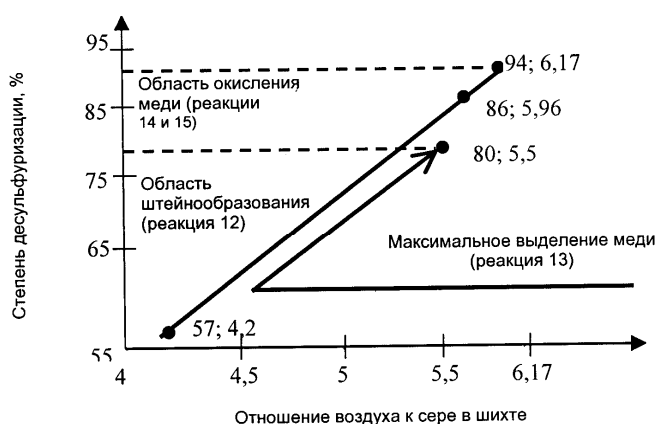


Рис.2. Условия автогенной плавки концентрата

Предлагаются следующие основные условия проведения совмещенного процесса по реакции (13): степень десульфуризации 80 %, отношение воздуха к сере в шихте 5,5 (рис. 2, вариант 2). За пределами указанных условий имеет место либо штейнообразование, и медь переходит в штейн (рис. 2, вариант 1, реакция 12), либо медь окисляется и переходит в шлак (рис. 2, варианты 3 и 4, реакции 14 и 15).

Таким образом, второй вариант более оптимален, так как обеспечивает максимальное извлечение меди 94,0 % с получением легкоплавкого фаялитового шлака и выделением большего количества тепла (рис.2, реакция 13).

Горючая масса m_{mes} в P_k концентрате определяется по уравнению $m_{\text{mes}} = 0,0158 P_k (\text{Cu} + \text{S})$. При $P_k = 100$ кг, содержании в концентрате 17% Си и 32,44% S горючая масса составит 78%.

Согласно реакции (13), в результате сжигания горючей массы выделяется 8300 кДж /кг тепла, или, с учетом содержания горючей массы 78 %, теплотворность концентрата составит 6500 кДж/кг. В приходной части теплового баланса монопроцесса первичное тепло самосжигания сульфидов составляет 97,5 % и обеспечивает самоплавку концентрата [5]. В расходной части баланса 21% тепла концентрируется в шлаке, 63% - в сернистых газах, что в сумме составляет 84% вторичного тепла и также подлежит использованию [5]. С учетом имеющихся

проектных мощностей обогатительных фабрик Армении годовой выпуск концентратов составит 250000 тонн.

При организации переработки этих концентратов предлагаемым автогенным монопроцессом на местах их производства, кроме меди, золота, серебра и других сопутствующих ценностей, республика может иметь в год $16 \cdot 10^{11}$ кДж тепловой энергии или 52 МВт, или сэкономить 56000 т условного топлива. Это все предопределяет технико-экономическую выгодность практической реализации предлагаемого монопроцесса в Армении, а также его использования в Арцахе, где начато промышленное освоение Дрмбонского золото-медного рудника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Снурников А. П.** Комплексное использование минеральных ресурсов в цветной металлургии.-М.: Металлургия, 1986. – 384 с.
2. **Ванюков А. А., Уткин Н.И.** Комплексная переработка медного и никелевого сырья. - М.: Металлургия, 1988.- 400 с.
3. **Григорян Г.Б.** Комплексное использование металлургического сырья, вторичных энергоресурсов и охрана окружающей среды / Армупрцветмет. - Ереван, 1983. - 95 с.
4. **Крестовников А. Н.** и др. Справочник по расчетам равновесий металлургических реакций. - М.:Металлургия, 1963.- 416 с.
5. **Григорян Г. Б., Григорян Г. Г.** Теплотворность сульфидных концентратов Армении // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1998. – Т.51, №3. - С. 382 - 385.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.02.1999.

Գ.Բ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Գ. Գ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊՂԻՆԶ-ՍՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ ՀԱՐՍՏԱՆՅՈՒԹԻ ԱՎՏՈԳԵՆ ՀԱԼՄԱՆ ՄՈՆՈԳՈՐԾՆԹԱՅԸ

Հիմնավորված է պղնձի ուղղակի ստացման հնարավորությունը պղինձ-սպի-սուլֆիդային հարստանյութի ջահային ինքնայրումով և հալումով: Առաջարկված է մոնոգործընթացի լավարկված տարբերակը՝ հիմնական տեխնոլոգիական պայմաններով: Խտանյութը դիտարկվում է նաև որպես էներգիայի աղբյուր:

G.B. GRIGORIAN, Gr.G. GRIGORIAN COPPER - SULPHIDE CONCENTRATE AUTOGENOUS SMELTING MONOPROCESS IN ARMENIA

Direct copper obtaining by copper - sulphide concentrate selfburning and smelting process is grounded. The optimal autogenous monoprocess variation along with its main technological conditions is proposed. It is shown that the concentrate at the same time is the source of energy.

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

КОРРЕКЦИЯ Y-Z ДИАКОПТИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ ИСХОДНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается метод коррекции диакоптической Y-Z расчетной матрицы в случае, когда меняется структура исходной ЭЭС. Данный метод обеспечивает высокую маневренность и нуждается в малом объеме вычислительных работ при решении установившегося режима, когда состояние сети задается в Y-Z форме.

Ключевые слова: матрица, узел, нагрузка, система, сопротивление, напряжение, ток.

В настоящее время для решения режимных вопросов больших и сложных электроэнергетических систем (ЭЭС) перспективным направлением является диакоптический метод или метод декомпозиции [1-4]. Наряду с этим широкое применение получили методы решения уравнений установившегося режима при Y-Z форме задания состояния сети [5-10]. В связи с этим для решения режимных вопросов требуется сочетание Y-Z и диакоптических методов. Для обеспечения необходимой маневренности большое теоретическое и практическое значение имеет вопрос коррекции Y-Z диакоптической матрицы при изменении первоначальной пассивной части ЭЭС, чему и посвящена настоящая работа.

Представляя заданную ЭЭС, состоящую из M+1 узлов, в виде совокупности радиально связанных N подсистем, получим уравнение состояния [2]

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{i_1} \\ \dot{U}_{i_2} \\ \dots \\ \dot{U}_{i_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{Bi_1} \\ \dot{U}_{Bi_2} \\ \dots \\ \dot{U}_{Bi_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{i_1j_1} & \dots & \dots \\ \dots & Z_{i_2j_2} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & Z_{i_Nj_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{j_1} \\ \dot{I}_{j_2} \\ \dots \\ \dot{I}_{j_N} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\dot{U}_i = (\dot{U}_{i_1}, \dot{U}_{i_2}, \dots, \dot{U}_{i_N})$; $\dot{I}_j = (\dot{I}_{j_1}, \dot{I}_{j_2}, \dots, \dot{I}_{j_N})$; $\dot{U}_B = (\dot{U}_{Bi_1}, \dot{U}_{Bi_2}, \dots, \dot{U}_{Bi_N})$ - многомерные векторы комплексных напряжений, токов и базисных напряжений радиально связанных подсистем; $Z_{ij} = (Z_{i_1j_1}, Z_{i_2j_2}, \dots, Z_{i_Nj_N})$ - неособенные квадратные матрицы узловых сопротивлений тех же подсистем.

Компоненты многомерного вектора $\dot{U}_B$ определяются на основе выражений (2)-(6), приведенных в [6].

Представим диакоптическую модель (1) в развернутой форме

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\mathbf{U}}_{i_1} = \dot{\mathbf{U}}_{\mathcal{B}_{i_1}} + \mathbf{Z}_{i_1,j_1}\dot{\mathbf{j}}_{j_1}, \\ \dot{\mathbf{U}}_{i_2} = \dot{\mathbf{U}}_{\mathcal{B}_{i_2}} + \mathbf{Z}_{i_2,j_2}\dot{\mathbf{j}}_{j_2}, \\ \\ \dot{\mathbf{U}}_{i_N} = \dot{\mathbf{U}}_{\mathcal{B}_{i_N}} + \mathbf{Z}_{i_N,j_N}\dot{\mathbf{j}}_{j_N}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Здесь $i, j = (i_1 j_1; i_2 j_2; \dots; i_N j_N)$ - система индексов большой ЭЭС как совокупность индексов отдельных подсистем.

Для дальнейшего изложения материала принимается следующая дополнительная система индексов:

- для стационарных узлов:

$$m(n) = m_1(n_1), m_2(n_2), \dots, m_N(n_N); \quad (3)$$

- для нагрузочных узлов:

$$\mathbf{k}(\ell) = \mathbf{k}_1(\ell_1), \mathbf{k}_2(\ell_2), \dots, \mathbf{k}_N(\ell_N). \quad (4)$$

При этом можем написать

$$i(j) = m(n), (k, \ell). \quad (5)$$

Систему индексов для отдельных подсистем можно представить в виде

$$\begin{aligned} i_1(j_1) &= m_1(n_1), k_1(\ell_1), \\ i_2(j_2) &= m_2(n_2), k_2(\ell_2), \\ &\dots\dots\dots \\ i_N(j_N) &= m_N(n_N), k_N(\ell_N). \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом выбранной системы индексов подматричное уравнение первой подсистемы из (2) можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{m}_1} \\ \dot{\mathbf{U}}_{\ell_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{E}_1} \\ \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{E}_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1 \mathbf{n}_1}}{\mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{n}_1}} \left| \frac{\mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1 \mathbf{k}_1}}{\mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{k}_1}} \right| \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}_1} \\ \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{k}_1} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

В развернутой форме подматричное уравнение (7) имеет вид

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{m}_1} = \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{B}_1} + \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1\mathbf{n}_1} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}_1} + \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1\mathbf{k}_1} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{k}_1}, \\ \dot{\mathbf{U}}_{\ell_1} = \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{B}_1} + \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{n}_1} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}_1} + \mathbf{Z}_{\ell_1\mathbf{k}_1} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{k}_1}. \end{cases} \quad (8)$$

На основании системы (8) строится Z-Y форма уравнений установившегося режима:

$$\left[\frac{\dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{m}_1}}{\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{k}_1}} \right] = \left[\frac{\dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{B}_1}}{\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{B}_1}} \right] + \left[\frac{\mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1 \mathbf{n}_1} - \mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1 \mathbf{k}_1} \mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{k}_1}^{-1} \mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{n}_1}}{-\mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{k}_1}^{-1} \mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{n}_1}} \middle| \frac{\mathbf{Z}_{\mathbf{m}_1 \mathbf{k}_1} \mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{k}_1}^{-1}}{\mathbf{Z}_{\ell_1 \mathbf{k}_1}^{-1}} \right] \left[\frac{\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}_1}}{\dot{\mathbf{U}}_{\ell_1}} \right]. \quad (9)$$

Полученное матричное уравнение называется гибридным, поскольку в квадратной матрице постоянных фигурируют обобщенные параметры как типа Z , так и типа Y .

Для обеспечения компактности записи матричного уравнения (9) принимаются также следующие обозначения:

$$\begin{aligned} Z_{m_1, n_1} &= Z_{m_1 n_1} - Z_{m_1 k_1} Y_{\ell_1 k_1} Z_{\ell_1 n_1}, \\ \dot{B}_{m_1, \ell_1} &= Z_{m_1 k_1} \cdot Y_{\ell_1 k_1}, \\ \dot{A}_{k_1, n_1} &= -Y_{\ell_1 k_1} \cdot Z_{\ell_1 n_1}, \\ Y_{k_1, \ell_1} &= Z_{k_1, \ell_1}^{-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

При этом матричное уравнение (9) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_1} \\ \dot{I}_{B_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1, n_1} | \dot{B}_{m_1 k_1} \\ \dot{A}_{\ell_1 n_1} | Y_{k_1 \ell_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \dot{U}_{\ell_1} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B_1} &= \dot{U}_{B_{m_1}} - Z_{m_1 k_1} Y_{\ell_1 k_1} \dot{U}_{B_{\ell_1}}, \\ \dot{I}_{B_1} &= -Y_{\ell_1 k_1} U_{B_{\ell_1}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для второй подсистемы можем написать

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_2} \\ \dot{I}_{k_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_2} \\ \dot{I}_{B_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_2, n_2} | \dot{B}_{m_2 k_2} \\ \dot{A}_{\ell_2 n_2} | Y_{k_2 \ell_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_2} \\ \dot{U}_{\ell_2} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} Z_{m_2, n_2} &= Z_{m_2 n_2} - Z_{m_2 k_2} Y_{\ell_2 k_2} Z_{\ell_2 n_2}, \\ \dot{B}_{m_2, \ell_2} &= Z_{m_2 k_2} \cdot Y_{\ell_2 k_2}, \\ \dot{A}_{k_2, n_2} &= -Y_{\ell_2 k_2} \cdot Z_{\ell_2 n_2}, \\ Y_{k_2, \ell_2} &= Z_{k_2, \ell_2}^{-1}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B_2} &= \dot{U}_{B_{m_2}} - Z_{m_2 k_2} Y_{\ell_2 k_2} \dot{U}_{B_{\ell_2}}, \\ \dot{I}_{B_2} &= -Y_{\ell_2 k_2} U_{B_{\ell_2}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Если аналогичное выражение написать для N -й подсистемы, получим

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_N} \\ \dot{I}_{k_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_N} \\ \dot{I}_{B_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_N, n_N} | \dot{B}_{m_N k_N} \\ \dot{A}_{\ell_N n_N} | Y_{k_N \ell_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_N} \\ \dot{U}_{\ell_N} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где

$$\begin{aligned} Z_{m_N, n_N} &= Z_{m_N n_N} - Z_{m_N k_N} Y_{\ell_N k_N} Z_{\ell_N n_N}, \\ \dot{B}_{m_N, \ell_N} &= Z_{m_N k_N} \cdot Y_{\ell_N k_N}, \\ \dot{A}_{k_N, n_N} &= -Y_{\ell_N k_N} \cdot Z_{\ell_N n_N}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} Y_{k_N, \ell_N} &= Z_{k_N, \ell_N}^{-1}, \\ \dot{U}_{B_N} &= \dot{U}_{B m_N} - Z_{m_N k_N} Y_{\ell_N k_N} \dot{U}_{B \ell_N}, \\ \dot{I}_{B_N} &= -Y_{\ell_N k_N} U_{B \ell_N}. \end{aligned} \quad (18)$$

Для рассматриваемой ЭЭС блочно-диагональное матричное уравнение можно представить в форме

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_m \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_1} \\ \vdots \\ \dot{U}_m \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_b \\ \vdots \\ \dot{I}_b \\ \vdots \\ \dot{U}_b \\ \vdots \\ \dot{I}_{b_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1, n_1} & \dot{A}_{m_1, \ell_1} & & \\ \vdots & \vdots & & \\ \dot{B}_{k_1, n_1} & Y_{k_1, \ell_1} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ & & & Z_{m_N, n_N} & \dot{A}_{m_N, \ell_N} \\ & & & \dot{B}_{k_N, n_N} & Y_{k_N, \ell_N} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \vdots \\ \dot{U}_{\ell_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{n_N} \\ \vdots \\ \dot{U}_{\ell_N} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

9) Фактически форма записи (19) представляет совокупность систем уравнений "напряжение - ток"

"Поскольку относительно независимых узлов задаются активные и реактивные мощности, то целесообразно перейти из формы "напряжение-ток" к форме записи "активная-реактивная" мощности. При этом блочно-диагональная форма (19) принимает в

$\begin{aligned} F_{pm_i}(I'_{n_i}, I''_{n_i}) &= 0 ; \\ F_{qm_i}(I'_{n_i}, I''_{n_i}) &= 0 ; \\ F_{pk_i}(U'_{\ell_i}, U''_{\ell_i}) &= 0 ; \\ F_{qk_i}(U'_{\ell_i}, U''_{\ell_i}) &= 0 ; \end{aligned}$	$\dots$	$.(20)$
$\begin{aligned} F_{pm_n}(I'_{n_n}, I''_{n_n}) &= 0 ; \\ F_{qm_n}(I'_{n_n}, I''_{n_n}) &= 0 ; \\ F_{pk_n}(U'_{\ell_n}, U''_{\ell_n}) &= 0 ; \\ F_{qk_n}(U'_{\ell_n}, U''_{\ell_n}) &= 0 . \end{aligned}$	$\dots$	

0)Предположим, произошло структурное изменение в первой подсистеме вследствие подключения линий А, В и С, D между соответствующими узлами. Коррекция Z матрицы первой подсистемы осуществляется на основании следующей формул

$$Z_{ij}^L = \frac{1}{\Delta} \left\{ (Z_{iA} - Z_{iB}) [\Delta_{CD} (-Z_{Aj} + Z_{Bj}) + \Delta_{ABCD} (-Z_{Cj} + Z_{Dj})] + (Z_{iC} - Z_{iD}) [\Delta_{ABCD} (-Z_{Aj} + Z_{Bj}) + \Delta_{AB} (-Z_{Cj} + Z_{Dj})] \right\}, \quad \text{БГ:} \quad (2)$$

1)Г

$$\begin{aligned} \Delta_{AB} &= Z^{AB} + Z_{AA} + Z_{BB} - 2Z_{AB}, \\ \Delta_{CD} &= Z^{CD} + Z_{CC} + Z_{DD} - 2Z_{CD}, \\ \Delta_{ABCD} &= Z_{BC} + Z_{AD} - Z_{BD} - Z_{AC} \quad \text{де} \quad (2) \\ \Delta &= \Delta_{AB} \Delta_{CD} - \Delta_{ABCD}^2 \quad \text{),} \quad (2) \\ Z_{ij}^L &= \frac{(Z_{iA} - Z_{iB})(-Z_{Aj} + Z_{Bj})}{Z^{AB} + Z_{AA} + Z_{BB} - 2Z_{AB}} \quad \text{),} \quad (2) \end{aligned}$$

$$Z_{i_k j_k}^H = Z_{i_k j_k}^\Pi + \Delta Z_{i_k j_k}^\Delta \quad \text{),} \quad (2)$$

6)Элементы дополнительной матриц $\Delta Z_{i_k j_k}^\Delta$ определяются формулами (21)-(24). В случае, если подключается одна ветвь, необходимо воспользоваться выражением (25). Устанавливая окончательную структуру Y-Z подматрицы первой подсистемы, переходим к построению диакоптической матрицы и осуществляем расчет установившегося режим

Аналогичным способом можем поступить с другими подсистемами, уточняя их структуры, а затем и структуры кибернетической матриц

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Суханов О.А.** Диакоптика и задача определения обобщенных параметров больших энергосистем // Электричество .- 1973.-№0 4.-С.1-10
2. **Хачатрян В.С.** Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1974.-№0 4.- С.36-43
3. **Гераскин О.Т., Селенков Т.Г.** Решение уравнений установившихся режимов больших электроэнергетических систем в Y – диакоптической форме итерационным методом Ньютона-Рафсона на многопроцессорных ЭВМ // Изв. вузов СССР. Энергетика.- 1994.- №0 9-10.-С. 13-2
4. **Салливан Р.Р.** Проектирование развития электроэнергетических систем. - М.: Энергоиздат.-1982.-357 с.
5. **Хачатрян В.С., Аль-Дарвиш М. Б.**Решение Y-Z формы уравнений установившегося режима электроэнергетической системы с применением матрицы Гессе // Изв. НАН РА и ГИУА.- Сер. ТН. - 1997.-Т.50,№0 3. - С.194-203
6. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество .- 1987.-№0 3.-С.6-13
7. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П.** Решение (Y-Z)-уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1997.-Т. 50,№0 2.-С. 96-103
8. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Бадалян Н.П.** Решение гибридных уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом диакоптики // Электричество .- 1999.-№0 4.-С.7-12
9. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П., Хачатрян К. В., Гулян А. Г.** Решение систем гибридных уравнений установившегося режима ЭЭС при смешанном типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т. 54,№0 2.- С. 210-217.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.08.200

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Մ.Ա. ՄՆԱՏԱԿԱՆՅԱՆ Y-Z ԴԻԱԿՈՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԻ ՃՇԳՐՏՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՓՈՓՈԽՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Առաջարկվում է Y-Z դիակոպտիկական մատրիցի ճշգրտման մեթոդ, երբ տեղի է ունենում էԷՀ-ի նախնական կառուցվածքի փոփոխություն:Տվյալ մեթոդն ապահովում է բարձր մանևրալություն, իսկ կայունացված ռեժիմի հաշվման ժամանակ պահանջվում է նվազագույն հաշվողական ծավալ:

V.S. KHACHATRYAN, N.B. BADALYAN, M.A. MNATSAKANYAN Y-Z DIACOPTIC MATRIX CORRECTION IN CHANGING INITIAL ELECTRIC POWER SYSTEM STRUCTURE

A method of Y-Z design diacoptic matrix correction is proposed for the case when the structure of electric power systems is changed. The given method provides high manoeuvrability and needs a small volume of computations for solving steady-state conditions when the network state is given in the Y-Z form.

В.С. САФАРЯН, С.Э. ГРИГОРЯН

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ Y-Z ФОРМЕ ЗАДАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕТИ

Предлагается новая математическая модель допустимого установившегося режима ЭЭС при Y-Z форме задания состояния сети, когда независимые станционные узлы одновременно могут быть как типа P-Q, так и типа P-U. Дается вычислительный алгоритм для реализации численной математической модели допустимого установившегося режима ЭЭС.

Ключевые слова: модель, узел, матрица, режим, система, параметр, функция, мощность, сеть, станция.

В настоящее время для решения режимных вопросов электроэнергетической системы (ЭЭС) применяются как Y, Z, так и Y-Z формы задания состояния сети [1-8]. Совмещая положительные стороны Y, Z методов, в последнее время для расчета установившегося режима ЭЭС широкое применение получил Y-Z метод [2, 5-8]. Для повышения маневренности Y-Z метода разработан метод коррекции Y-Z матрицы, требующий небольшого объема вычислительных работ [5]. Важным для расчета установившегося режима ЭЭС является вопрос их допустимости.

В [3, 4] рассматриваются вопросы расчета допустимого установившегося режима при Z и Y формах задания состояния сети. Настоящая работа посвящена расчету допустимого установившегося режима ЭЭС при Y-Z форме задания состояния сети, когда независимые станционные узлы одновременно могут быть как типа P-U, так и типа P-Q.

Поскольку математическая модель допустимого установившегося режима строится на основании модели установившегося режима ЭЭС, то для решения соответствующих систем нелинейных алгебраических уравнений можно принять один и тот же математический аппарат.

Предположим, что рассматривается ЭЭС, состоящая из $(M+1)$ узловых точек. Для построения соответствующей математической модели допустимого установившегося режима применяются следующие индексы: $m(n) = 0, 1, 2, \dots, C_1$, где C_1 - число станционных узлов, относительно которых в качестве исходной информации задаются активные мощности (узел типа P-Q). Станционный узел с нулевым индексом выбирается в качестве базисного по напряжению и балансирующим по мощностям. В качестве исходной информации для данного станционного узла задаются модуль и аргумент комплексного напряжения (узел типа U - Ψ_U); $k(\ell) = C_1 + 1, C_1 + 2, \dots, C_1 + C_2$, где C_2 -

число станционных узлов, относительно которых в качестве исходной информации задаются активные мощности и аргументы комплексных напряжений (узел типа P-U); $i(j) = C + 1, C + 2, \dots, C + H$, где C - общее число независимых станционных узлов ($C = C_1 + C_2$); H - число нагрузочных узлов.

Пользуясь вышеприведенной системой индексов, на основании заданной исходной информации относительно пассивной и активной частей ЭЭС составляются соответствующие системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима, которые представляются в неявновыраженных формах:

$$\Phi_{pm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}) = P_m - [P_{Bm} + \varphi_{pm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (1)$$

$$\Phi_{qm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}) = Q_m - [Q_{Bm} + \varphi_{qm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (2)$$

$$\Phi_{pk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}) = P_k - [P_{Bk} + \varphi_{pk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (3)$$

$$\Phi_{qk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}) = Q_k - [Q_{Bk} + \varphi_{qk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (4)$$

$$\Phi_{pi}(I'_j; I''_j) = P_i - [P_{Bi} + \varphi_{pi}(I'_j; I''_j)] = 0, \quad (5)$$

$$\Phi_{qi}(I'_j; I''_j) = Q_i - [Q_{Bi} + \varphi_{qi}(I'_j; I''_j)] = 0. \quad (6)$$

Аналитические выражения функций как $P_{Bm}, Q_{Bm}, P_{Bk}, Q_{Bk}, P_{Bi}, Q_{Bi}$, так и $\varphi_{pm}, \varphi_{qm}, \varphi_{pk}, \varphi_{qk}, \varphi_{pi}, \varphi_{qi}$ приводятся в [7].

Математическая модель допустимого установившегося режима ЭЭС имеет вид

$$\begin{bmatrix} \Phi_{pm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}); \\ \Phi_{qm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}); \\ \Phi_{pk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}); \\ \Phi_{qk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell}); \\ \hline \Phi_{pi}(I'_j; I''_j); \\ \Phi_{qi}(I'_j; I''_j); \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$U_m^{\min} \leq U_m \leq U_m^{\max}, \quad (8)$$

$$Q_k^{\min} \leq Q_k \leq Q_k^{\max}, \quad (9)$$

где $U_m^{\max}, Q_k^{\max}$ - допустимые максимальные значения модулей комплексных

напряжений и реактивных мощностей; $U_m^{\min}$, $Q_k^{\min}$ - допустимые минимальные значения.

Как видно, стационарные узлы типа P-Q должны удовлетворять условию (8), а узлы типа P-U - условию (9).

Следует отметить, что математическая модель допустимого установившегося режима (7)-(9) является не только общей, но и самой сложной моделью.

В связи с этим, несмотря на вышеприведенную классификацию стационарных узлов, предположим, что все узлы рассматриваемой ЭЭС являются узлами типа P-Q. Тогда искомыми переменными будут модули и аргументы комплексных напряжений, которые, согласно методу Ньютона-Рафсона, определяются на основании следующего рекуррентного выражения:

$$\begin{bmatrix} \Psi_{Um} \\ U_n \\ \Psi_{Uk} \\ U_k \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} \Psi_{Um} \\ U_n \\ \Psi_{Uk} \\ U_k \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{Um} \\ \Delta U_n \\ \Delta\Psi_{Uk} \\ \Delta U_k \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где i - номер итерации

При этом другие искомые режимные параметры, т.е. составляющие комплексных токов нагрузочных узлов, определяются также на основании рекуррентного выражения, вытекающего из метода Ньютона-Рафсона:

$$\begin{bmatrix} I'_i \\ I''_i \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} I'_i \\ I''_i \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Элементы $\Delta\Psi_{Um}$, ΔU_m , $\Delta\Psi_{Uk}$, ΔU_k , а также $\Delta I'_i$ и $\Delta I''_i$ определяются на основании матричного выражения

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{Un}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{U\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & & \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{Un}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{U\ell}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell} & & \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{Un}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{U\ell}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell} & & \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{Un}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_n} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{U\ell}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\ell} & & \\ & & & & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I'_j} & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I''_j} \\ & & & & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I'_j} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I''_j} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{Um} \\ \Delta U_m \\ \Delta\Psi_{Uk} \\ \Delta U_k \\ \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix}. \quad (12)$$

В выражении (12) приращения ΔP_m , ΔQ_m , ΔP_k , ΔQ_k , а также ΔP_i , ΔQ_i определяются в виде

$$\Delta P_m = P_m - [P_{Bm} + \varphi_{pm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (13)$$

$$\Delta Q_m = Q_m - [Q_{Bm} + \varphi_{qm}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (14)$$

$$\Delta P_k = P_k - [P_{Bk} + \varphi_{pk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (15)$$

$$\Delta Q_k = Q_k - [Q_{Bk} + \varphi_{qk}(U_n, \Psi_{Un}; U_\ell, \Psi_{U\ell})] = 0, \quad (16)$$

$$\Delta P_i = P_i - [P_{Bi} + \varphi_{pi}(I'_j; I''_j)] = 0, \quad (17)$$

$$\Delta Q_i = Q_i - [Q_{Bi} + \varphi_{qi}(I'_j; I''_j)] = 0. \quad (18)$$

Обращая неособенные квадратные подматрицы, входящие в матричное уравнение (12), можно определить искомые приращения многократных векторов Ψ_{Um} , U_m , Ψ_{Uk} , U_k , а также I'_i и I''_i , т.е. $\Delta \Psi_{Um}$, ΔU_m , $\Delta \Psi_{Uk}$, ΔU_k ; $\Delta I'_i$, $\Delta I''_i$. Соответствующее матричное выражение для определения вышеуказанных приращений имеет вид

$$\begin{bmatrix} \Delta \Psi_{Um} \\ \Delta U_m \\ \Delta \Psi_{Uk} \\ \Delta U_k \\ \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \beta_{mn} & \alpha_{m\ell} & \beta_{m\ell} & & \\ \gamma_{mn} & \delta_{mn} & \gamma_{m\ell} & \delta_{m\ell} & & \\ \alpha_{kn} & \beta_{kn} & \alpha_{k\ell} & \beta_{k\ell} & & \\ \gamma_{kn} & \delta_{kn} & \gamma_{k\ell} & \delta_{k\ell} & & \\ & & & & a_{ij} & b_{ij} \\ & & & & c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Для решения поставленной задачи предположим, что все станционные узлы являются узлами типа P-U, т.е. для всех независимых станционных узлов в качестве исходной или начальной информации задаются активные мощности и модули комплексных напряжений.

В силу этого можем написать:

$$\Delta U_m = \Delta U_k = 0, \quad (20)$$

и в результате матричное уравнение (19) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{Um} \\ 0 \\ \Delta\Psi_{Uk} \\ 0 \\ \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \beta_{mn} & \alpha_{m\ell} & \beta_{m\ell} \\ \gamma_{mn} & \delta_{mn} & \gamma_{m\ell} & \delta_{m\ell} \\ \alpha_{kn} & \beta_{kn} & \alpha_{k\ell} & \beta_{k\ell} \\ \gamma_{kn} & \delta_{kn} & \gamma_{k\ell} & \delta_{k\ell} \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}. \quad (21)$$

На основании полученного матричного выражения (21) напомним следующие подматричные уравнения:

$$\begin{cases} \Delta\Psi_{Um} = \alpha_{mn}\Delta P_m + \beta_{mn}\Delta Q_m + \alpha_{m\ell}\Delta P_k + \beta_{m\ell}\Delta Q_k, \\ 0 = \gamma_{mn}\Delta P_m + \delta_{mn}\Delta Q_m + \gamma_{m\ell}\Delta P_k + \delta_{m\ell}\Delta Q_k, \\ \Delta\Psi_{Uk} = \alpha_{kn}\Delta P_m + \beta_{kn}\Delta Q_m + \alpha_{k\ell}\Delta P_k + \beta_{k\ell}\Delta Q_k, \\ 0 = \gamma_{kn}\Delta P_m + \delta_{kn}\Delta Q_m + \gamma_{k\ell}\Delta P_k + \delta_{k\ell}\Delta Q_k, \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta I'_i \\ \Delta I''_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ij} & b_{ij} \\ c_{ij} & d_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Объединяя первое и третье подматричные уравнения, получим

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{Um} \\ \Delta\Psi_{Uk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & \alpha_{m\ell} \\ \alpha_{kn} & \alpha_{k\ell} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{mn} & \beta_{m\ell} \\ \beta_{kn} & \beta_{k\ell} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Затем, объединяя второе и четвертое подматричные уравнения, получим

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{mn} & \gamma_{m\ell} \\ \gamma_{kn} & \gamma_{k\ell} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_{mn} & \delta_{m\ell} \\ \delta_{kn} & \delta_{k\ell} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Полученное подматричное уравнение (25) решаем относительно приращений реактивных мощностей ΔQ_m , ΔQ_k :

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \delta_{mn} & \delta_{m\ell} \\ \delta_{kn} & \delta_{k\ell} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \gamma_{mn} & \gamma_{m\ell} \\ \gamma_{kn} & \gamma_{k\ell} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix}. \quad (26)$$

Обращая первую неособенную квадратную матрицу левой части (26) и умножая ее на вторую матрицу подматричного выражения, можем установить следующую связь между приращениями активных и реактивных мощностей:

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_m \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_{mm} & \tau_{mk} \\ \tau_{km} & \tau_{kk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \end{bmatrix}, \quad (27)$$

где τ_{mm} , τ_{mk} , τ_{km} , τ_{kk} - элементы результирующей матрицы.

На основании (13) и (15) можем установить первоначальное численное значение приращений активных мощностей ΔP_m и ΔP_k , а на основании (27) - численные значения приращений реактивных мощностей ΔQ_m и ΔQ_k .

Имея численные значения приращений реактивных мощностей, на основании (14) и (16) определим численные значения действительных реактивных мощностей:

$$Q_m = \Delta Q_m + \varphi_{qm}, \quad (28)$$

$$Q_k = \Delta Q_k + \varphi_{qk}. \quad (29)$$

Получая численные значения искомых реактивных мощностей, проверяем условия допустимости:

$$Q_m^{\min} \leq Q_m \leq Q_m^{\max}, \quad (30)$$

$$Q_k^{\min} \leq Q_k \leq Q_k^{\max}. \quad (31)$$

1. Предположим, условия (30) и (31) обеспечиваются, т.е. реактивные мощности независимых станционных узлов находятся в пределах допустимости.

При этом переходим к расчету допустимого установившегося режима, определяя приращения аргументов комплексных напряжений независимых станционных узлов на основании матричного выражения (24).

Устанавливая численные значения приращений $\Delta \Psi_{Um}$ и $\Delta \Psi_{Uk}$, на основании (10) определяем численные значения искомых аргументов:

$$\begin{bmatrix} \Psi_{Um} \\ \Psi_{Uk} \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} \Psi_{Um} \\ \Psi_{Uk} \end{bmatrix}^0 - \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{Um} \\ \Delta \Psi_{Uk} \end{bmatrix}^0 \quad (32)$$

или

$$\begin{bmatrix} \Psi_{Um} \\ \Psi_{Uk} \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}^0 - \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{Um} \\ \Delta \Psi_{Uk} \end{bmatrix}. \quad (33)$$

Устанавливая численные значения аргументов Ψ_{Um} , Ψ_{Uk} комплексных напряжений независимых станционных узлов, переходим к определению численных значений приращений составляющих комплексных токов нагрузочных узлов на основании (23).

Имея численные значения приращений составляющих комплексных токов нагрузочных узлов, можем определить их действующие значения, пользуясь выражением (11).

После завершения первой итерации переходим к осуществлению второй. Если на второй и последующих итерациях реактивные мощности независимых станционных узлов остаются в пределах допустимости согласно условиям (30), (31), то последующие итерации осуществляются аналогичным образом, до завершения решения полной задачи расчета допустимого установившегося режима.

2. Предположим, что условия (30), (31) обеспечиваются неполностью и реактивные мощности некоторых станционных узлов получаются либо больше допустимых максимальных значений, либо меньше допустимых минимальных значений. При этом в первом случае реактивная мощность заменяется на $Q^{\max}$, а во втором - на $Q^{\min}$. В результате станционный узел типа P-U заменяется на узел типа P- $Q^{\max}$ или P- $Q^{\min}$, и задача решается с помощью рекуррентного выражения (10).

Численные значения приращений $\Delta\Psi_{Um}$, ΔU_m , $\Delta\Psi_{Uk}$ и ΔU_k устанавливаются на основании (19). Численные значения Ψ_{Um} , U_m , Ψ_{Uk} и U_k определяются на основании рекуррентного выражения (10).

После установления численных значений модулей U_m и U_k комплексных напряжений станционных узлов проверяем условия

$$U_m^{\min} \leq U_m \leq U_m^{\max}, \quad (34)$$

$$U_k^{\min} \leq U_k \leq U_k^{\max}. \quad (35)$$

Если эти условия обеспечиваются, то переходим к организации второй итерации. Как и в предыдущем случае, на основании (23) определяем приращения составляющих комплексных токов нагрузочных узлов, а на основании (11) - действующие токи.

Этим завершается первая итерация, после чего переходим к осуществлению второй итерации.

Если условия (34), (35) нарушаются, т.е. модули напряжений оказываются больше $U^{\max}$ или меньше $U^{\min}$, то из узла типа P-Q необходимо перейти в узел типа P-U. При этом в первом случае узел типа P-Q заменяется на узел типа P- $U^{\max}$, а во втором - на узел типа P- $U^{\min}$.

Таким образом, при поиске допустимого установившегося режима ЭЭС систему нелинейных алгебраических уравнений необходимо решить при замене станционных узлов типа P-Q на станционный узел типа P-U и наоборот.

Итерационный процесс считается завершенным, если обеспечиваются условия

$$\Phi_{pm} = |P_m - \varphi_{pm}| \leq \Delta P_m, \quad \Phi_{qm} = |Q_m - \varphi_{qm}| \leq \Delta Q_m,$$

$$\Phi_{pk} = |P_k - \varphi_{pk}| \leq \Delta P_k, \quad \Phi_{qk} = |Q_k - \varphi_{qk}| \leq \Delta Q_k,$$

$$\Phi_{pi} = |P_i - \varphi_{pi}| \leq \Delta P_i, \quad \Phi_{qi} = |Q_i - \varphi_{qi}| \leq \Delta Q_i,$$

т.е. если небалансы мощностей по всем независимым узлам принимают заданные численные значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С.** Расчет установившегося режима электрических систем с применением матрицы Гессе при Z форме задания состояния сети // Изв. вузов СССР. Энергетика.-1990.- № 1.- С.20-23.
2. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество .- 1987.- № 3.-С.6-13.
3. **Хачатрян В. С., Аль-Исса Ибрахим, Хачатрян К. В.** Метод определения допустимого установившегося режима ЭЭС // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1998.-Т. 51, № 3.- С.295-300.
4. **Каримян А.С.** Расчет допустимого установившегося режима ЭЭС при Y-форме задания состояния сети // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1999.-Т. 52, № 1.- С.43-50.
5. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П., Хачатрян К. В., Маргарян К. К.** Метод коррекции Y-Z расчетной матрицы электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2001.-Т. 54, № 1.- С. 41-46.
6. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П. Тамразян М. Г., Гулян А. Г.** Решение систем гибридных уравнений установившегося режима ЭЭС при смешанном типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т. 54, № 2.- С. 210-217.
7. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П., Гулян А. Г.** Выбор состава уравнений установившегося режима ЭЭС при P-U и P-Q типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2003.- Т. 56, № 2.- С. 272-281.
8. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П.** Расчет установившегося режима большой ЭЭС методом диакоптики // Электричество.-2003.- № 6.- С. 17-22.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.01.2002.

Վ. Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ս.Է. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԹՈՒՅԼԱՏՐԵԼԻ
ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՑԱՆՑԻ ՎԻՃԱԿԻ Y-Z ՏԵՍՔԻ
ՏՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ**

Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի թույլատրելի կայունացված ռեժիմի հաշվարկի համար առաջարկվում է նոր մաթեմատիկական մոդել ցանցի վիճակի Y-Z տեսքի տրման դեպքում և երբ անկախ կայանային հանգույցները միաժամանակ կարող են լինել ինչպես P-Q, այնպես էլ P-U տեսքի: Առաջարկվում է համապատասխան հաշվողական ալգորիթմ էլեկտրաէներգետիկական համակարգի թույլատրելի կայունացված ռեժիմի թվային մաթեմատիկական մոդելի իրացման համար:

V.S. SAFARYAN, S.E. GRIGORYAN

**PERMISSIBLE STEADY-STATE CALCULATION IN ELECTRIC POWER
SYSTEMS FOR Y-Z FORM OF NETWORK STATE SPECIFICATION**

A new mathematical model of permissible steady-state in electric power systems is proposed for Y-Z form of network state specification when independent station units can simultaneously be both of P-Q type and P-U type. A computational algorithm for numerical mathematical model realization of permissible steady-state conditions in electric power systems is given.

Г.А. БУРНАЧЯН, Ж.В. КАРАМЯН

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НЕДЕЛЬНОГО ЦИКЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННЫМ НАПОРОМ В СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Рассматривается решение задачи выбора оптимальных режимов работы ГАЭС недельного цикла регулирования с переменным напором в сложной энергосистеме. Дана постановка задачи и получены основные условия оптимальности. Приведены краткий алгоритм решения задачи и некоторые результаты расчета для принятой энергосистемы.

Ключевые слова: гидростанция, теплостанция, бассейн, напор, нагрузка, мощность, энергосистема, режимы, оптимизация.

В связи с повсеместным повышением затрат на топливо и развитием энергосистем за счет строительства современных атомных и тепловых электростанций с маломаневренным оборудованием возникает необходимость максимального использования гидроэнергетических ресурсов за счет строительства ГЭС, где это возможно, и ГАЭС с целью экономии топлива и повышения оперативной маневренности системы. Наличие ГАЭС недельного цикла регулирования в энергосистеме позволяет значительно повысить экономичность и надежность теплового оборудования в течение недели, а также функции аварийного резерва за счет большего объема регулирующего бассейна [1, 3]. Поэтому вопросы выбора оптимальных недельных режимов работы ГАЭС, особенно с учетом переменности напора, приобретают большую значимость.

Постановка задачи. Рассматривается некоторая гипотетическая энергосистема, состоящая из одной АЭС, m тепловых электростанций, n гидростанций и одной гидроаккумулирующей электростанции недельного цикла регулирования.

Суммарные затраты на топливо на атомных и тепловых станциях энергосистемы в каждый момент времени t с учетом нестационарных явлений при переменном режиме работы на последних можно выразить зависимостью

$$\Pi = \alpha_1 B_1(t, P_a, P'_a) + \sum_{i=2}^m \alpha_i B_i(t, P_{Ti}, P'_{Ti}), \quad (1)$$

где α_1, α_i - соответственно стоимости единицы топлива на АЭС и i -й конденсационной электростанции (КЭС) ($i=1,2,3,\dots,m$); B_1, B_i - соответственно количество натурального топлива, расходуемого на АЭС и i -й КЭС в единицу времени; P'_a, P'_{Ti} - скорость изменения нагрузки АЭС и i -й КЭС.

Задача определения оптимального режима работы всех станций системы в течение некоторого периода времени $T=t_k-t_0$ (неделя) заключается в выборе такого режима, которому бы соответствовал минимум стоимости затрат топлива на систему, т.е.

$$B = \int_{t_0}^{t_k} \left[\alpha_1 B_1(t, P_a, P'_a) + \sum_{i=2}^m \alpha_i B_i(t, P_{Ti}, P'_{Ti}) \right] dt \rightarrow \min. \quad (2)$$

Оптимальные режимы работы энергосистемы, которые определяются минимизацией функционала (2), должны удовлетворять некоторым ограничениям, накладываемым на энергосистему и на ее отдельные элементы. В рассматриваемой задаче учитываются следующие ограничения.

1. В каждый момент времени t интервала T для обеспечения бесперебойной работы энергосистемы должно соблюдаться условие баланса нагрузок:

$$\varphi_t = P_a(t) + \sum_{i=2}^m P_{Ti}(t) + \sum_{j=1}^n P_{Гj}(t) \pm P_{ГА}(t) - P_c(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (3)$$

где $P_a(t)$, $P_{Ti}(t)$, $P_{Гj}(t)$, $P_{ГА}(t)$ - соответственно нагрузки АЭС, i -й ТЭС, j -й ГЭС и ГАЭС в момент времени t (знак “плюс” соответствует турбинному режиму, а “минус” - насосному); $P_c(t)$, $\Delta P(t)$ - соответственно нагрузка системы и суммарные потери мощности в линиях электропередач в момент времени t .

2. Нагрузки отдельных электростанций энергосистемы могут принимать значения, определяемые следующими неравенствами:

а) соответственно для атомной электростанции и i -й тепловой электростанции:

$$P_a^{\min}(t_k) \leq P_a \leq P_a^{\max}(t_k), \quad P_{Ti}^{\min} \leq P_{Ti} \leq P_{Ti}^{\max}, \quad (4)$$

где $P_a^{\min}(t_k)$, $P_a^{\max}(t_k)$ - функции времени компании;

б) соответственно для j -й гидроэлектростанции и гидроаккумулирующей электростанции:

$$P_{Гj}^{\min} \leq P_{Гj} \leq P_{Гj}^{\max}; P_{ГА(p)}^{\min} \leq P_{ГА(p)} \leq P_{ГА(p)}^{\max}; P_{ГА(3)}^{\min} \leq P_{ГА(3)} \leq P_{ГА(3)}^{\max}, \quad (5)$$

где $P_{ГА(p)}$, $P_{ГА(3)}$ - соответственно нагрузки ГАЭС в цикле разряда и заряда.

3. Работа водохранилищ ГЭС и ГАЭС описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} V'_{Гj} &= \frac{dV_{Гj}}{dt} = q_{Гj} - Q_{Гj}(P_{Гj}, V_{Гj}), \\ V'_{ГА} &= \frac{dV_{ГА}}{dt} = q_{ГА} \mp Q_{ГА}(P_{ГА}, V_{ГА}) \end{aligned} \quad (6)$$

с граничными условиями :

$$\begin{aligned} V_{Гj}(t_0) &= 0, & V_{Гj}(t_k) &= V_{Гj}^*, \\ V_{ГА}(t_0) &= 0, & V_{ГА}(t_k) &= V_{ГА}^*, \end{aligned} \quad (7)$$

где $q_{Гj}$, $q_{ГА}$ – соответственно боковые приточности в водохранилищах j -й ГЭС и ГАЭС; $Q_{Гj}(P_{Гj}, V_{Гj})$, $Q_{ГА}(P_{ГА}, V_{ГА})$ – соответственно расходы через турбины j -й ГЭС и ГАЭС (расход воды в насосном режиме принимает знак “плюс”); $V_{Гj}^*$, $V_{ГА}^*$ – соответственно заданные объемы воды, используемые в течение цикла регулирования на j -й ГЭС и ГАЭС.

Приведенные уравнения (2)–(7) представляют математическую модель задачи выбора оптимальных режимов энергосистемы, имеющей в своем составе ГАЭС недельного цикла регулирования с переменным напором. Задача в вышеприведенной постановке является типичной вариационной задачей на условный экстремум (минимум) функционала (2) при наличии ограничений (3)–(6), которая посредством множителей Лагранжа может быть сведена к задаче на безусловный экстремум следующего функционала:

$$B = \int_{t_0}^{t_k} \left[\sum_{i=1}^m B_i + \lambda_t \varphi_t + \lambda_{Гj}^t \gamma_t + \lambda_{ГА}^t \mu_t \right] dt = \int_{t_0}^{t_k} F^* dt, \quad (8)$$

где

$$\gamma_t = V_{Гj}' - q_{Гj} + Q_{Гj}(P_{Гj}, V_{Гj}), \quad \mu_t = V_{ГА}' - q_{ГА} \pm Q_{ГА}(P_{ГА}, V_{ГА}),$$

$$F^* = \left[\sum_{i=1}^m B_i + \lambda_t \varphi_t + \lambda_{Гj}^t \gamma_t + \lambda_{ГА}^t \mu_t \right];$$

$\lambda_t, \lambda_{Гj}^t, \lambda_{ГА}^t$ – переменные во времени множители.

Экстремалы, реализующие экстремум рассматриваемого функционала, как известно, должны удовлетворять дифференциальным уравнениям Эйлера-Лагранжа, которые в раскрытом виде могут быть записаны в виде

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i \frac{\partial B_{Ti}}{\partial P_{Ti}} + \lambda_t \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Ti}} \right) - \frac{d}{dt} \frac{\partial B_{Ti}}{\partial P_{Ti}'} &= 0, & i = 1, 2, \dots, m, \\ \lambda_t \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Гj}} \right) + \lambda_{Гj}^t \frac{\partial Q_{Гj}}{\partial P_{Гj}} &= 0, & j = 1, 2, \dots, n, \\ \pm \lambda_t \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ГА}} \right) \pm \lambda_{ГА}^t \frac{\partial Q_{ГА}}{\partial P_{ГА}} &= 0, \\ \lambda_{Гj}^t \frac{\partial Q_{Гj}}{\partial V_{Гj}} - \frac{d}{dt} \lambda_{Гj}^t &= 0, & \pm \lambda_{ГА}^t \frac{\partial Q_{ГА}}{\partial V_{ГА}} - \frac{d}{dt} \lambda_{ГА}^t &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Пренебрегая переходными процессами на тепловых станциях энергосистемы (последний член первого уравнения 9), после несложных преобразований получим следующие условия для выбора оптимального режима работы ГАЭС в энергосистеме:

– для цикла заряда:

$$\frac{\alpha_1 b_a}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_a}} = \frac{\alpha_i b_i}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Ti}}} = (C_{GA}^H - \Delta \lambda_{GA}^H) \frac{q_{GA}^H}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{GA}}}; \quad (10)$$

- для цикла разряда:

$$\frac{\alpha_1 b_a}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_a}} = \frac{\alpha_i b_i}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Гj}}} = C_{Гj} \frac{q_{Гj}}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Гj}}} = (C_{GA}^T + \Delta \lambda_{GA}^T) \frac{Q_{GA}^T}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{GA}}}. \quad (11)$$

Если пренебречь относительными приростами потерь, то условия (10) и (11) соответственно могут быть записаны в следующем виде:

$$\alpha_1 b_a = \alpha_i b_i = (C_{GA} - \Delta \lambda) q_{GA}^H, \quad (12)$$

$$\alpha_1 b_a = \alpha_i b_i = C_{Гj} q_{Гj} = (C_{GA} + \Delta \lambda_{GA}) q_{GA}^T, \quad (13)$$

где b_a , b_i - соответственно относительные приросты расхода условного топлива на АЭС и i -й КЭС; $\Delta \lambda$ - коэффициент, учитывающий влияние переменности напора ГАЭС.

На основании полученных условий (12) и (13) выполнены расчеты для гипотетической энергосистемы, состоящей из одной АЭС, группы КЭС, одной ГЭС и ГАЭС недельного цикла регулирования с переменным напором ($H = 100 \dots 110$ м). Суммарная установленная мощность станций энергосистемы равна 3510 МВт. Расчет выполнен методом последовательных приближений [2]. В первом приближении расчет выполнен для среднего значения напора на ГАЭС. В результате расчета определены продолжительности циклов заряда, разряда в случаях, когда водохранилище ГАЭС заполнено и опорожнено. Окончательные значения коэффициентов C_H , C_T для насосного и турбинного циклов регулирования соответственно равны 0,321 и 0,373. При этих значениях объем используемой воды в обоих циклах регулирования равен $18,6 \cdot 10^6$ м³, что с определенной точностью соответствует заданному объему. Для ГЭС при заданном суточном объеме воды имеем $V = 0,75 \cdot 10^6$ м³, $C_T = 0,876$. Результаты расчетов - режимы работы станций энергосистемы (мощность в МВт) приведены в таблице. Мощности тепловых станций в будние дни, кроме понедельника, не приведены, поскольку их можно определить по таблице.

Таблица

$t, \text{ч}$	$P_c, \text{МВт}$	Понедельник				Вторник			Среда			Четверг		
		ТЭС	ГАЭС		ГЭС	ГАЭС		ГЭС	ГАЭС		ГЭС	ГАЭС		ГЭС
		P_T	$P_{ГА}^H$	$P_{ГА}^T$	$P_{Г}$	$P_{ГА}^H$	$P_{ГА}^T$	$P_{Г}$	$P_{ГА}^H$	$P_{ГА}^T$	$P_{Г}$	$P_{ГА}^H$	$P_{ГА}^T$	$P_{Г}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2270	2331,8	61,8	0	0	50,8	0	0	51	0	0	52,2	0	0
2	2160	2301,6	141,6	0	0	105,4	0	0	107,1	0	0	107,8	0	0
3	2160	2301,8	141,8	0	0	105,4	0	0	107,1	0	0	107,8	0	0
4	2240	2324,2	84,2	0	0	84,2	0	0	84,2	0	0	84,2	0	0
5	2400	2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2560	2560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2790	2790	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2980	2911,7	0	68,3	0	0	68	0	0	67,8	0	0	0	0
9	3080	3000,4	0	79,6	0	0	79,4	0	0	79	0	0	57,2	0
10	3060	2985,7	0	74,6	0	0	79,5	0	0	64,7	0	0	65,5	0
11	3020	2956,5	0	63,5	0	0	63,1	0	0	62,9	0	0	61,2	0
12	2910	2910	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2840	2840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2840	2840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2800	2800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2900	2900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	3060	2991,9	0	68,1	0	0	65,1	0	0	64,9	0	0	63,5	0
18	3360	3044,2	0	186,1	12,97	0	175,8	140	0	175,3	145	0	174,8	141
19	3510	3044,2	0	255,8	210	0	255,1	210,7	0	255,1	210,7	0	255	210,8
20	3380	3044,2	0	186	149,8	0	194,1	141,7	0	193,6	142,1	0	185,5	150,3
21	3160	3044,2	0	86,1	29,7	0	89,8	26	0	89,6	26,2	0	83,8	32
22	2920	2920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	2580	2580	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	2240	2324,2	84,2	0	0	84,2	0	0	84,2	0	0	84,2	0	0

Продолжение табл.

$t, \text{ч}$	$P_c, \text{МВт}$	Пятница				Суббота				Воскресенье			
		ТЭС	ГАЭС		ГЭС	P_c	P_T	$P_{ГА}^H$	$P_{Г}$	P_c	P_T	$P_{ГА}^H$	$P_{Г}$
		P_T	$P_{ГА}^H$	$P_{ГА}^T$	$P_{Г}$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2270	2331,8	54,2	0	0	2030,9	2253,03	222,13	0	1780	2012,5	232,5	0
2	2160	2301,6	108,8	0	0	1900	2126	226	0	1700	1934,3	234,3	0
3	2160	2301,8	108,9	0	0	1830	2068,1	238,1	0	1600	1844,2	256,2	0
4	2240	2324,2	84,2	0	0	1830	2062,6	232,6	0	1600	1844,2	256,2	0
5	2400	2400	0	0	0	1943,1	2172,94	229,8	0	1660	1895,8	235,8	0
6	2560	2560	0	0	0	2007,5	2232,6	225,1	0	1780	2014,25	234,2	0
7	2790	2790	0	0	0	2124,6	2352,28	227,7	0	1840	2064,8	224,8	0
8	2980	2911,7	0	0	0	2350	2350	0	0	2210	0	0	0
9	3080	3000,4	0	67	0	2640	2640	0	40,8	2380	0	0	55,9
10	3060	2985,7	0	0	0	2620	2620	0	40,6	2360	0	0	35,8
11	3020	2956,5	0	0	0	2575,2	2575,2	0	40,3	2280	0	0	0
12	2910	2910	0	0	0	2528,4	2528,4	0	37,8	2240	0	0	0
13	2840	2840	0	0	0	2458,2	2458,2	0	0	2200	0	0	0
14	2840	2840	0	0	0	2400	2400	0	0	2140	2324,2	184,2	0
15	2800	2800	0	0	0	2458,2	2458,2	0	0	2120	2293,7	173,7	0
16	2900	2900	0	0	0	2551,8	2551,8	0	40,1	2200	0	0	0
17	3060	2991,9	0	0	0	2640	2640	0	40,8	2390	0	0	65,8
18	3360	3044,2	0	174,7	141,1	2940	2940	0	66,3	2520	0	0	89,9
19	3510	3044,2	0	255	210,8	3042,5	3042,5	0	120	2617	0	0	107,3
20	3380	3044,2	0	185,3	150,5	2873,7	2873,7	0	46	2500	0	0	86,4
21	3160	3044,2	0	83,5	32,3	2620	2620	0	40,6	2377	0	0	52,8
22	2920	2920	0	0	0	2300	2300	0	0	2354	0	0	0
23	2580	2580	0	0	0	2148	2346,17	198,2	0	2049	0	0	0
24	2240	2324,2	125,1	0	0	1980	2205,6	225,6	0	1920	0	0	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бурначян, Г.А.** Оптимизация режимов работы сложных энергосистем с ГАЭС // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.- 1971.- №6.- С. 28-33.
2. **Бурначян Г.А.** К выбору о краткосрочной оптимизации режимов работы гидротепловой энергосистемы // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.- 1973.- №1.-С.43-49.
3. **Бурначян Г.А., Карамян. Ж.В.** Выбор режима работы ГАЭС недельного цикла регулирования в сложной энергосистеме // Моделирование, оптимизация, управление: Сб. науч. тр. Вып. 6 / ГИУА. – 2003. – №1 – С. 94-100.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.07.2003.

Հ. Ա. ԲՈՒՆԱՉՅԱՆ, Ժ. Վ. ԿԱՐԱՄՅԱՆ

**ՇԱԲԱԹԱԿԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՄԲ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԷԶԶՈՎ ՀԱԷԿ-Ի
ՕՊՏԻՄԱԼ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱՐԴ
ԷՆԵՐԳԱՀԱՍՏԱԿԱՐԳՈՒՄ**

Դիտարկվում է շաբաթական կարգավորմամբ փոփոխական էջքով ՀԱԷԿ-ի օպտիմալ ռեժիմների խնդրի լուծում բարդ էներգահամակարգերում: Տրված է խնդրի դրվածքը, ստացված են օպտիմալության պայմանները: Բերվում են խնդրի համառոտ լուծման ալգորիթմը և հաշվարկի որոշակի արդյունքներ՝ տվյալ էներգահամակարգի համար:

H. A. BURNACHYAN, ZH. W. KARAMYAN

**CHOICE OF HAPS OPTIMAL OPERATING CONDITIONS
IN WEEKLY CYCLE REGULATION WITH VARIABLE PRESSURE IN
INTRICATE POWER SYSTEMS**

The choice of HAPS optimal operating condition problem solving of weekly cycle regulation with variable pressure in intricate power system is considered. The problem statement is given and the main optimality conditions are stated. A short problem solving algorithm and some results of calculation for the accepted power system are given.

Ա.Ո. ԶԱՌԱՆՅՅԱՆ, Գ.Գ. ՆԱԼԲԱՆՂՅԱՆ

**ԶՐԱԶՐԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐԻ ԱՌԱՋԻՆ
ԿՈՆՏՈՒՐԻ ԶՐԱՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ՝
ՆՈՐ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐԻ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՈՎ**

Զրաջրային էներգետիկական ռեակտորների առաջին կոնստրուկտիվ ջրամշակման համակարգերում առաջարկվել են նոր լուծումներ, որոնց նպատակն է նվազեցնել առաջին կոնստրուկտիվ առաջացող ռադիոնուկլիդների և կոռոզիոն արգասիքների քանակը, իրականացնել ռեակտիվության և pH-ի կարգավորման համար օգտագործվող բորաթթվի և հիմքերի ռեգեներացիան բորաթթու և հիմքեր պարունակող ռադիոակտիվ ջրերից, ինչպես նաև միջուկային տեղեկայանքի աշխատանքի արդյունքում անխուսափելիորեն առաջացող հեղուկ ռադիոակտիվ թափոնների մշակումը՝ արդյունավետ կերպով ապահովելով նրանցից երկարակյաց ռադիոակտիվ իզոտոպների կորզումը (պահպանման համար էականորեն փոքրացնելով ռադիոակտիվ թափոնների ծավալները):

Առանցքային բառեր: ջերմատար, առաջին կոնստրուկտ, ռեակտոր, ջրամշակման համակարգեր, ռադիոակտիվ թափոններ:

Ի հայտ են բերվել տնտեսական, էկոլոգիական, տեխնիկական այն հիմնահարցերը, որոնք առաջանում են արևմտյան (PWR) և ռուսական (ԹԹՆՀ) ջրաջրային էներգետիկական ռեակտորների առաջին կոնստրուկտի ջերմատարի pH-ի կարգավորման համար կիրառվող ջրաքիմիական ռեժիմների ընտրության ժամանակ: PWR-ների առաջին կոնստրուկտ ընդունված են լիթիումային ${}^7\text{LiOH}$, իսկ ռուսական ՋՋԷՌ-ներում՝ կալիում-ամոնիակային՝ $\text{KOH}+\text{NH}_4\text{OH}$ ջրաքիմիական ռեժիմները [1]:

Լիթիումային ջրաքիմիական ռեժիմն ունի հետևյալ առավելությունները.

- ռեակտորում ընթացող միջուկային ռեակցիաների արդյունքում ${}^7\text{Li}$ -ը գրեթե չի հանգեցնում ռադիոակտիվ արգասիքների առաջացմանը,
- քիմիական բարձր ակտիվության շնորհիվ ջերմատարում լիթիումի կոնցենտրացիան KOH -ի համեմատությամբ կարող է լինել մի քանի անգամ ավելի փոքր,
- լիթիումի օգտագործումն առավել բարենպաստ է ռեակտորի կոնստրուկցիոն նյութեր հանդիսացող աուստենիտային և պեռլիտային դասի պողպատների համար՝ կոռոզիոն պրոցեսների ինտենսիվության տեսանկյունից,
- լիթիում անընդհատ առաջանում է՝ ռեակտորում ընթացող հետևյալ միջուկային ռեակցիայի շնորհիվ.



Այս ջրաքիմիական ռեժիմի թերություններն են.

- o լիթիումի օգտագործման դեպքում կոռոզիոն պրոցեսներն ավելի արագ են ընթանում ցիրկոնիումի համաձուլվածքների վրա,
- o ջերմատարն անընդհատ անհրաժեշտ է սնել զազային ջրածնով՝ ազատ թթվածինը կապելու նպատակով,

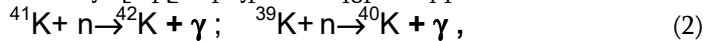
- լիթիումի բարձր արժեքը՝ 4500 ԱՄՆ դոլար/կգ:

Կալիում-ամոնիակային ջրաքիմիական ռեժիմն ունի հետևյալ առավելությունները.

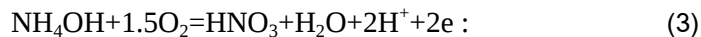
- կալիումի ցածր արժեք՝ 2 ԱՄՆ դոլար/կգ,
- անհրաժեշտություն չկա ջերմատարը սնել գազային ջրածնով. վերջինս առաջանում է ամոնիակի քայքայման արդյունքում,
- ջերմատարի ջերմաստիճանի իջեցման ժամանակ ամոնիակի էլեկտրոլիտիկ դիսոցման աստիճանի բարձրացումը զուգակցվում է ջերմատարի pH-ի արժեքի մեծացմամբ,
- կալիումն առավել բարենպաստ ազդեցություն է թողնում ցիրկոնիումի համաձուլվածքներից պատրաստված ռեակտորի ջերմանջատիչ էլեմենտների վրա,

Այս ջրաքիմիական ռեժիմի թերություններն են.

կալիումի օգտագործումն առաջին կոնտուրի ջերմատարում զգալիորեն ակտիվացնում է այն՝ ըստ հետևյալ միջուկային ռեակցիաների.



- կալիումի օգտագործումն առավել անբարենպաստ է ռեակտորի կոնստրուկցիոն նյութեր հանդիսացող առևտնետիտային և պեռլիտային դասի պողպատների համար՝ կոռոզիոն պրոցեսների ինտենսիվության տեսանկյունից, ցիրկոնիումի վրա 280...300° C պայմաններում ամոնիակի և թթվածնի համատեղ փոխազդեցության ժամանակ արագանում են կոռոզիոն պրոցեսները՝ ջերմանջատիչ էլեմենտների վրա առաջացնելով փխրուն շերտ, որի պատճառն ազոտական թթվի առաջացումն է և օքսիդիչ շերտի հետ վերջինիս հետևյալ փոխազդեցությունը՝



Ըստ կատարված ուսումնասիրության արդյունքների, կալիում-ամոնիակային ջրաքիմիական ռեժիմի հիմնական թերությունը ռեակտորում կալիումի զգալի ակտիվացումն է (2) միջուկային ռեակցիաների արդյունքում [2]: Մասնավորապես, Հայկական ԱԷԿ-ի առաջին կոնտուրի ջերմատարում գումարային $2 \cdot 10^7$ *Բկ/լ* ակտիվության $8 \cdot 10^6$ *Բկ/լ*-ը առաջացնում է ^{42}K իզոտոպը, մինչդեռ լիթիումի դեպքում այն ավելի քան հարյուր անգամ փոքր է: Սակայն այս ռեժիմը տնտեսական արդյունավետության տեսանկյունից ավելի շահավետ է: Հայկական ԱԷԿ-ի վառելիքի մեկ կամպանիայի ընթացքում օգտագործվում է մոտ 50...60 *կգ* KOH, որի գումարային արժեքը կազմում է 120 ԱՄՆ դոլար: Եթե KOH-ի փոխարեն օգտագործվի $^7\text{LiOH}$, ապա անհրաժեշտ մոտ 40 *կգ* լիթիումի հիդրօքսիդը կարժենա մոտ 180000 ԱՄՆ դոլար:

Լիթիումի օգտագործումն առավել բարենպաստ պայմաններ է ստեղծում ԱԷԿ-ի ինժեներատեխնիկական անձնակազմի անվտանգ աշխատանքի համար: Բացի դրանից, նույն պայմաններում $^7\text{LiOH}$ -ի ավելի փոքր կոնցետրացիա օգտագործելիս, փոքրանում է ջրամշակման համակարգերի իոնափոխանակիչ գտիչների խեղճերի ծախսը [3]: Ապագայում $^7\text{LiOH}$ -ի օգտագործումը կդառնա ավելի շահավետ, քանի որ, ըստ տնտեսական կանխատեսումների, ^7Li -ի արժեքը

մոտակա տարիներին զգալիորեն նվազելու է: Լիթիումային ջրաքիմիական ռեժիմի կիրառման դեպքում անհրաժեշտ ֆինանսական ներդրումների ծավալը, ինչպես նաև ծախսվող իոնափոխանակիչ խեժերի և առաջացող ռադիոակտիվ թափոնների քանակը փոքրացնելու համար առաջարկվում է կիրառել լիթիումի վերաշրջանառության համակարգեր: Մասնավորապես, դիտարկվել են արևմտյան PWR-ների ջերմատարի pH-ի կարգավորման համար օգտագործվող ${}^7\text{LiOH}$ -ի հնարավոր վերաշրջանառության հետ կապված խնդիրները: Հաշվարկները ցույց են տվել, որ հատկապես կիսագազաթային ռեժիմում աշխատող արևմտյան PWR տիպի ռեակտորների ջրամշակման համակարգերում կարող է խնայվել ${}^7\text{LiOH}$ -ի մեծ քանակություն՝ ռեակտորի աշխատանքի տարբեր օպերացիաների իրականացման ժամանակ, եթե այն դրվի վերաշրջանառության մեջ [4]: Այս դեպքում կօգտագործվի ավելի փոքր քանակությամբ ${}^7\text{LiOH}$ և, որպես արդյունք, կնկատվի ջրամշակման համակարգերի գոիչների իոնափոխանակիչ խեժերի ծախսի նվազում: Պետք է նշել, որ թե՛ ${}^7\text{LiOH}$ -ը և թե՛ իոնափոխանակիչ խեժերը շատ թանկ են, և LiOH -ի վերաշրջանառության շնորհիվ կարելի է ունենալ բավականին մեծ տնտեսական արդյունավետություն:

Առաջին կոնսուրում ${}^7\text{LiOH}$ -ի հաշվեկշիռը հետևյալն է.

1. քիմիական կարգավորման համակարգի կողմից ${}^7\text{LiOH}$ -ի ներմղում առաջին կոնսուր,
2. ռեակտորում Li -ի արտադրություն,
3. Li -ի կլանում Li/Cs իոնափոխանակիչ գոիչով,
4. առաջին կոնսուրում առկա ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրացիան,
5. առաջին կոնսուրից ջերմատարի պահեստավորման համակարգ արտամղված ${}^7\text{LiOH}$:

Ջերմատարի մշակման համակարգում կատարելով անհրաժեշտ սխեմատիկ փոփոխություններ [4], կունենանք երկու տարողություն, որոնցից մեկը պարունակում է միայն H_3BO_3 -ի կոնցենտրատ, իսկ մյուսը՝ H_3BO_3 -ի և վերաշրջանառվող ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրատ: H_3BO_3 -ի և վերաշրջանառվող ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրատները կարող են օգտագործվել ռեակտորի աշխատանքի հետևյալ օպերացիաների իրականացման ժամանակ.

1. ջերմատարի բորացում մինչև վառելիքի վերաբեռնավորումը,
2. վառելիքի վերաբեռնավորումից հետո ռեակտորի գործարկում,
3. ռեակտորի հզորության փոփոխում,
4. իոնափոխանակիչ գոիչների հազեցում ${}^7\text{LiOH}$ -ով (հազեցումը կատարվում է H_3BO_3 -ի և ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրատի բաքը և գոիչները միացնող անկախ հանգույցով):

Առաջարկված լուծման հիմնական առավելություններն են.

- ${}^7\text{LiOH}$ -ի տնտեսում այն բոլոր դեպքերում, երբ պետք է առաջին կոնսուր ներմղել բորի բարձր կոնցենտրատ,
- իոնափոխանակիչ գոիչների խեժերի ծախսի կրճատում (հաշվի առնելով, որ նրանց արժեքը կազմում է մի քանի տասնյակ հազար դոլար),
- վերաշրջանառության շնորհիվ ռադիոակտիվ թափոնների քանակի կրճատում:

Ըստ հետազոտության արդյունքների՝ Ֆրանսիական 1450 ՄՎտ հզորությամբ ԱԷԿ-ում վառելիքի յուրաքանչյուր կամպանիայի ընթացքում կարելի է խնայել մինչև 25 կգ ${}^7\text{LiOH}$, ընդ որում՝ իոնափոխանակիչ գոտիների խեղդերի ծախսը կփոքրանա մինչև 1 տոննայով: Գումարային տնտեսական արդյունավետությունը կարող է կազմել մինչև 150000 ԱՄՆ դոլար: Ինչպես արդեն նշվել է, ռուսական ՋՋԷՌ տիպի կայաններում օգտագործվում է կալիում-ամոնիակային ջրաքիմիական ռեժիմը: KOH-ի վերաշրջանառության համանման համակարգի ստեղծումը նպատակահարմար չէ՝ նկատի ունենալով KOH-ի փոքր արժեքը: Սակայն, որպես հիմք ${}^7\text{LiOH}$ -ի օգտագործման դեպքում, մեկ կամպանիայի համար անհրաժեշտ 40 կգ-ից կարելի է վերաշրջանառության առաջարկվող համակարգի միջոցով խնայել 20 կգ ${}^7\text{LiOH}$ և 0,7 տոննա իոնափոխանակիչ խեժ:

ԱԷԿ-ների շահագործման արդյունքում անխուսափելիորեն առաջանում են մեծ քանակությամբ միջին և ցածր ակտիվության հեղուկ ռադիոակտիվ թափոններ (ՀՌԹ): Ծավալի փոքրացման նպատակով վերջիններիս հետագա մշակումն այսօր կարևոր հիմնահարց է: Ներկայումս լայնորեն կիրառվում են ՀՌԹ-ների ծավալների փոքրացման հետևյալ եղանակները.

- գոլորշիացման մեթոդը, որի հիմնական թերությունն այն է, որ բոլոր ռադիոնուկլիդները մնում են գոլորշացուցչի արգասիքներում՝ հանդիսանալով պինդ ռադիոակտիվ թափոն և առաջացնելով վերջիններիս հետագա պահպանման խնդիրը,
- իոնափոխանակման մեթոդը, որի հիմնական թերություններն են.
 1. կիրառվում է մինչև 1 գ/լ աղապարունակությամբ ՀՌԹ-ի դեպքում,
 2. օգտագործվող իոնափոխանակիչ խեժերը իրենք իսկ դառնում են ռադիոակտիվ թափոններ,
 3. գործնականում չի ապահովվում մաքրման անհրաժեշտ խորությունը, որի պատճառով էլ այն կիրառվում է միայն աշխատանքի փակ ցիկլերի դեպքում:

Այս խնդիրը լուծելու համար Հայկական ԱԷԿ-ում կառուցվել է էլեկտրադիալիզի սկզբունքով աշխատող ՀՌԹ-ի մշակման տեղակայանք: Աղյուսակում բերված է գոլորշիացման և առաջարկվող մեթոդների համեմատությունը:

Աղյուսակ

Գոլորշիացման և էլեկտրադիալիզի մեթոդների համեմատությունը		
Ցուցանիշներ	Գոլորշիացման մեթոդ	Էլեկտրադիալիզի առաջարկվող մեթոդ
Ծավալի փոքրացում	160 անգամ	2000 անգամ
Բորաթթու	չի կորզվում	կորզվում է
Տեխնիկական բարդության աստիճան	միջին	մեծ
Շահագործման արժեք	մեծ	փոքր
Պահպանման արժեք	մեծ	փոքր
Ջրի մաքրման արժեք	մեծ	փոքր
Ստացվող ռադիոնուկլիդների կյանքի տևողություն	186 տարի	6 տարի
Բաքերի անհրաժեշտ քանակություն	մեծ	փոքր
Բաքերի երկարակեցություն	կարճ	երկար
Հատուկ անձնակազմի ուսուցանում	չի պահանջվում	պահանջվում է

Հայտնի է, որ երկարակյաց ռադիոակտիվ թափոնների մեկ տոննայի պահպանման արժեքը կազմում է 28888 ԱՄՆ դոլար: Գոլորշիացման սարքավորման աշխատանքի արդյունքում ՀԱԷԿ-ում ամեն տարի առաջանում է 60 տոննա պինդ ռադիոակտիվ թափոն: Երեսուն տարվա ընթացքում առաջացող 1800 տոննա նման թափոնների մշակման համար անհրաժեշտ կլինի 52 մլն. ԱՄՆ դոլար, այնինչ առաջարկվող մեթոդի դեպքում այն կկազմի ընդամենը 27 մլն. ԱՄՆ դոլար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Jean Bussac, Paul Reuss.** Traité de Neutronique. 1985, Hermann.
2. **Коростелев Д.П.** Водный режим и обработка радиоактивных вод атомных электростанций. -М.: Энергоатомиздат, 1983. - 240 с.
3. **Мартинова О.И., Живилова Л.М., Субботина Н.П.** Химический контроль водного режима атомных электростанций. -М.: Атомиздат, 1980. - 208 с.
4. **Նալբանդյան Գ.Գ.** PWR տիպի ռեակտորների ջրամշակման համակարգում Li-ի օգտագործման նոր մեթոդ// ՀՊՃՀ-ի տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2001.- էջ 170-171:

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.10. 2002:

А.В. ЗАРАНЦЯН, Г.Г. НАЛБАНДЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ ПЕРВОГО КОНТУРА ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ С УЧЕТОМ НОВЫХ РЕШЕНИЙ

В системах водоподготовки первого контура водо-водяных энергетических реакторов предложены новые решения, целью которых является уменьшение количества образований радионуклидов и продуктов коррозии, обеспечение регенерации борной кислоты и щелочей, необходимых для регулирования реактивности и pH боросодержащих радиоактивных вод, а также переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) с эффективным выделением из них долгоживучих радиоактивных изотопов (существенным уменьшением объема ЖРО для дальнейшего хранения).

A.V. ZARANTSYAN, G.G. NALBANDYAN

INVESTIGATION OF COOLANT TREATMENT SYSTEMS OF PRIMARY CIRCUIT OF PRESSURIZED WATER REACTORS CONSIDERING NEW HYPOTHESES

New hypotheses on the coolant storage and treatment systems of primary circuit of pressurized water reactors to decrease the quantity of radioactive production and corrosion products in the primary circuit and to regenerate boric acid and hydroxides from the borated radioactive waters as well as to treat the radioactive liquid wastes (RLW) in effective way providing the removal of long life radioactive isotopes (essentially decreasing the volume of RLW) are considered.

А.Г. АКОПЯН

МОДЕЛЬ РАНЖИРОВКИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается проблема ранжировки энергообъектов в развивающейся электроэнергетической системе. Дается описание математической имитационной модели решения рассматриваемой проблемы, а также конкретный пример ее реализации.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, теплоснабжающая система, топливоснабжающая система, имитационная математическая модель, ранжировка, энергообъект.

Общая задача оптимизации схемы энергоснабжения региона сводится к поиску рациональной структуры и развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и его составляющих: электроэнергетической (ЭЭС), теплоснабжающей (ТСС) и топливоснабжающей (ТпСС) систем.

В данной работе сделана попытка разработать модель ранжировки энергообъектов, т.е. генерирующих мощностей ЭЭС, по типам электростанций и видам используемых энергоресурсов, т.е. модель выбора рационального сочетания мощности и месторасположения источников энергоснабжения, линий передачи энергии с учетом потребности в капитальных и материальных затратах, трудовых ресурсах [1]. Решение такой задачи приобретает особую актуальность для регионов, располагающих ограниченными топливно-энергетическими ресурсами, формирование ТЭК которых базируется на импортируемых видах энергии (как, например, Республика Армения).

Отметим, что имеющаяся для оптимизации ЭЭС исходная информация не всегда поддается четкому анализу и математической формулировке вследствие неопределенности стратегий, неполноты и недостаточной достоверности этой информации. Сказанное в значительной степени ограничивает возможности имеющегося математического аппарата оптимизации подобных сложных экономико-технологических систем. Добавим, что в математическом понимании в подобных случаях оптимальное решение просто не может быть найдено [2-4].

Рассмотрим процесс имитации получения согласованного решения формирования оптимальной структуры ЭЭС, которое базируется на результатах оптимизационных субмоделей получения набора вариантов развития существующих и предполагаемых источников энергоснабжения. При формировании имитационной модели развивающейся ЭЭС основным исходным управляющим параметром (воздействием) выступает задание по производству и отпуску энергии.

Выбор наилучшего варианта перспективного формирования структуры ЭЭС является основной задачей управления сложной экономико-технологической

системой. Ее математическую формулировку можно представить следующей последовательностью.

В наиболее общем случае можно предполагать гипотетическую ЭЭС, состоящую из m источников энергоснабжения (ТЭС, ТЭЦ, АЭС, АТЭЦ, ГЭС и др.), каждый из которых может производить ε видов энергии. Каждый k -й источник энергоснабжения может представляться t -м вариантом реализации, причем его можно записать вектором A_{kt} , показывающим объем произведенной k -м источником энергии при t -м варианте его реализации ε_{kt} и соответствующие при этом затраты Z_{kt} [3].

Такая постановка задачи сводится к построению технологических множеств S_j и P_j , состоящих из линейных комбинаций векторов

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p A_{kt} Z_{kt}$$

с дополнительным условием вида

$$\sum_{t=1}^p Z_{kt} \leq 1 \quad (k = \overline{1, m}; Z_{kt} = 0 \vee 1),$$

где Z_{kt} – интенсивность использования варианта (k, t) , принимающего дискретное значение 0 или 1, означающее выбор не более одного варианта развития каждого источника.

Общее задание по отпуску энергии источниками энергоснабжения может быть представлено n -мерным вектором ε_j , определяющим допустимые подмножества $S_j(\varepsilon_j)$ как совокупность наборов интенсивностей $\{Z_{kt}\}$, удовлетворяющих векторному неравенству

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p A_{kt}^* Z_{kt} \geq \varepsilon_j,$$

где A_{kt}^* – вектор, составленный из компонента ε_{kt} вектора A_{kt} .

Критерием выбора наилучшего решения могут служить минимум приведенных затрат, инвестиций, расхода топлива, металла и др. ограничивающие факторы. Отметим, что затраты по элементам определяются по общепринятой методике технико-экономических расчетов [1,2]. В качестве единицы измерения затрат рассматривается понятие т.н. “условной единицы – у.е.”, эквивалентной приблизительно 550 драмам.

Отличительная особенность имитационного моделирования заключается в том, что здесь громоздкие оптимизационные модели и трудоемкие расчетные процедуры заменяются последовательным вычислением затрат (капитальных, эксплуатационных, металла, топлива и др.) на основании сформулированных алгебраических уравнений, что весьма эффективно осуществляется на базе современной вычислительной техники [3,7].

Очевидно, что при величине интенсивности $Z_{kt} = 1$ данный вариант формирования ЭЭС предпочтительнее для реализации, а при $Z_{kt} = 0$ его применение

нежелательно. Такая математическая модель формирования гипотетической ЭЭС может быть представлена следующим образом:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p 3_{kt} Z_{kt} \rightarrow \min, \quad \sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p N_{kt} Z_{kt} \geq N_p;$$

$$\sum_{t=1}^p Z_{kt} \leq 1 \quad (k = \overline{1, m}; \quad Z_{kt} = 0 \vee 1),$$

где N_{kt} – электрическая мощность k -го источника энергоснабжения при его развитии по варианту t , MBt ; N_p – расчетное энергопотребление гипотетического региона, MBt ; Z_{kt} – искомая интенсивность применения технологического решения (k, t) .

Практическую реализуемость описанной имитационной модели можно показать на примере формирования структуры гипотетической ЭЭС региона, располагающего ограниченными топливно-энергетическими ресурсами (например, Республика Армения). В качестве отправного принимается исходное состояние гипотетической ЭЭС, состоящей из ТЭС (ГРЭС и ТЭЦ), АЭС. Дальнейшее развитие ЭЭС предполагается на электростанциях с топливной технологией. В итоге рассматриваются 7 источников энергоснабжения при 3 возможных вариантах их развития ($m=7, p=3$).

На основании располагаемой информации о характере энергопотребления и динамике его роста производится формирование вероятных состояний развития ЭЭС путем заполнения определенного количества многофакторных матриц, характеризующих исходное состояние и направление развития системы с учетом длительности периода (по столбцам матрицы) и типа существующих и предполагаемых источников (по строкам матрицы). При рассмотрении задачи развития ЭЭС на отдаленную перспективу (15...20 лет) и предельно возможных изменениях информации необходимое количество многофакторных матриц может достигнуть до 10...20 [2].

Очевидно, в числе претендентов могут оказаться все возможные источники, а в качестве критериев могут выступать и другие равновеликие параметры: капитальные или материальные затраты, расход топлива. Нетрудно доказать работоспособность модели и по этим критериям. В рассматриваемом примере для ТЭС предполагается органическое газомазутное топливо при предельно высокой его стоимости для данного энергорайона. Рассматривается также вариант сооружения АЭС на базе современных ядерных энергоблоков ВВЭР-640.

В качестве иллюстрации в табл. 1 приведена многофакторная матрица исходного состояния ЭЭС и направления ее развития, а в табл. 2 – значения приведенных затрат по источникам энергоснабжения (полных 3_{kt} и удельных $3_{kt} = 3_{kt} / N_{kt}$).

Таблица 1

Многофакторная матрица вероятного состояния формирования энергоснабжающей системы гипотетического региона, состав оборудования и электрическая мощность источников ГРЭС, ТЭЦ, АЭС

Характеристики источников энерго-снабжения	Вероятные состояния формирования источников –электростанций					
	1		2		3	
	Число и тип агрегатов	Электрическая мощность, МВт	Число и тип агрегатов	Электрическая мощность, МВт	Число и тип агрегатов	Электрическая мощность, МВт
1.ГРЭС-1200 на базе энерго-блоков К-300-240	2хК-300-240	2 х 300=600	3хК-300-240	3 х 300=900	4хК-300-240	4х 300=1200
2.ГРЭС-1200 на базе энерго-блоков К-200-130	2хК-300-200-130	2 х 200=400	4хК-200-130	4 х 200=800	6хК-200-130	6х 200=1200
3.ТЭЦ-1000 на базе теплофикационных энергоблоков Т-250-240	2хТ-250-240	2 х 250=500	4хТ-250-240	4 х 250=1000	6хТ-250-240	6х 250=1500
4.ТЭЦ-1250 на базе маневренных ГТУ –250	2хГТУ-250	2 х 250=500	4хГТУ-250	4 х 250=1000	6хГТУ-250	6х 250=1500
5.ТЭС-900 на базе ГТУ –150	2хГТУ-150	2 х 150=300	4хГТУ-150	4 х 150=600	6хГТУ-150	6х 150=900
6. ТЭС-2000 на базе маневренных энергоблоков К-500-130/510	2хК-500-130/510	2 х 500=1000	3хК-500-130/510	3 х 500=1500	4хК-500-130/510	4х 500=2000
7.АЭС-2560 на базе ядерных энергоблоков ВВЭР-640	2хВВЭР-640	2 х 640=1280	3хВВЭР-640	3 х 640=1920	4хВВЭР-640	4х 640=2560

Рассмотрим поведение оптимального набора вариантов формирования структуры ЭЭС при изменении расчетного энергопотребления N_p . Анализ данных табл. 2 показывает, что в области $N_p \in [0,1500]$ (1500 – расчетная электрическая мощность технологического решения по варианту (4,3)) самым эффективным

является технологическое решение (4,3), характеризующееся минимальными удельными затратами. Очевидно, по мере роста энергопотребления появляется необходимость применения менее эффективных технологических решений. Так, из данных табл. 2 видно, что следующим по эффективности является решение (3,3), при котором область N_p составляет (1500, 3000).

Таблица 2

Приведенные затраты по источникам энергоснабжения гипотетического региона (в числителе – полные, тыс. у.е./год, в знаменателе – удельные, тыс. у.е./год, МВт)

Источники энергоснабжения	Вероятные состояния формирования источников-электростанций		
	1	2	3
2	128000/213	189000/210	246/205
2	90000/225	178000/223	265000/221
3	88000/176	168000/168	244000/162
4	83000/167	163000/163	240000/160
5	76000/253	152000/252	226000/251
6	234000/234	348000/232	458000/229
7	714000/560	990000/515	1208000/475

Аналогичным образом, увеличивая расчетное энергопотребление, придем к результирующей матрице оптимального набора вариантов (табл. 3).

Таблица 3

Результирующая матрица оптимального набора вариантов формирования гипотетической ЭЭС региона по мере возрастания энергопотребления до расчетного (значение интенсивностей Z_{kt})

Источники	Вероятные состояния формирования источников электростанций						
	123	123	123	123	123	123	123
1	000	000	001	001	001	001	001
2	000	000	000	001	001	001	001
3	000	001	001	001	001	001	001
4	001	001	001	001	001	001	001
5	000	000	000	000	000	001	001
6	000	000	000	000	001	001	001
7	000	000	000	000	000	000	001
$N_p \in$	[0, 1500]	[1500, 3000]	[3000, 4200]	[4200, 5400]	[5400, 7400]	[7400, 8300]	[8300, 10860]

Таким образом, анализ данных интенсивностей применения технологических решений позволяет производить набор оптимальных решений по всему диапазону изменения энергопотребления, ранжируя их по эффективности. Причем область минимальных суммарных приведенных затрат можно установить следующей функциональной зависимостью:

$$F(N_p) = \min \sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^p 3_{kt} Z_{kt}; \{Z_{kt}\} \in S(\Theta),$$

где $S(\mathcal{E})$ – множество, определяемое условиями задачи.

Целочисленность рассматриваемой задачи показывает, что функция $F(N_p)$ графически может представляться ступенчатой линией (см. рис.).

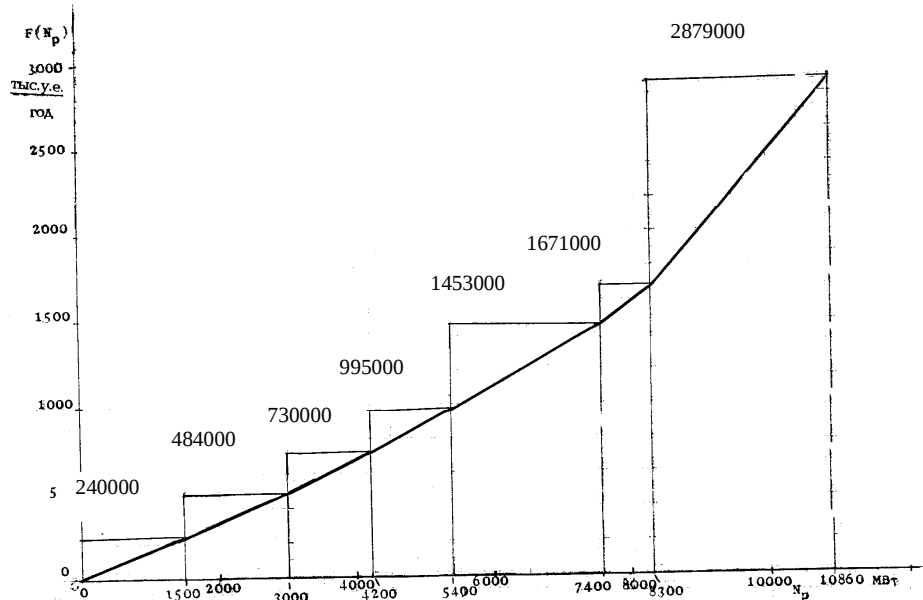


Рис. Зависимость минимальных приведенных затрат по гипотетической ЭЭС от ее мощности

При условии пренебрежения целочисленностью задачи функция $F(N_p)$ может изображаться кусочно-линейной кривой с отрезками, получающимися соединением узловых точек этой функции, где происходит присоединение новых технологических решений по убывающей эффективности. Причем угол наклона отрезков ломаной на рисунке постоянно увеличивается, т.е. названная функция является выпуклой, что играет важную роль при обосновании сходимости алгоритма решения задачи согласования заданий [3].

Дополним, что высокая степень неопределенности исходного состояния ЭЭС и перспективы ее развития, а также информация, закладываемая в основу решения задачи, не позволяют прийти к однозначному решению об оптимальности структуры ЭЭС в динамике развития. Сказанному в значительной степени “способствует” также многокритериальность задачи (минимум расхода топлива, материальных и капитальных затрат, лимиты на ресурсы, повышение качества и надежности энергоснабжения и др.) [5]. Поэтому более приемлемым методом решения задачи является нахождение множества рациональных стратегий на базе формирования и анализа результирующей “платежной” матрицы $|Z_{kt}|$, характеризующей затраты по рассматриваемым состояниям развития системы [2].

На основе подробного анализа многофакторной и результирующей “платежной” матриц можно прийти к наиболее предпочтительным (одно или

несколько) направлениям развития ЭЭС, тем самым частично преодолевая неопределенность задачи. Сказанное можно подтвердить, пользуясь несколькими критериями, применяемыми в теории игр и статистических решений [2, 6]. Характерная особенность применяемой имитационной модели заключается также в том, что она позволяет рассматривать всю вероятную область возможного роста потребности в электроэнергии, тем самым создавая условия для производства набора источников при предельно допустимых затратах.

Необходимо отметить, что имитационная модель развивающейся ЭЭС пригодна как для нахождения оптимальной структуры системы в динамике ее развития (определение очередности и сроков, приоритетности вводимых источников), так и для оптимального управления режимами работы ЭЭС и электростанций (определение очередности подключения к работе источников и агрегатов, распределение нагрузки между работающими источниками и агрегатами и др.). В последнем случае задача существенно упрощается ввиду того, что в модель закладываются текущие эксплуатационные затраты взамен трудноопределяемых приведенных затрат [3].

Отметим также, что в данном случае процесс оптимизации структуры ЭЭС рассмотрен при благоприятных условиях, без учета ограничений на какой-либо ресурс. В наиболее общем случае процесс получения согласованного решения носит многошаговый, итеративный характер. Причем при “движении” по пути к согласованному решению возможно появление необходимости учета других управляющих параметров – воздействий (предельно допустимые мощности электростанций, капиталовложения, ограничения на топливо, экономический рост и др.). В этом случае, “манипулируя” указанными управляющими параметрами – воздействиями, также можно достичь согласованного решения.

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

1. Закладываемая в основу решения задачи оптимизации структуры ЭЭС исходная информация не всегда поддается четкому математическому анализу и формулировке вследствие неопределенности стратегий, неполноты и недостаточной ее достоверности. Сказанное существенно ограничивает возможности применения имеющегося математического аппарата оптимизации сложных экономико-технологических систем. В математическом плане в подобных случаях оптимальное решение просто не может быть получено.

2. Для решения задачи оптимизации структуры и развития ЭЭС более приемлемым оказывается метод имитационного моделирования на базе разработки имитационно-вычислительных комплексов с целью создания “советчиков” для исследователя в выборе наилучшего решения. Имитационная модель ЭЭС выступает в качестве организующего блока взаимосвязанного и целеустремленного функционирования оптимизационных и игровых моделей решения локальных задач.

3. Имитационная модель позволяет производить набор оптимальных решений формирования структуры ЭЭС по всему диапазону изменения расчетного

энергопотребления, ранжируя их по эффективности, а также дает возможность решить задачу оптимального развития ЭЭС с различным характером энергопотребления и источниками энергоснабжения на базе формирования и анализа многофакторной и результирующей “платежной” матриц. Имитационная модель ЭЭС может быть применена также для задачи оптимизации управления режимами ЭЭС и электростанций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические положения оптимизации развития топливно-энергетического комплекса / Отв. ред. **Л.А. Мелентьев**. – М.: Наука, 1975. – 88 с.
2. **Аршакян Д.Т.** Математическая модель развивающейся теплоснабжающей системы // Теплоэнергетика. – 1987. – №8. – С. 50-53.
3. **Аршакян Д.Т.** Имитационное моделирование теплоснабжающей системы в составе топливно-энергетического комплекса района // Изв. высш. уч. заведений. Энергетика. – 1987. – №10. – С. 3-9.
4. **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 489 с.
5. **Кини Р.Л., Райфа Х.** Принятие решений при многих критериях: предложение и замещение. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
6. **Нейман Дж. Фон, Моргенштерн О.** Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 707 с.
7. Имитационный подход к моделированию развития и размещения генерирующих мощностей / **Д.А. Арзамасцев, С.С. Ананичева и др.** // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1987. – №6. – С. 10-18.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.09.2002.

Հ.Գ. ՀԱԿՈՔՅԱՆ

ՋԱՐԳԱՑՈՂ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ ԷՆԵՐԳԱՕՐՅԵԿՏՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՄՈՂԵԼ

Դիտարկվում է զարգացող էլեկտրաէներգետիկական համակարգում էներգաօբյեկտների դասակարգման հիմնախնդիրը: Տրվում է վերջինիս լուծման մաթեմատիկական նմանակային մոդելի նկարագրությունը, ինչպես նաև կիրառման կոնկրետ օրինակ:

H.G. HAKOPYAN

RANKING MODEL OF POWER OBJECTS FOR DEVELOPING AN ELECTRIC POWER SYSTEM

A ranking problem of power objects for a developing electric power system is considered. A mathematical imitation model description solving the problem to be considered and an example of its realization are given.

Է.Ա. ԵՂՈՅԱՆ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՋՐԱՄԱՏԱԿԱՐԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ
ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ ԵՎ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄ
(ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԱԷԿ-Ի ՕՐԻՆԱԿԻ ՎՐԱ)

Ուսումնասիրվում են Հայկական ԱԷԿ-ի տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգի աշխատանքային ռեժիմների լավարկման ուղիները՝ աշտարակահովացուցիչների ամբողջ տեղակայված հովացման մակերեսի օգտագործման միջոցով: Առաջարկվում է աշտարակահովացուցիչների վերակառուցման տարբերակ: Մաթեմատիկական մոդելավորման միջոցով գնահատվել է էներգաբյուրեղի հզորության աճը առաջարկվող ռեժիմով աշխատելու դեպքում:

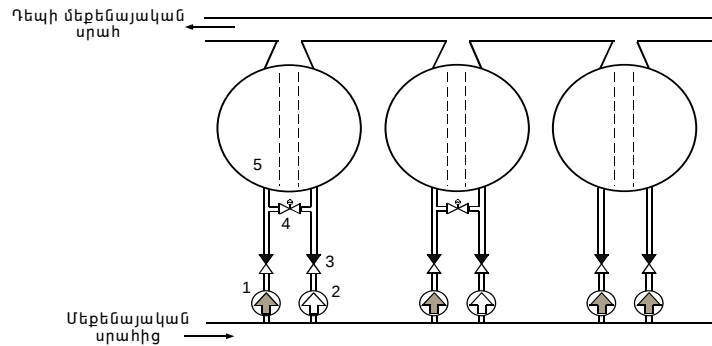
Առանցքային բառեր: տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգ, աշտարակահովացուցիչ, կոնդենսատոր, շոգետուրբին, շրջանառության պոմպ:

ԱԷԿ-ի և ԱԷԿ-ի տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգերն իրականացվում են երկու սխեմաներով՝ ուղղահոս և շրջապտույտային: Երկրորդի դեպքում կիրառվող ջրահովացուցիչների մակերեսի մեծացումը (այլ հավասար պայմանների դեպքում) հանգեցնում է շոգետուրբինների կոնդենսատորների հովացնող ջրի ջերմաստիճանի նվազման, հետևաբար՝ արտադրվող հզորության մեծացման: Էլեկտրակայանների նախագծման ժամանակ ջրահովացուցիչների մակերեսի ընտրությունը կատարվում է տեխնիկատնտեսական հաշվարկների հիման վրա:

Հայկական ԱԷԿ-ի երկու էներգաբյուրեղները կահավորված են չորս գոլորշիացման տիպի աշտարակահովացուցիչներով: 1995 թվականի վերագործարկումից ի վեր աշխատում է միայն N2 էներգաբյուրեղ: Կայանի տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգն աշխատում է նախագծային ռեժիմով, այսինքն՝ շահագործվում են թվով երկու աշտարակահովացուցիչներ: Վերագործարկումից առաջ կատարված նորոգման աշխատանքներից հետո չորս աշտարակահովացուցիչներից շահագործման ենթակա են երեքը (N2,3,4), որոնցից մեկը գտնվում է պաշարային վիճակում: ՀԱԷԿ-ի տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգում կիրառված է ջրի մատուցման միջանկյալ ճնշման ավազանով սխեմա, որը թույլ է տալիս ջրի ծախսը կարգավորել մեկ կամ մի քանի շրջանառության պոմպերի անջատմամբ և միացմամբ, ինչը շրջանառության պոմպերի լավարկված շահագործման մեծ հնարավորություններ է ընձեռում:

Ստորև դիտարկվում է ՀԱԷԿ-ի տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգի լավարկման հնարավորությունը “պաշարային” երրորդ աշտարակահովացուցիչ շահագործման միջոցով: Դիտարկվող տարբերակում օգտագործվում է երեք ջրահովացուցիչների հովացման մակերեսը՝ առանց հովացնող ջրի ծախսի, այսինքն՝ աշխատող շրջանառության պոմպերի քանակի ավելացման: Աշխատանքի մեջ են մնում թվով չորս շրջանառության պոմպեր՝ ապահովելով

հովացնող ջրի նախագծային ծախսը: Այն իրականացվում է երեք աշտարակահովացուցիչներից երկուսի աշխատանքային ռեժիմների փոփոխմամբ, որի նպատակը ջրահովացուցչի ռոտման խտության նվազեցումն է, ինչն իրականացվում է երկուսի փոխարեն մեկ շրջանառության պոմպի շահագործմամբ: Այդ նպատակով (մեկ պոմպի ջրի ծախսն ամբողջ հովացման մակերեսի վրա բաշխելու համար) անհրաժեշտ է միմյանց միացնել աշտարակահովացուցիչների երկու մատուցող ջրատարները (նկ. 1):



Նկ. 1

1 - աշխատող շրջանառության պոմպ; 2 - չաշխատող շրջանառության պոմպ;
3 - հետադարձ փական; 4 - անջատիչ փական; 5 - աշտարակահովացուցիչ:

Հասկանալի է, որ առաջարկվող ռեժիմին անցնելը կհանգեցնի էներգաբերկի ոչ միայն բրուտոտ, այլ նաև նետոտ հզորության աճի (սեփական կարիքների վրա ծախսվող հզորությունը մնում է անփոփոխ): Դիտարկվող ռեժիմի շահավետության գնահատման նպատակով իրականացվել է տուրբոտեղակայանքների, կոնդենսացիոն տեղակայանքների և տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգի մաթեմատիկական մոդելավորում:

Աշտարակահովացուցիչների ելքում ջրի ջերմաստիճանը որոշվում է

$$t = t' + \delta t(\Delta t) + \delta t(w) + \delta t_i \quad (1)$$

արտահայտությամբ, որի առաջին անդամը ջրի ջերմաստիճանն է քամու բացակայության և $Dt=10^\circ\text{C}$ պայմանների դեպքում և որոշվում է համապատասխան հաշվարկային նոմոգրամներից: Մյուս երեք անդամներն ուղղումներ են, որոնք համապատասխանաբար հաշվի են առնում հովացման գոտու մեծությունը, քամու արագությունը և ջերմաստիճանի փոքրճական արժեքի շեղումը նոմոգրամային արժեքից: Վերջինս կապված է ժամանակի ընթացքում ռոտացի մաշվածության հետ:

(1) արտահայտության բաղադրիչների մաթեմատիկական բնութագրերը ստանալու համար օգտագործվել են ՀԱԷԿ-ի աշտարակահովացուցիչների հաշվարկային նոմոգրամները, որոնցից վերցված արժեքների հիման վրա ռեգրեսիոն վերլուծության միջոցով ստացվել են հետևյալ արտահայտությունները.

$$t' = 6,162 + 0,35 \cdot \tau + 5,06474 \cdot (q - 3,5)^{0,7} \cdot (t_{\text{ոդ}} + 10)^{-0,24} + \\ + 0,6584 \cdot (t_{\text{ոդ}} + 12)^{0,85} \cdot (100 - \varphi)^{-0,025} \cdot (q + 4)^{-0,022}, \quad (2)$$

$$\tau = t_{on} - 2,2113 \cdot 10^{-5} \cdot (100 - \varphi)^{1,1} \cdot (t_{on} + 43)^2, \quad (3)$$

$$\delta t(\Delta t) = -0,0153 \cdot (q - 1)^{0,42} \cdot (50 - t_{on})^{0,82} \cdot (10 - \Delta t)^{1,12}, \quad (4)$$

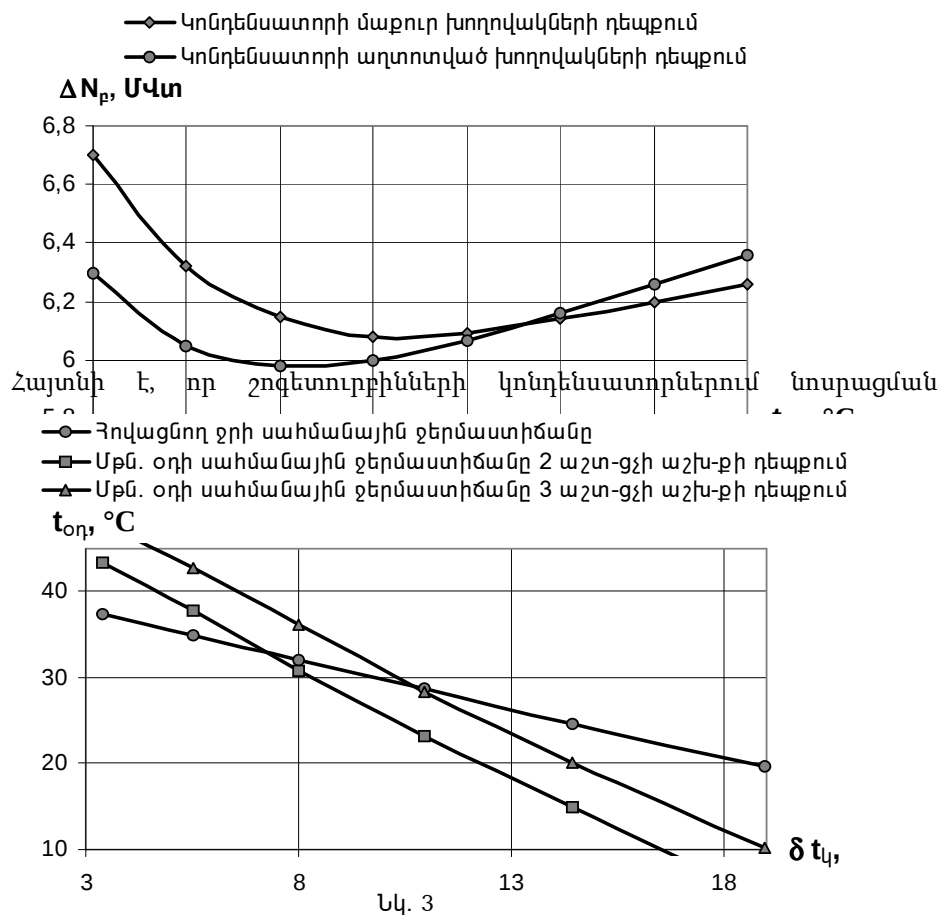
$$\delta t(w) = 0,65 \cdot w, \quad (5)$$

$$\delta t_i = 0,4 \div 0,6, \quad (6)$$

որտեղ t_{on} - ն օդի ջերմաստիճանն է, $^{\circ}\text{C}$, j - ն՝ օդի հարաբերական խոնավությունը, %, q - ն՝ աշտարակահովացուցիչում ոռոգման խտությունը, $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{ժ}$, Δt - ն՝ աշտարակահովացուցիչում հովացման գոտու մեծությունը, $^{\circ}\text{C}$, t - ն՝ օդի ջերմաստիճանը ըստ խոնավ ջերմաչափի, $^{\circ}\text{C}$, w - ն՝ քամու արագությունը, $\text{m}/\text{վ}$, δt_i - ն՝ աշտարակահովացուցիչում հովացված ջրի ջերմաստիճանի շեղումը նոմոգրամային արժեքից, $^{\circ}\text{C}$:

Կատարված հաշվարկների հիման վրա համեմատություն է կատարվել նախագծային և առաջարկվող ռեժիմների միջև: Հաշվարկներն իրականացվել են շոգեգեներացնող տեղակայանքի 92% ջերմային հզորությամբ աշխատանքային ռեժիմի համար, որը ՀԱԷԿ-ի N2 էներգաբլոկի ռեակտորային տեղակայանքի առավելագույն թույլատրելի հզորությունն է վերագործարկումից ի վեր: Հաշվարկներում ընդունվել է, որ տուրբոտեղակայանքներն աշխատում են նախագծային ջերմային սխեմայով, իսկ բեռը հավասար է բաշխված նրանց միջև:

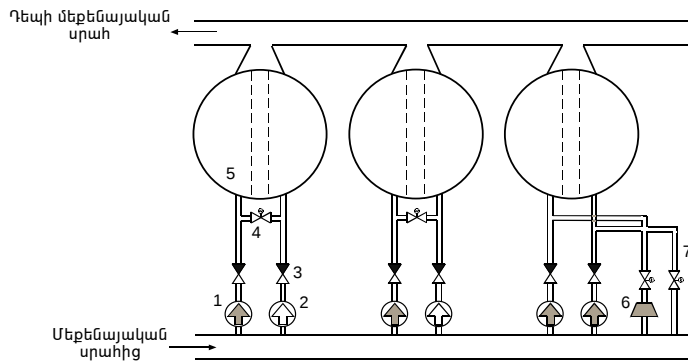
Ըստ ստացված արդյունքների՝ առաջարկված ռեժիմին անցումը կհանգեցնի շոգեառուրբիների կոնդենսատորների հովացնող ջրի ջերմաստիճանի 2,2-3,2 $^{\circ}\text{C}$ -ով նվազման՝ կախված մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանից: Արդյունքում շոգեգեներացնող տեղակայանքի հաստատուն ջերմային հզորության դեպքում էներգաբլոկի էլեկտրական հզորության աճը կկազմի 5,9-6,7 ՄՎտ ՝ կախված մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանից և կոնդենսատորի խողովակների մաքրության աստիճանից (նկ. 2): Այն կկազմի էներգաբլոկի նետոտ հզորության մոտ 1,6-2%-ը:



վատացումը հանգեցնում է վառելիքի զգալի գերաժախսի և նոսրացման որոշակի պայմաններում սահմանափակում է տուրքոգներատրային տեղակայանքի հզորությունը: Ակնհայտ է, որ նոսրացման վատացման հիմնական պատճառներից է հովացնող ջրի բարձր ջերմաստիճանը, ինչն ուղղակիորեն կախված է մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանից: Հետևաբար՝ վերջինս էներգաբերկի հզորությունը սահմանափակող գործոն է: Կատարված հաշվարկները ցույց են տալիս, որ անցումն առաջարկվող ռեժիմին կհանգեցնի էներգաբերկի առավելագույն հզորությունը սահմանափակող մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանի արժեքի աճի 4,5-5,5 °C-ով՝ կախված կոնդենստորում ջերմաստիճանային էջքի մեծությունից: Հաշվարկների արդյունքները ներկայացված են նկ. 3-ում:

ՀԱԷԿ-ում կիրառված միջանկյալ “ճնշման” ավազանով սխեմայի առանձնահատկություններից մեկն այն է, որ շրջանառության պոմպերի աշխատանքային ռեժիմը կախված չէ կոնդենսատորների ջրային տրակտի հիդրավլիկական դիմադրությունից, որը, ինչպես հայտնի է, կոնդենսատորի խողովակների աղտոտմանը զուգընթաց, էապես աճում է: Աղտոտված խողովակներով կոնդենսատորի թողունակությունը նվազում է և առաջանում է հովացնող ջրի ավելցուկ, ինչի պատճառով “ճնշման” ավազանում տեղի է ունենում ջրի մակարդակի բարձրացում: Ավազանում ջրի մակարդակի՝ չափից ավելի աճը կանխելու նպատակով նախատեսված է թափման գիծ դեպի ստորին հեռացնող ջրուղի: Հետևաբար՝ շոգետուրբինների կոնդենսատորներում ջրի մի մասը օգտակար կերպով չի օգտագործվում: Ըստ ՀԱԷԿ-ից վերցված տվյալների՝ խիստ աղտոտված խողովակների դեպքում ջրի ավելցուկը կազմում է մեկ շրջանառության պոմպի ծախսի 60-70%-ը:

Վերոհիշյալից ելնելով՝ հետազոտվել է սխեմայի փոփոխության լրացուցիչ տարբերակ՝ վերաշրջանառության գծի ավելացումով (նկ. 4): Այս տարբերակում ռոտզման մեծ խտությամբ աշխատող աշտարակահովացուցչի վրա ավելացվում է վերաշրջանառության գիծ, որով կոնդենսատորներում չօգտագործվող հովացնող ջրի քանակությամբ ջուր վերադարձվում է ստորին ջրուղի՝ առանց աշտարակահովացուցչի մատուցվելու: Արդյունքում տվյալ ջրահովացուցչում տեղի է ունենում ռոտզման խտության, հետևաբար նաև՝ հովացված ջրի ջերմաստիճանի նվազում: Դիտարկված է նաև վերաշրջանառության գծի վրա հիդրոտուրբինի տեղադրման դեպքը, որը, օգտագործելով շրջանառության պոմպերի զարգացրած ճնշումը, կարտադրի լրացուցիչ էլեկտրական հզորություն:



Նկ. 4
6 - հիդրոտուրբին; 7 - վերաշրջանառության շրջանցող (բայպասային) գիծ:

Մշակված մաթեմատիկական մոդելի միջոցով գնահատվել է այս տարբերակի արդյունավետությունը: Դիտարկվել են աշխատանքային ռեժիմներ՝ մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանի և վերաշրջանառության ծախսի տարբեր մեծությունների դեպքում: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ հովացնող ջրի ջերմաստիճանի նվազումը և էներգաբաշխման արտադրած հզորության աճը զծային կերպով աճում են՝ վերաշրջանառության ծախսից կախված: Այս տարբերակի արդյունավետությունը շատ ավելի զգալի է մթնոլորտային օդի բարձր ջերմաստիճանների դեպքում: Այսպես, օդի 30 $^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանի դեպքում վերաշրջանառության շնորհիվ հովացնող ջրի ջերմաստիճանի նվազումը հասնում է 0,7 $^{\circ}\text{C}$ -ի, իսկ դրան համապատասխան էներգաբաշխման հզորության աճը՝ մոտ 2 ՄՎտ -ի: Իսկ մթնոլորտային օդի միջին տարեկան ջերմաստիճանի 11,3 $^{\circ}\text{C}$ մեծության դեպքում այդ մեծությունները համապատասխանաբար կազմում են 0,5 $^{\circ}\text{C}$ և 1,1 ՄՎտ : Հիդրոտուրբինի միջոցով արտադրված հզորությունը մոտավոր գնահատմամբ կկազմի մինչև 0,5-0,6 ՄՎտ :

Վերաշրջանառության գծի կիրառումը դիտարկվել է նաև աշտարակահովացուցիչների նախագծային ռեժիմով աշխատանքի դեպքում՝ վերջիններից միայն մեկին միացումով: Նախորդ տարբերակի համեմատ՝ այս դեպքում արդյունավետությունը ավելի փոքր է (ջերմաստիճանի նվազումը ստացվում է մոտ երկու անգամ փոքր): Դա բացատրվում է նրանով, որ առաջին տարբերակում վերաշրջանառությունն իրականացվում է ամենացածր արդյունավետությամբ աշխատող աշտարակահովացուցիչ վրա, իսկ երկրորդ տարբերակում երկու ջրահովացուցիչներն աշխատում են համարյա նույն արդյունավետությամբ:

Եզրակացություններ

- Ըստ կատարված հաշվարկների՝ տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգի շահագործումն առաջարկվող սխեմայով հանգեցնում է էներգաբաշխման աշխատանքի շահավետության բարձրացման՝ ապահովելով նետոտ հզորության 1,6-2% աճ:
- Անցումը նման ռեժիմի զգալիորեն ընդլայնում է մթնոլորտային օդի բարձր ջերմաստիճանների պայմաններում էներգաբաշխման մեծ հզորությամբ

շահագործման թույլատրելի տիրույթը՝ կախված արտաքին օդի ջերմաստիճանից:

- Ձուգահեռ աշխատող աշտարակահովացուցիչների ընդհանուր արդյունավետության զգալի բարձրացման կարելի է հասնել՝ ամենացածր արդյունավետությամբ աշխատող աշտարակահովացուցչի լավարկման միջոցով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Մարուխյան Ռ.Ջ., Զառանցյան Ա.Ո., Եղոյան Է.Ա.** Հայկական ԱԷԿ-ի տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգի աշխատանքային ռեժիմների լավարկման ուղիները // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու– 2002.–Հատ. 1. - էջ 186-188.
2. **Եղոյան Է.Ա.** Հայկական ԱԷԿ-ի տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգի աշխատանքային ռեժիմների լավարկման ուղիների հետազոտումը // ՀՊՃՀ ուսանողական հոբելյանական գիտաժողովի նյութերի ժողովածու.–2003.– էջ 88-91.
3. **Մարուխյան Ռ.Ջ.** ՋԷԿ-ի աշխատանքային ռեժիմներ և շահագործում: Ուսումնական ձեռնարկ, 1994.–Երևան. - 144 էջ:
4. Атомные электрические станции/ **Т. Х. Маргулова**. 2-е издание.-М.: Высш. шк., 1974. – 359 с.
5. Экономичность серийных блоков АЭС мощностью 440 МВт с реакторами ВВЭР-440/ **Г. М. Коновалов, А. К. Кириш и др.** Теплоэнергетика. –1975. - №9.- С. 52-56.
6. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата К-220-44 ХТГЗ.-М.: Союзтехэнерго, 1981.
7. **Olds F. C.** Cooling towers- Power Engineering, -1972.-№ 12.-Р. 30-37.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.02.2003:

Յ. Ա. ԵԴՕՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ АРМЯНСКОЙ АЭС)

Рассматриваются пути оптимизации режимов работы системы технического водоснабжения Армянской АЭС с использованием всей установленной площади охлаждения градирен. Предложена схема реконструкции градирен. Путем математического моделирования оценивается повышение мощности энергоблока при переходе к предложенной схеме.

E. A. YEGHOYAN

OPERATING MODE OPTIMIZATION AND RESEARCH OF SERVICE WATER SYSTEM (BY THE EXAMPLE OF THE ARMENIAN NPP)

Operating mode optimization ways of service process water systems at the Armenian NPP with the use of all the established cooling area for water cooling towers are examined. A cooling tower reconstruction scheme is proposed. By means of mathematical modelling the capacity increase of the power unit in transition to the proposed scheme is evaluated.

Г.Л. АРЕШЯН

**СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ СИНХРОННОЙ ЕМКОСТНОЙ
МАШИНЫ С ДЕМПФЕРАМИ И С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПО ОБЕИМ
СИНХРОННЫМ ОСЯМ**

Дается полная система дифференциальных уравнений электрических цепей и величина момента вращения синхронной емкостной машины, у которой имеются демпферные электроды и усеченные электроды возбуждения, расположенные попарно на диске возбуждения по продольной и поперечной осям. Система уравнений содержит новые параметры собственных и взаимных емкостей. Новые конструкции таких синхронных емкостных машин защищены патентами Республики Армения.

Ключевые слова: синхронный емкостной генератор, система уравнений, момент вращения.

В процессе исследования стационарных и переходных режимов синхронных емкостных машин (СЕМ) разработаны и защищены патентами РА три принципиально новые конструкции дисков возбуждения СЕМ, дающие возможность проектировать и изготавливать СЕМ с новыми электрическими параметрами и, как следствие, с новыми характеристиками и свойствами в стационарных и переходных режимах [1]. Наиболее общим случаем конструкции диска возбуждения СЕМ, объединяющей три предложенные в патентах конструкции, является диск, на котором установлены две пары усеченных электродов возбуждения по обеим синхронным осям с питанием их от двух независимых источников напряжения и две пары демпферных (успокоительных) электродов, установленных также по обеим синхронным осям. Усечение электродов возбуждения приводит к появлению второй гармоники в собственной емкости и во взаимемкостях якорных цепей и, в результате, к разной величине синхронных емкостей по продольной C_d и поперечной C_q осям (аналог явнополюсности в синхронных индуктивных машинах).

В [2] была опубликована система дифференциальных уравнений СЕМ с системой возбуждения только по продольной оси (одна пара возбуждающих электродов) и с демпферными электродами по обеим осям. В настоящей работе дается система дифференциальных уравнений СЕМ с демпферными электродами по обеим осям и с усеченными электродами возбуждения также по продольной и поперечной осям. (Аналог явнополюсной синхронной машины с демпферными клетками по обеим осям и двумя катушками возбуждения по продольной и поперечной осям (см. § 3.5 работы [3])).

Эта система получена в результате преобразования системы уравнений из натуральных переменных в пространство Парка-Горева с помощью матриц

Ляпунова (см. первую главу [3]) и представлена через преобразованные напряжения, токи и электрические параметры. При этом принято, что поперечная ось опережает продольную ось на 90° эл. Система уравнений в пространстве Парка-Горева имеет вид:

- для нулевой последовательности:

$$dQ_o/dt + g_s U_o = -i_o ; \quad (1)$$

- для продольной оси d:

$$\left. \begin{aligned} dQ_d/dt + g_s U_d + \omega Q_q &= -i_d, \\ dQ_{fd}/dt + g_{fd} U_{fd} &= i_{fd}, \\ dQ_D/dt + g_D U_D &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

- для поперечной оси q:

$$\left. \begin{aligned} dQ_q/dt + g_s U_q - \omega Q_d &= -i_q, \\ dQ_{fq}/dt + g_{fq} U_{fq} &= i_{fq}, \\ dQ_Q/dt + g_Q U_Q &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где электрические потокоцепления равны

$$Q_o = C_o U_o, \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_d &= C_d U_d + M_d U_{fd} + M_D U_D, \\ Q_{fd} &= C_{fd} U_{fd} + M_d U_d + N_D U_D, \\ Q_D &= C_D U_D + M_D U_d + N_d U_{fd}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_q &= C_q U_q - M_q U_{fq} - M_Q U_Q, \\ Q_{fq} &= C_{fq} U_{fq} - M_q U_q + N_q U_Q, \\ Q_Q &= C_Q U_Q - M_Q U_q + N_q U_{fq}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнения (1)-(3) записаны для электрических цепей машины, работающей в генераторном режиме. Если машина работает в двигательном режиме, то токи i_o , i_d и i_q надо взять со знаком “плюс”. В уравнениях (4)-(6) все собственные емкости (C_d , C_q , C_{fd} , C_{fq} , C_D и C_Q) и взаимные емкости (M_d , M_q , M_D , M_Q , N_d , и N_q) являются постоянными величинами. Уравнения для цепей активно-емкостной нагрузки генератора имеют вид (нулевая последовательность опущена)

$$\begin{aligned} i_d &= C_1 dU_d/dt + g_1 U_d + \omega C_1 U_q, \\ i_q &= C_1 dU_q/dt + g_1 U_q - \omega C_1 U_d. \end{aligned} \quad (7)$$

Выражение электро-емкостного момента вращения (тормозного в генераторном режиме) получено на основе уравнения (см. § 3.2 в [3])

$$M_{вр} = -0,5pU^\tau (dC(\gamma)/d\gamma)U, \quad (8)$$

где U – матрица-столбец натуральных напряжений; C – квадратная матрица натуральных емкостей машины (в данном случае 7×7); γ – угол положения ротора в эл. градусах; p – число пар полюсов машины; верхний индекс τ означает транспонирование.

После вычислений по (8) и переходу к преобразованным напряжениям и электрическим потокоцеплениям получим

$$M_{вр} = 1,5p(Q_d U_q - Q_q U_d). \quad (9)$$

С учетом (5) и (6) окончательно получим

$$M_{вр} = 1,5p[(C_d - C_q)U_d U_q + (M_d U_{fd} + M_D U_D)U_q + (M_q U_{fq} + M_Q U_Q)U_d]. \quad (10)$$

Из полной системы уравнений (1)-(6) и (10) легко получаются системы уравнений для СЕМ более частных типов. Так, например, для СЕМ с одной парой усеченных электродов возбуждения только по продольной оси и с демпферными электродами по обеим осям получаем уравнения, если в (1)-(6) принять

$$Q_{fq} = 0, U_{fq} = 0, M_q = 0, C_{fq} = 0, N_q = 0. \quad (11)$$

Уравнения электрических цепей такой СЕМ опубликованы в [2], где было принято, что поперечная ось отстает от продольной. На основе (10), с учетом (11), момент вращения будет равен

$$M_{вр} = 1,5p[(C_d - C_q)U_d U_q + (M_d U_{fd} + M_D U_D)U_q + M_Q U_Q U_d]. \quad (12)$$

Для СЕМ без демпферных электродов и с возбуждением только по продольной оси и с электродами возбуждением без усечения получаем уравнения, если в (1)-(6) и (10) принять

$$\begin{aligned} Q_{fq} = 0; U_{fq} = 0; M_q = 0; C_{fq} = 0; N_q = 0; M_Q = 0; Q_D = 0; C_D = 0; \\ M_D = 0; N_d = 0; Q_Q = 0; C_Q = 0; M_Q = 0; \\ C_d = C_q = C_S. \end{aligned} \quad (13)$$

Уравнения такой машины с учетом (13) примут вид

$$\left. \begin{aligned} C_o dU_o/dt + g_s U_o &= -i_o, \\ C_S dU_d/dt + M_d dU_{fd}/dt + g_s U_d + \omega C_S U_q &= -i_d, \\ C_{fa} dU_{fd}/dt + M_d U_d/dt + g_{fq} U_{fa} &= i_{fd}, \\ C_S dU_q/dt - \omega C_S U_d - \omega M_d U_{fd} + g_s U_q &= -i_q, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$M_{вр} = 1,5pM_d U_{fd} U_q. \quad (15)$$

Сравнивая первую систему уравнений (1)-(3) с системой (14), замечаем, что установка демпферных электродов и наличие возбуждения по обеим осям увеличивает степень системы дифференциальных уравнений с четырех (в системе (4)) до семи за счет появления новых электрических емкостных параметров. Все это

позволяет более широко изменять динамические и статические характеристики таких машин за счет выбора величин этих новых параметров. Полученная полная система дифференциальных уравнений синхронных емкостных генераторов и двигателей наиболее общего типа дает возможность исследования разнообразных статических и динамических режимов СЕМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арешян Г.Л., Маилян А.Л., Маилян В.А.** Патенты РА: Р20020041 от 01. 04.2002, Р20020042 от 01. 04.2002, Р20020127 от 01.11.2002.
2. **Арешян Г.Л.** Система дифференциальных уравнений емкостного генератора нового типа: Доклады НАН РА. - 2002. - Т. 102, N 4.
3. **Арешян Г.Л.** Специальные вопросы теории электрических машин переменного тока. - Ереван, 1999. - 300 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 25.03.2003.

Գ.Լ.ԱՐԵՇՅԱՆ

ԴԵՄՊԻՆԳՆԵՐՈՎ ԵՎ ԵՐԿՈՒ ՄԻՆՔՐՈՆ ԱՌԱՆՑՆԵՐՈՒՄ ԳՐԳՈՒՄՈՎ ՄԻՆՔՐՈՆ ՈՒՆԱԿԱՅԻՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Տրվում է էլեկտրական շղթաների լրիվ դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ և պտտվող մոմենտի մեծությունը սինքրոն ունակային մեքենայի համար, որն ունի դեմպերային էլեկտրոդներ և հատած զրգման էլեկտրոդներ, որոնք տեղավորված են զույգերով ընդլայնական և երկայնական առանցքներով զրգման սկավառակի վրա: Հավասարումների համակարգը պարունակում է սեփական և փոխկապված ունակային պարամետրեր: Այդպիսի սինքրոն ունակային մեքենաների նոր կառուցվածքները պահպանված են ՀՀ արտոնագրով:

G.L. ARESHIAN

A DIFFERENTIAL EQUATION SYSTEM ON SYNCHRONOUS CAPACITANCE MACHINE WITH DAMPERS AND EXCITATION ON BOTH SYNCHRONOUS AXES

A total differential system of electric circuits and torque quantity of synchronous capacitance machine is given. It has excitation damper electrodes and trincated electrodes located in pairs on longitudinal and cross-sectional excitation axes. Simultaneous equations possess new eigenvalue and mutual capacitance parameters. Modern structures of such synchronous machines are protected by RA patents.

Г.Е. АЙВАЗЯН, А.А. ВАРДАНЯН, Г.Г. КИРАКОСЯН

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ p-n – ПЕРЕХОДОМ

Разработан метод расчета КПД солнечного элемента (СЭ) с вертикальным p-n – переходом. Показано, что КПД СЭ с вертикальным переходом отличается от аналогичной формулы для КПД СЭ с горизонтальным переходом геометрическим фактором, который прямо пропорционален глубине p-n – перехода.

Ключевые слова: солнечный элемент, вертикальный p-n–переход, поверхностная рекомбинация, излучательный переход.

Введение. При разработке традиционных солнечных элементов с так называемыми «горизонтальными» p-n–переходами, перпендикулярными падающему световому потоку, неизбежно возникают взаимно противоречивые требования к удельному сопротивлению слоя, спектральной чувствительности, затемнению, создаваемому лицевым омическим полосковым контактом, и т.д. КПД таких элементов растет с увеличением интенсивности освещения примерно до 60...80 солнц, а затем спадает [1-3].

В последнее время интенсивно стали исследовать и изготавливать СЭ с так называемыми «вертикальными» p-n–переходами [4-6], параллельными падающему световому потоку. Помимо отсутствия упомянутых выше взаимно противоречивых требований, такие структуры имеют еще ряд преимуществ. Например, поскольку на фронтальной и тыльной поверхностях этих элементов нет металлизации, то они могут быть прозрачны в длинноволновой части спектра за краем основной полосы поглощения. Кроме того, они являются двусторонними структурами, так как могут преобразовать свет как с фронтальной, так и с тыльной стороны, а также служить составной частью каскадных СЭ.

Ранее при исследовании КПД СЭ рассматривались в основном СЭ с горизонтальным переходом [1-3]. Целью настоящей работы является разработка метода для расчета КПД СЭ с вертикальным p-n – переходом.

Решение уравнения баланса. Для определения КПД решается уравнение непрерывности с учетом только излучательного перехода. Допустим, что в случае поперечного освещения диффузионная длина неосновных носителей заряда значительно превышает размер СЭ в направлении освещения ($L \gg H$) и поверхностная рекомбинация отсутствует ($S=0$). Пусть СЭ однородно освещается в полосе шириной $2l$ по обе стороны от p-n–перехода (рис.).

Если уравнение непрерывности для электронов в p-области проинтегрировать по переменной y , параллельной направлению распространения света от $y = 0$ до $y = H$, и результат разделить на H , то при объемном возбуждении ($\alpha L \leq 1$) получим [3]

$$D_n \frac{\partial^2 \bar{\delta n}}{\partial x^2} - \frac{\bar{\delta n}}{\tau} + \bar{g} = 0, \quad (1)$$

где $\bar{\delta n} = \frac{1}{H} \int_0^H \delta n(x, y) dy$; $\bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g(y) dy$ - усредненные по глубине значения избыточной концентрации $\delta n(x, y)$ электронов и темпа генерации $g(y)$; D_n - коэффициент диффузии электрона; τ - время жизни электрона; α - коэффициент поглощения.

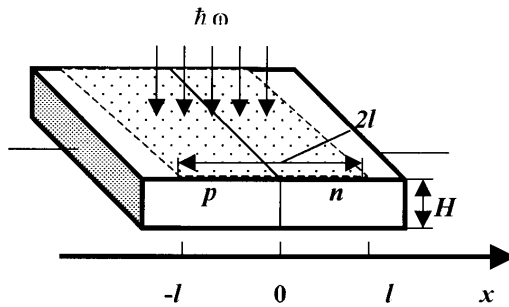


Рис. СЭ с вертикальным р-п-переходом

В качестве граничных условий имеем $\bar{n}(-l) = n_p$ и $\bar{p}(+l) = p_n$. Допустим, что в области объемного заряда дрейфовый ток компенсирует диффузионный, т. е. $|j_n| \ll |j_{n, \text{диф}}| = |j_{n, \text{дрейф}}|$. Тогда уровень Ферми не будет зависеть от координат, и получим еще два граничных условия на краях обедненной области:

$$\bar{n}(x_p) = n_p e^{eU/kT}; \quad \bar{p}(x_n) = p_n e^{eU/kT}, \quad (2)$$

где U - напряжение между электродами СЭ.

Рассмотрим случай, когда $x_n - x_p \ll L_n, L_p$. Это означает, что можно пренебречь рекомбинацией в области объемного заряда (предельный случай Шокли). Тогда можем положить $x_n = x_p = 0$, в результате чего граничные условия (2) принимают более простой вид:

$$n(0) = n_p \exp\left(\frac{eU}{kT}\right); \quad p(0) = p_n \exp\left(\frac{eU}{kT}\right). \quad (3)$$

При этом решение, описывающее распределение электронов в р-области, дается выражением

$$\bar{\delta n}(x) = \bar{g}\tau \left[1 - A'e^{-\frac{x}{L}} - B'e^{\frac{x}{L}} \right], \quad (4)$$

где величины A' и B' находятся из граничных условий.

Вычислим теперь плотность электронного тока при $l/L_n \gg 1$:

$$j_n = eD_n \frac{\partial \bar{\delta n}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{eD_n n_p}{L_n} \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - e\bar{g}L_n. \quad (5)$$

Аналогично для дырочной составляющей плотности тока находим

$$j_p = -eD_p \frac{\partial \bar{\delta p}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{eD_p p_n}{L_p} \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - e\bar{g}L_p. \quad (6)$$

Полная плотность электрического тока равна $\vec{j} = \vec{j}_n + \vec{j}_p$. В принятой выше модели $j_n(x_p) \approx j_n(x_n)$ и $j_p(x_p) \approx j_p(x_n)$, а потому $j \approx j_n(0) + j_p(0)$. Таким образом, для характеристики СЭ с поперечным сечением A получаем

$$I = \left\{ e \left(\frac{D_p p_n}{L_p} + \frac{D_n n_p}{L_n} \right) \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - e\bar{g}(L_n + L_p) \right\} A. \quad (7)$$

Здесь первое слагаемое описывает темновой ток диода, а второе – фототок I_L . Последний не зависит от напряжения U , сдвигая характеристику диода как целое. Фототок линейно зависит от интенсивности света.

Расчет КПД СЭ и обсуждение результатов. Напряжение на электродах СЭ, замкнутого на произвольную нагрузку, есть

$$U = \frac{kT}{e} \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_s} - \frac{I}{I_s}\right),$$

где I_s – ток насыщения.

Поэтому мощность, выделяемая во внешней цепи, равна

$$P = IU = \frac{kT}{e} I \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_s} - \frac{I}{I_s}\right).$$

Введем для краткости безразмерные токи

$$y = I / I_s; \quad z = I_L / I_s \quad (8)$$

и обозначим через $G = \bar{g}A$ полный темп генерации фотоносителей. Тогда выражение для P можно записать в более удобном виде:

$$P = kTG(L_n + L_p) \frac{y \ln(1 + z - y)}{z}. \quad (9)$$

Для преобразования энергии важно иметь во внешней цепи максимальную мощность. Дифференцируя выражение (9) по y и приравнивая производную нулю, находим, что максимальная мощность имеет место при токе y_m , который удовлетворяет уравнению

$$(1 + z - y_m) \ln(1 + z - y_m) = y_m \quad (0 \leq y_m \leq z). \quad (10)$$

Для нахождения зависимости y_m от z введем сложную функцию $F(z, y_m(z)) = [1 + z - y_m(z)] \cdot \ln[1 + z - y_m(z)] - y_m(z)$, где второй аргумент y_m

предполагается зависящим от z . Так как $F(z, y_m(z)) = 0$, то, следовательно, равна нулю и производная этой функции относительно z :

$$\frac{dF}{dz} = \frac{\partial F}{\partial z} + \frac{\partial F}{\partial y_m} \frac{dy_m}{dz} = 0. \quad (11)$$

Полученное дифференциальное уравнение первого порядка относительно функции $y_m(z)$ с начальным условием $y_m(z_0) = y_{m0}$ легко решается с помощью математической системы «Mathematica4», и получается зависимость $y_m(z)$. При увеличении интенсивности света (увеличении z) y_m монотонно увеличивается и приближается к z . Максимальная мощность во внешней цепи равна

$$P_m = kTG(L_n + L_p)f(z), \quad (12)$$

где

$$f(z) = y_m^2 / z(1 + z - y_m), \quad (13)$$

а y_m есть корень уравнения (10).

Так как солнечное излучение не является монохроматическим и активными являются только те фотоны, энергия которых $\hbar\omega \geq E_g$, то генерация пропорциональна

$$G \sim \frac{1}{H} \int_{E_g}^{\infty} \rho_0(\hbar\omega) \hbar\omega d(\hbar\omega) \int_0^H \alpha \exp(-\alpha y) dy, \quad (14)$$

где $\rho_0(\hbar\omega)$ – концентрация фотонов с энергией $\hbar\omega$ в световом потоке; $\hbar$ – постоянная Планка.

Падающая же на СЭ мощность P_0 пропорциональна

$$P_0 \sim \int_0^{\infty} \rho_0(\hbar\omega) \hbar\omega d(\hbar\omega), \quad (15)$$

причем коэффициенты пропорциональности в (14) и (15) одинаковы. Так как солнечное излучение по спектральному составу близко к излучению абсолютно черного тела, то для $\rho_0(\hbar\omega)$ можно воспользоваться формулой Планка, полагая в ней $T = T_1 = 6(10^3 \text{K})$ (температура поверхности Солнца).

Тогда для максимального КПД имеем

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_0} = kT(1 - R)f(z) \frac{L_n + L_p}{H} \frac{\int_{E_g}^{\infty} \rho_0(\hbar\omega)(1 - e^{-\alpha H}) d(\hbar\omega)}{\int_0^{\infty} \rho_0(\hbar\omega) \hbar\omega d(\hbar\omega)}. \quad (16) \text{ Толщина}$$

H СЭ должна значительно превышать $1/\alpha$, характеризующую глубину поглощения, при котором интенсивность излучения уменьшается в e раз. Чрезмерное увеличение

H нежелательно, так как оно сопровождается ростом рекомбинационных потерь.

Таким образом, в приближении $\alpha N \gg 1$ после несложных преобразований для КПД получим

$$\eta_m = \frac{kT}{E_g} (1-R) f(z) \frac{L_n + L_p}{H} \Psi(x_1), \quad (17)$$

где $x_1 = E_g / kT_1$,

$$\Psi(x_1) = x_1 \int_{x_1}^{\infty} \frac{x^2 dx}{e^x - 1} / \int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1}. \quad (18)$$

Заметим, что формула (17) отличается от формулы для КПД СЭ с горизонтальным переходом [4] геометрическим фактором $(L_n + L_p)/H$. Пропорциональность КПД величине $L_n + L_p$ имеет следующий физический смысл. В случае $l \gg L_n, L_p$ только те носители разделяются полем объемного заряда и дают вклад в КПД, которые образуются на расстоянии не более одной диффузионной длины от границы между n- и p- областями. Таким образом, при поперечном освещении СЭ обладает фоточувствительностью лишь в полосе шириной $L_n + L_p$. Так как выбор величины l произволен, то в качестве l можем взять глубину залегания p-n- перехода x_j . Для получения приблизительной оценки КПД решение (17) можно экстраполировать к значению $l = L_n$, после которого вышеуказанный геометрический фактор примет вид x_j/H . Смысл этого фактора заключается в том, что для получения большого значения КПД необходимо увеличить глубину залегания p-n-перехода и уменьшить толщину СЭ.

С помощью полученных зависимостей численно оценим теоретический КПД СЭ с вертикальным p-n – переходом. Функция $\Psi(x_1)$ имеет максимум, равный около 44%, при значении $x_{1m} = 2,2$. Это означает, что при данной температуре черного излучения имеется оптимальная ширина запрещенной зоны полупроводника E_{gm} (1,1 эВ. Так как такую ширину запрещенной зоны имеет кремний, то именно этот материал широко используется для изготовления СЭ.

В режиме слабой освещенности $z \ll 1$. Тогда, удерживая в формуле (10) только малые члены 1-го порядка, находим $y_m = \frac{1}{2} z (I_m = \frac{1}{2} I_1)$. В общем случае зависимость y_m от z определяется из дифференциального уравнения (11) с начальным условием $y_m(z_0) = y_{m0}$. Поскольку величина z зависит от I_s , она зависит также от параметров материала (таких как τ, D и уровни легирования). Идеальное значение КПД реализуется при оптимальном выборе параметров материала, когда величина I_s минимальна. При AM1,5 для тока короткого замыкания $I_{кз}$, который равен I_1 , после простых вычислений в приближении $\alpha N \gg 1$ получим

$$I_1 = e \bar{g} A (L_n + L_p) = \frac{e K \zeta A (kT_1)^3}{4\pi^2 c^2 \hbar^3} \frac{L_n + L_p}{H} \int_{x_1}^{\infty} \frac{x^2 dx}{e^x - 1}. \quad (19)$$

Достигая орбиты Земли, излучение ослабляется, так что здесь появляется множитель $\zeta = (R_c / R_0)^2$ ($R_c = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$ – радиус Солнца, $R_0 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ м}$ – расстояние от Солнца до Земли). Из этой формулы видно, что ток короткого замыкания возрастает линейно с увеличением концентрации излучения, который характеризуется параметром К.

При комнатной температуре для кремниевого р-п-перехода численная оценка для тока короткого замыкания при характеристических параметрах СЭ $H = 400 \text{ мкм}$, $\tau_n = 100 \text{ мкс}$, $D_n = 34 \text{ см}^2/\text{с}$, $K = 1$ дает $I_1 = 150 \text{ мА}$. Подставив это значение фототока в формулу (17), получим соответствующее значение КПД $\approx 34\%$. Следует заметить, что КПД СЭ возрастает на $\sim 2\%$ при увеличении коэффициента К в 10 раз.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ А - 431.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васильев А.М., Ландсман А.П.** Полупроводниковые фотопреобразователи. – М.: Советское радио, 1979 – 474с.
2. **Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д.** Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. – Л.: Наука, 1989 – 386 с.
3. **Аут И., Генцов Д., Герман К.** Фотоэлектрические явления. – М.: Мир, 1980 – 208 с.
4. **Фаренбрух А., Бьюб Р.** Солнечные элементы. Теория и эксперимент. – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 406 с.
5. **Айвазян Г.Е., Бабаян Г.С., Минасян Г.А.** Использование диффузионной сварки для изготовления кремниевых торцевых солнечных элементов // Мат. 3-й Нац. конф. «Полупроводниковая микроэлектроника», 10-12 сентября 2001 г.- С.254-257.
6. **Гук Е.Г., Налет Т.А. и др.** Характеристики кремниевых многопереходных солнечных элементов с вертикальными р-п-переходами //ФТП.–1997.–Т.31, N7.– С. 855-887.

ЗАО «Виасфер Технопарк». Материал поступил в редакцию 08.07.2002.

Գ. Ե. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ա. Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Գ. Հ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՑ P-n ԱՆՑՈՒՄՈՎ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՑԻ ՕԳՏԱԿԱՐ ԳՈՐԾՈՂՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑԸ

Մշակված է ուղղահայաց p-n անցումով արևային մարտկոցի ՕԳԳ -ն հաշվելու մեթոդ: Ցույց է տված, որ ուղղահայաց անցումով արևային մարտկոցի ՕԳԳ -ի բանաձևը տարբերվում է հորիզոնական անցումով արևային մարտկոցի ՕԳԳ-ի բանաձևից երկրաչափական գործակցով, որն ուղիղ համեմատական է p-n անցման խորությանը:

G.Y. AYVAZIAN, A. H. VARDANYAN, G. H. KIRAKOSSYAN EFFICIENCY OF SOLAR CELL WITH VERTICAL p-n JUNCTION

The method for calculating the vertical junction SC efficiency is developed. It is shown that efficiency of the vertical junction SC differs from horizontal junction SC efficiency by the geometrical factor which is proportional to the depth of p-n junction.

Д.К. МЕЛКОНЯН

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНЗИСТОРНОЙ СТРУКТУРЫ В МИКРОСХЕМАХ

Проведена экспериментальная оценка точности параметров интегральных микросхем по методу нерегулярного планирования экспериментов. Рассмотрен процесс формирования р-п перехода в транзисторной структуре. Осуществлен синтез приближенной модели диффузионного процесса, обеспечивающий удовлетворительную точность в необходимых диапазонах изменения параметров интегральных микросхем.

Ключевые слова: диффузионный процесс, электрофизические параметры, преобразование распределения случайных величин.

При завершении диффузионного процесса формирования р-п переходов с заданными технологическими параметрами получены структуры полупроводниковых приборов в микросхемах с многочисленными электрофизическими параметрами. Выявление функциональных зависимостей и количественных соотношений между упомянутыми параметрами с заданной точностью является главной задачей данной работы, решение которой даст возможность регулировать величину рассматриваемого параметра, используя обратную связь последнего с технологическими параметрами термического процесса диффузии.

Основными факторами для практической оценки точности параметров являются объем экспериментов N и точность законов преобразования случайных распределений полученных входных и выходных параметров.

Точность полученных при производстве микросхем параметров и объем вычислений на ЭВМ в процессе оптимизации заданных параметров, главным образом, зависят от использования точной и синтезированной математической модели рассматриваемого объекта.

Для составления математической модели транзисторной структуры необходимо предварительно определить состав входных и выходных параметров. То есть, возникает задача синтеза приближенной модели диффузионного процесса, которая обеспечивала бы необходимую точность в данном диапазоне изменения важнейших параметров транзисторной структуры.

Основные выходные параметры транзисторной структуры приведены в табл. 1.

Таблица 1

x_j	Металлургическая граница p-n перехода
R_s	Удельное поверхностное сопротивление диффузионного слоя n типа
$N_s(0,75x_j)$	Концентрация легирующей донорной примеси на глубине $x = 0,75x_j$

Р асчет микросхем проводится на конкретной совокупности технологических факторов.

На указанные выходные параметры влияют в основном факторы, приведенные в табл. 2. Причем модель удовлетворяет требуемой точности в диапазоне изменения этих параметров, фигурируемых в табл.2.

Таблица 2

2a	Ширина щели	$(0,33 \pm 50,1) \text{ мкм}$
T_1	Температура загонки	$1200 \pm 50 \text{ } ^\circ C$
t_1	Время загонки	$45 \pm 5 \text{ с}$
T_2	Температура разгонки	$1100 \pm 50 \text{ } ^\circ C$
t_2	Время разгонки	$30 \pm 5 \text{ мин}$
N_s	Поверхностная концентрация донорной примеси	$10^{22} \pm 5 \cdot 0,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$
$N_{\text{сподл}}$	Концентрация примеси в подложке	$10^{17} \pm 5 \cdot 0,8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$

Рассмотрим математическую модель данного процесса. Исследуемая структура (рис.1б) представляет собой однородно легированную полупроводниковую подложку p типа с концентрацией акцепторной примеси $N_{\text{сподл}}$, в которой с помощью двухстадийной диффузии через щель в маскирующем окисле шириной 2a сформирован слой противоположного типа проводимости. Результирующее распределение легирующих примесей находилось с помощью специальной программы, предназначенной для расчета двумерного распределения примеси в локальном диффузионном слое, сформированном в результате проведения многоэтапного термического процесса. В программе учтены следующие высокотемпературные технологические операции: диффузия примеси из внешнего источника постоянной концентрации через щель в маскирующем окисле (загонка); перераспределение примеси при последующих термических процессах (разгонка, окисление, отжиг и др.). При формировании диффузионной структуры, рассчитываемой с помощью указанной программы, в качестве примесей, определяющих тип проводимости, допускается использовать бор, фосфор, мышьяк и сурьму. Для этих примесей также учитывается зависимость коэффициентов диффузии от температуры. Исследуемая структура и профиль распределения примеси для тестовой задачи приведены на рис.1.

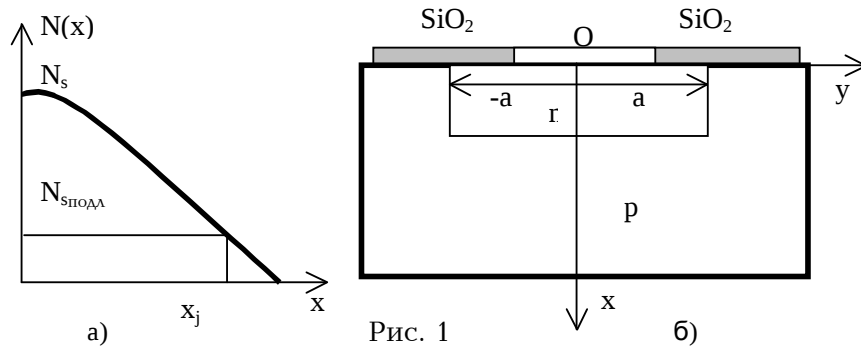


Рис. 1

б)

Для расчета распределения каждой примеси применяется одна и та же математическая модель последовательных диффузионных процессов, обусловленных проведением указанных технологических операций, а именно: при вычислении распределения каждой отдельно взятой примеси анализируемая математическая модель представляет собой совокупность последовательно решаемых краевых задач для двумерного уравнения диффузии в изотропной среде:

$$\frac{dN_i}{dt} = D_i \left(\frac{d^2 N_i}{dx^2} + \frac{d^2 N_i}{dy^2} \right), \quad (1)$$

$$N_i(0, x, y) = N_{i-1}(t_{i-1}, x, y), \quad (2)$$

$$0 \leq t \leq t_i; 0 \leq x \leq L_{x_i}, 0 \leq y \leq L_{y_i},$$

$$\left[a_i D_i \frac{dN_i}{dx} - \beta_i W_i N_i \right]_{x=L_{x_i}} = \gamma_i N_i^0, \quad (3)$$

$$\frac{dN_i}{dy} \Big|_{y=0} = 0, \quad (4)$$

$$N_i(t, x, L_{y_i}) = 0, \quad (5)$$

$$N_i(t, 0, y) = 0, \quad (6)$$

где i — порядковый номер термической операции; t_i, t_{i-1} — время проведения текущей и предыдущей термических операций; $N_i(t_i, x, y), N_{i-1}(t_{i-1}, x, y)$ — распределение примеси по окончании текущей и предыдущей термических операций; D_i — коэффициент диффузии, являющийся известной функцией от температуры; x, y — пространственные координаты; t — время; L_{x_i} и L_{y_i} — размеры рассматриваемой подобласти вдоль осей координат x и y ; W_i — коэффициент испарения примеси; $\beta_i, \gamma_i, \alpha_i$ — коэффициенты, определяемые типом граничных условий на поверхности полупроводниковой структуры; N_i^0 — концентрация i -го внешнего источника.

Соотношение (2) задает начальное условие для уравнения диффузии, причем его правая часть представляет собой решение аналогичной краевой задачи для

предыдущей термической операции, или тождественно равна нулю (термическая операция загонки примеси), или задана функцией, полученной вне рассматриваемой математической модели.

Граничное условие (3) записано для поверхности полупроводниковой структуры: внутри щели оно учитывает испарение примеси с поверхности. Вне щели условие (3) имеет вид

$$D_i \frac{dN}{dx} - W_i N_i = 0, \quad x = L_{x_i} = 0; \quad a \leq y \leq L_{y_i}$$

и характеризует отражение примеси от маскирующего слоя окисла с коэффициентом испарения W_i .

Условие (4) учитывает симметрию задачи относительно оси y . Соотношения (5) и (6), в свою очередь, определяют краевые условия на периферии анализируемой подобласти распространения отдельной примеси.

Таким образом, полная точная математическая модель диффузионной структуры представляет собой совокупность краевых задач, каждая из которых состоит из различных сочетаний основного уравнения в частных производных (1) и условий (2)—(6).

Краевая задача (2)—(5) аппроксимировалась на равномерной вдоль осей координат x и y пространственной сетке. Полученная при этом система алгебраических уравнений решалась методом прогонки.

Метод статистического анализа микросхем допускает задание исходной статистической информации в формах, не требующих каких-либо предварительных сложных математических обработок и исследований. Для нашего случая формой задания исходной информации является комбинация таблиц и гистограмм. При этом часть величин корреляционной матрицы и коэффициенты корреляции, дополняющие корреляционную матрицу, вводятся на основании гипотетических соображений, либо по данным предварительных расчетов.

Другая особенность метода состоит в том, что современные программные средства позволяют сравнительно просто моделировать распределение по гауссовскому закону случайных величин (j с заданными математическими ожиданиями m_j и средними квадратическими отклонениями σ_j). В связи с этим решают известную задачу преобразования исходных случайных величин x_j , имеющих законы распределения (заданные в виде гистограмм), в общем случае отличные от гауссовского, в распределение по гауссовскому закону случайных величин (j).

Вид распределения примесей в результате решения описанной точной математической модели показан на рис. 1а.

Синтез математической модели формирования диффузионной структуры приведен в виде гистограмм рис 2 - рис 5, где использованы гауссовские законы распределения 4-х компонентов вектора $x = [a, T_1, t_1, T_2, t_2, N_s, N_{\text{сподл}}]$, характеризующие средними значениями x_i и средними квадратическими отклонениями σ_{x_i} , приведенными в табл. 3.

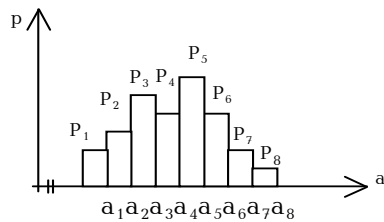


Рис.2.

$a_1 = 1162; \dots; a_9 = 1240$; $p_1 = 0.05$;
 $p_2 = 0.13$; $p_3 = 0.11$; $p_4 = 0.22$;
 $p_5 = 0.18$; $p_6 = 0.16$; $p_7 = 0.17$;
 $p_8 = 0.05$

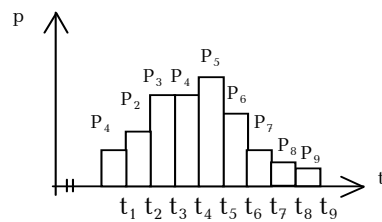


Рис.3.

$t_{1-1} = 35.6; \dots; t_{1-10} = 56.8$; $p_1 = 0.07$;
 $p_2 = 0.08$; $p_3 = 0.17$; $p_4 = 0.17$; $p_5 = 0.20$;
 $p_6 = 0.16$; $p_7 = 0.08$; $p_8 = 0.04$; $p_9 = 0.03$

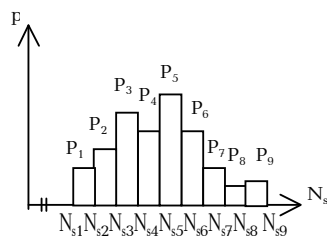


Рис.4

$N_{s-1} = 0.664$; $N_{s-10} = 1.435$; $p_1 = 0.05$;
 $p_2 = 0.1$; $p_3 = 0.17$; $p_4 = 0.15$; $p_5 = 0.24$;
 $p_6 = 0.14$; $p_7 = 0.08$; $p_8 = 0.03$; $p_9 = 0.04$

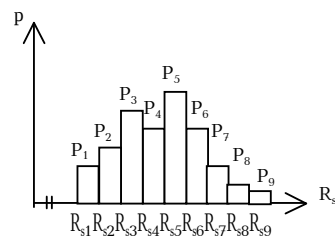


Рис.5.

$R_{s-1} = 2.6; \dots; R_{s-10} = 6.20$; $p_1 = 0.05$;
 $p_2 = 0.1$; $p_3 = 0.18$; $p_4 = 0.20$; $p_5 = 0.18$;
 $p_6 = 0.16$; $p_7 = 0.07$; $p_8 = 0.05$; $p_9 = 0.01$

Таблица 3

Параметр	$a, \text{мкм}$	$T1, ^\circ\text{C}$	$t1, \text{с}$	$T2, ^\circ\text{C}$	$t2, \text{мин}$	$N_s, \text{см}^3$	$N_{\text{спод}}, \text{см}^3$
$\bar{x}_j$	0.33	1200	45	1100	30	$1 \cdot 10^{20}$	$1 \cdot 10^{17}$
σ_{xi}	0.167	16.67	5.0	16.67	1.67	$0.167 \cdot 10^{20}$	$0.167 \cdot 10^{17}$

Для каждого вектора x по точной математической модели на ЭВМ проводился расчет вектора $y = (x_j, R_s)$, значения которого приведены в табл. 5. Расчет каждого вектора y потребовал 1,5 мин. Гистограммы некоторых составляющих вектора x приведены на рис.2 - 4, а гистограмма составляющей R_s вектора y — на рис.5, где p_i - вероятности составляющих вектора x_i в заданном диапазоне изменения.

Далее проводится определение прямых и обратных законов преобразования исходных распределений в гауссовское, предложенного в [3], в результате чего устанавливается функциональная связь “новых” выходных параметров σ_{yi} с “новыми” входными параметрами η_i .

Параметры σ_{η_i} между собой не коррелированы, подчиняются гауссовским законам распределения, имеют нулевые математические ожидания и единичные средние квадратические отклонения. Параметры η_i также не коррелированы, и для них $m_{\eta_i} = 0$ и $\sigma_{\eta_i} = 1$, поэтому, как следует из теоремы о свертках, эта функциональная связь может быть только линейной. Следовательно, синтезированная по методу нерегулярного планирования экспериментов модель формирования базовой области имеет вид

$$\sigma_{y_1} = 0,09\eta_{x_1} + 0,01\eta_{x_2} + 0,02\eta_{x_3} + 0,85\eta_{x_4} + 0,08\eta_{x_5} + 0,18\eta_{x_6} - 0,21\eta_{x_7},$$

$$\sigma_{y_2} = 0,004\eta_{x_1} - 0,38\eta_{x_2} - 0,32\eta_{x_3} + 0,11\eta_{x_4} - 0,11\eta_{x_5} - 0,86\eta_{x_6} - 0,07\eta_{x_7}.$$

Использование данных уравнений совместно с законами преобразований позволяет для любого вектора x получить значение вектора y . В табл.5 приведен ряд векторов x , для которых по точной и синтезированной моделям рассчитаны векторы y .

Таблица 4

N п/п	Xj	Rs
1	1,6	5,19
2	1,8	3,47
3	1,6	4,11
4	2,2	4,15
5	1,6	3,49
...	...	...
96	2,0	2,87
97	1,8	3,83
98	1,8	4,36
99	1,6	4,00
100	1,8	4,15

Таблица 5

X _i	Точная модель		Синтезированная модель			
	xj	Rs	N = 100		N = 50	
X(1)	1,6	5,19	1,589	5,223	1,701	4,863
X(2)	1,4	3,74	1,509	3,714	1,617	3,853
X(3)	1,4	3,23	1,498	3,233	1,433	3,211
X(4)	1,4	4,23	1,480	4,139	1,643	4,194
X(5)	1,4	4,30	1,497	4,394	1,619	4,313
X(6)	1,4	4,26	1,385	4,160	1,445	4,253
X(7)	2,2	4,31	2,223	4,485	2,182	4,439

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Максимальная относительная ошибка, определяемая как $\Delta_j = (|y_{jT} - y_{jC}|) / y_{jT} \cdot 100\%$ (где y_{jT} — значение j-й составляющей вектора y , рассчитанное по точной модели; y_{jC} — значение j-й составляющей, рассчитанное по синтезированной модели для x_j), не превышает 7%, а для Rs — 4,5%.

Полученные результаты подтверждают удовлетворительную точность применяемого метода. Следует отметить, что расчет по синтезированной модели вектора y при любом векторе x на ЭВМ занимает всего около 0,2 с, в то время как расчет по точной модели требует 0,15 мин. С целью исследования влияния числа экспериментов N на результаты расчетов был проведен синтез модели при всех прежних условиях, но при $N=50$. Результаты расчетов приведены также в

табл.3, матрица коэффициентов синтезированной для этого случая модели — в табл.6.

Таблица 6

η_n	η_{x1}	η_{x2}	η_{x3}	η_{x4}	η_{x5}	η_{x6}	η_{x7}
σ_{y1}	0,18	-0,09	0,18	0,87	0,14	0,02	0,13
σ_{y2}	-0,03	-0,36	-0,20	0,22	0,04	-0,87	0,04
η_n	η_{x1}	η_{x2}	η_{x3}	η_{x4}	η_{x5}	η_{x6}	η_{x7}
σ_{y1}	0,18	-0,09	0,18	0,87	0,14	0,02	0,13
σ_{y2}	-0,03	-0,36	-0,20	0,22	0,04	-0,87	0,04

Из расчетных данных следует, что ошибка для x_j составляет 17%, для R_s — 6 %. Следовательно, при уменьшении N точность метода падает, однако даже при $N=50$ ее можно считать удовлетворительной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **David C. Kay & John R. Levine** Graphics File Formats. Second edition, Windcrest/McGray-Hill. 1995.-243 p.
2. **Devadas S., Ghosh A. and Keutrer K.** Logic Synthesis. McGraw-Hill series on computer engineering. - New York, 1994.-628p.
3. **Эйзен С., Афифи А.** Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / Пер. с англ; Под ред. Г.П. Башарина.—М.: Мир,1998.-488 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.03.2003.

Դ.Կ. ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ

ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՄԻԿՐՈՍԽԵՄԱՆԵՐՈՒՄ

Տրված է ինտեգրալ միկրոսխեմաների պարամետրերի չափման ճշտության փորձնական գնահատական՝ տրանզիստորներում p-n անցման ձևավորման ճշգրիտ և սինթեզված մաթեմատիկական մոդելների օգտագործմամբ: Սինթեզված մոտավոր մեթոդն ապահովում է բավարար ճշտություն:

D.K. MELKONYAN

ESTIMATION OF TRANSISTOR STRUCTURE FORMATION ACCURACY IN MICROCIRCUITS

Experimental estimation of integral microcircuit parameter accuracy treated by a method of irregular experiment planning is given. P-n junction formation process in the transistor structure is viewed. An approximate model synthesis of diffusion process which provides satisfactory accuracy in necessary ranges for changing basis integral microcircuit parameters is realized.

А.А. ТЕРЗЯН, Г.С. СУКИАСЯН, Д.С. КАЗАРЯН, А.А. ГРИГОРЯН

**К АВТОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ**

Разработан и реализован механизм самообучаемого автоматического управления процессом адаптации в задачах принятия решений. Показана работоспособность предложенных алгоритмов.

Ключевые слова: принятие решений, самообучаемая автоматическая адаптация, математическая модель.

1. Введение. В связи с возрастанием сложности решаемых экстремальных задач возникает настоятельная потребность в создании системы формальной адаптации алгоритмов поисковой оптимизации к математическим моделям решаемых задач. По существу, подобная задача сводится к двойной оптимизации, одна из которых является целевой (решение поставленной экстремальной задачи), другая – оптимизацией самого процесса решения задачи.

В [1,2] был предложен математический, количественный подход к управлению процессом адаптации.

В настоящей работе на основании этого подхода разработан и реализован механизм самообучаемого автоматического управления процессом адаптации. На ряде численных экспериментов показана работоспособность предложенных алгоритмов.

2. Схема работы системы адаптации. Каждой оптимизационной задаче ставятся в соответствие два набора характеристик:

$$\bar{g} = (g_1, g_2, \dots, g_p) \text{ и } W = (w_1, w_2, \dots, w_l). \quad (1)$$

Первый набор $\bar{g}$ (назовем его первичный фрейм) содержит общие характеристики оптимизационной задачи. Вторичный фрейм W содержит информацию, полученную в результате решения оптимизационной задачи (например, затраченное время, примененные методы, управляющие параметры и т. д.). В (1) p и l обозначают размерности, соответственно, первичного и вторичного фреймов.

При поступлении очередной задачи оптимального проектирования вначале происходит компьютерная обработка соответствующей математической модели с целью заполнения первичного фрейма. Затем полученный фрейм сравнивается с первичными фреймами уже решенных задач из базы данных. Выделяется задача, первичный фрейм которой наиболее близок к фрейму решаемой задачи.

Работу системы адаптации можно представить в виде отображения

$$\bar{g} \rightarrow \bar{W} = \{W_1, W_2, \dots, W_k\},$$

где $\bar{W}$ – множество вторичных фреймов, имеющих в базе данных (накопленный опыт); k – число фреймов, имеющих в базе данных.

Близость решаемой задачи к одной из задач из массива предыстории определяется минимумом среднеквадратичного отклонения

$$R(\bar{g}) = \min_{g' \in G} \left\{ \sum_{i=1}^p a_i (g_i - g'_i)^2 \right\}, \quad g' = (g'_1, g'_2, \dots, g'_p),$$

где G – множество первичных фреймов из базы данных; a_i – весовые коэффициенты, определяющие относительную значимость одних параметров над другими. Эти коэффициенты задаются в виде экспертных оценок, хотя можно обойтись и без них ($a_i = 1$).

Исходя из информации, записанной во вторичном фрейме решенной задачи, даются рекомендации, каким методом решать новую задачу (структурная адаптация) и какие при этом использовать управляющие параметры (параметрическая адаптация).

После решения задачи заполняется её вторичный фрейм, и оба фрейма заносятся в базу данных, т.е. число k увеличивается на единицу. Следовательно, каждая новая задача обогащает базу данных, что способствует увеличению возможностей нахождения более близких аналогов для новых задач. Таким образом, данная адаптационная система является самообучающейся. Блок-схема адаптационной системы приведена на рис. 1.

3. Характеристики математической модели. Математическая модель представляет собой целевую функцию с ограничениями в виде неравенств, которые определяют допустимую область. Пусть требуется найти минимум (либо максимум) некоторой нелинейной многопараметрической целевой функции.

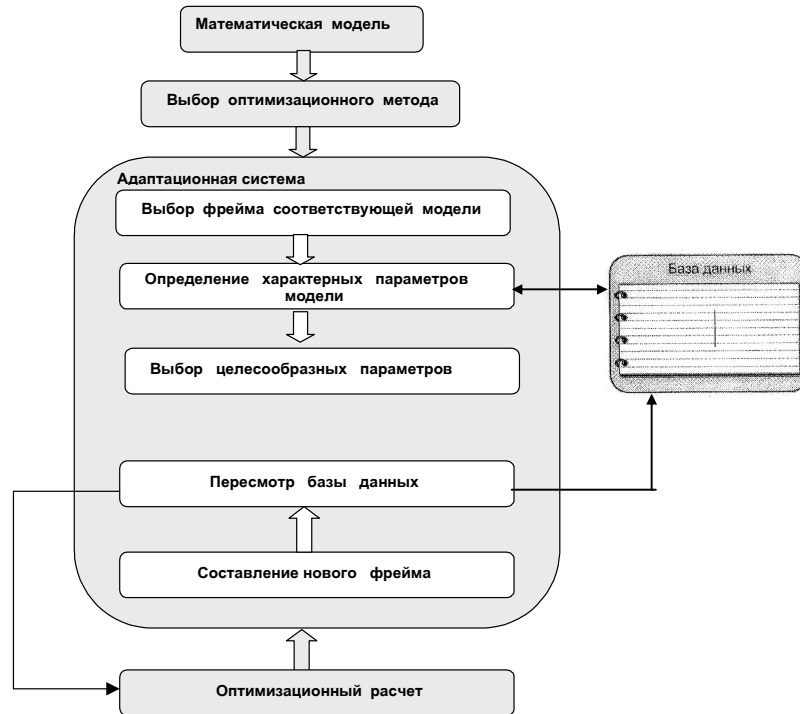
$$F(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min_{x \in D} \Rightarrow x^* \quad (2)$$

при выполнении условий нелинейных ограничений типа неравенств

$$D: \varphi_i(x) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

В разработанной адаптационной системе первичные фреймы пятимерны ($p=5$). В качестве характеристик, формирующих первичный фрейм $\bar{g} = (g_1, g_2, \dots, g_5)$, нами приняты следующие: $g_1 = n$ – число варьируемых переменных; $g_2 = m$ – число существенных ограничений; $g_3 = e$ – относительная вытянутость допустимой области (эксцентриситет); $g_4 = h$ – геометрическая характеристика линий уровня целевой функции, определяющая степень овражности первого типа; $g_5 = \alpha$ – взаиморасположение

линий уровня целевой функции и границы допустимой области, определяющее степень овражности второго типа [3].



Рассмотрим их подробнее.

1. Число варьируемых переменных (n) определяет размерность задачи и бывает явно заданным в математической модели.

2. Число существенных ограничений (m) вычисляется следующим образом. Существенными являются те ограничения, которые формируют допустимую область. Ограничение φ_i можно представить как некую подобласть D_i n -мерного евклидова пространства E^n ,

$$D_i = \{x \in E^n : \varphi_i(x) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0\}.$$

Допустимая область D есть множество точек, где выполнены все ограничения (3), т.е. $D = \bigcap_i D_i$. Ограничение φ_i является несущественным, если оно содержит допустимую область D внутри себя, т.е. $D \subset D_i$ и $\partial D \cap \partial D_i = \emptyset$, где ∂D_i - границы соответствующих областей. Ограничение φ_i является существенным, если $\partial D \cap \partial D_i \neq \emptyset$, то есть существует точка x_0 , которая лежит на границе допустимой области ∂D (а значит, для неё выполняются все остальные ограничения) и на границе ∂D_i :

$$\varphi_i(x_0) = 0, \quad \varphi_j(x_0) \geq 0, \quad j \neq i. \quad (4)$$

Если все ограничения задаются непрерывными функциями (а в большинстве реальных инженерных задач это так), то в достаточно близкой окрестности точки x_0 имеются точки x' , сохраняющие свойство (4). В точке x' все ограничения выполняются, кроме одного.

На основе приведенных формальных представлений вычисляется число существенных ограничений. Генерируется некоторое число (N) равномерно распределённых случайных точек, и в каждой точке проверяется выполнение ограничений. Ограничение φ_i считается существенным, если хотя бы одна случайная точка попадает в область V_i , состоящую из точек, для которых справедливы все ограничения, кроме φ_i ,

$$V_i = \{x \in E^n : \varphi_j(x) \geq 0, \quad j \neq i, \quad \varphi_i(x) < 0\}.$$

Заметим, что применение метода Монте-Карло здесь может привести к ошибке только одного рода. Если точка попала в V_i , то, действительно, φ_i является существенным ограничением. Если же ни одна случайная точка не попала в V_i (и программа признала φ_i несущественным ограничением), то в действительности могут быть обе возможности: n-мерный объем $|V_i|$ области V_i равен нулю и φ_i на самом деле несущественное ограничение; $|V_i| > 0$, т.е. ограничение на самом деле существенное. Однако вероятность ошибки P равна

$$P = \left(1 - \frac{|V_i|}{|V|}\right)^N,$$

где $|V|$ - n-мерный объем выборочного окна, $|V_i| < |V|$. При возрастании числа случайных точек N вероятность ошибки стремится к нулю с экспоненциальной скоростью.

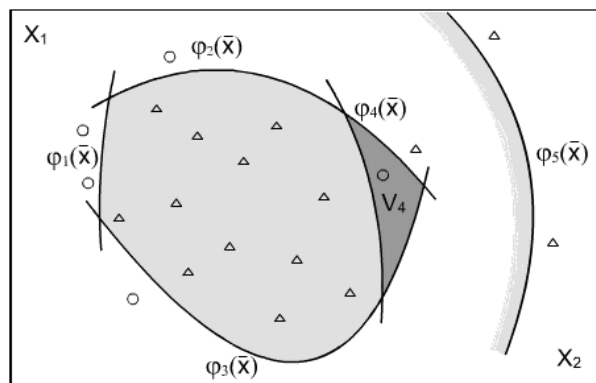


Рис. 2

На рис. 2 ограничение φ_5 несущественное, а ограничения $\varphi_1 \dots \varphi_4$ существенные. Знаками (o) обозначены случайные точки, которые привели к данному выводу.

3. Эксцентриситет ($\bar{e}$) допустимой области является матрицей (e_{ij}) размера $(n \times n)$. Из генерированных случайных точек выделяются точки, попавшие в допустимую область. Пусть их число - N_D , а координаты - $(X_1^{(s)}, \dots, X_n^{(s)})$, $s=1, \dots, N_D$. Проекция допустимой области на координатные оси аппроксимируются разностью координат

$$\beta_i = \max_s X_i^{(s)} - \min_s X_i^{(s)}, \quad i=1, \dots, n.$$

Затем числа β_i расставляются в возрастающем порядке и вычисляются их отношения

$$e_{ij} = \frac{\beta_i}{\beta_j}, \quad i < j.$$

Отметим, что упорядочивание чисел β_i необходимо для того, чтобы математические модели, отличающиеся лишь нумерацией переменных, имели одинаковые фреймы.

4. В качестве геометрической характеристики линий уровня целевой функции принят вектор $\bar{h} = (h_1, h_2, h_3)$. Пусть $\frac{\partial F(x)}{\partial x_i}$ - производная целевой функции F по направлению координатной оси O_{x_i} , определенная в точке x . Тогда h_1 - максимум производных целевой функции F по координатным направлениям:

$$h_1 = \max_x \left(\max_i \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} \right);$$

h_2 -- соответствующий минимум:

$$h_2 = \max_x \left(\min_i \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} \right);$$

h_3 -- относительная величина вытянутости линий уровня целевой функции:

$$h_3 = \max_x \left(\frac{\max_i \frac{\partial F(x)}{\partial x_i}}{\min_j \frac{\partial F(x)}{\partial x_j}} \right).$$

Отметим, что $h_3 \leq \frac{h_1}{h_2}$.

5. Угол α между линиями уровня целевой функции $F(x)$ и границей ∂D допустимой области можно оценить следующим образом. Пусть X_1 и X_2 - две точки из допустимой области, лежащие вблизи границы ∂D_i ограничения φ_i , т. е.

$$\varphi_i(X_k) \geq 0, \quad \varphi_i(X_k) < \varepsilon, \quad k = 1, 2. \quad (5)$$

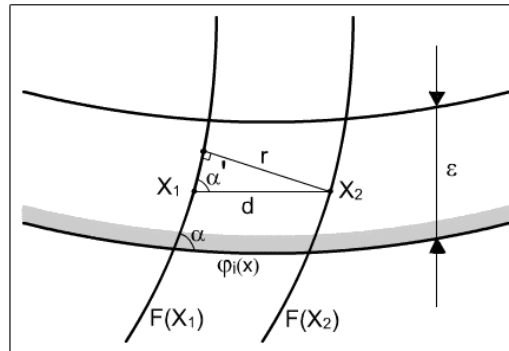


Рис. 3

Обозначим через d (рис. 3) расстояние между точками X_1 и X_2 , через r - расстояние между линиями уровня $F(X_1)$ и $F(X_2)$. Тогда для угла α имеем

$$\sin \alpha \approx \sin \alpha' = \frac{r}{d}. \quad (6)$$

Заменяя производную по r конечной разностью, получим

$$\frac{\partial F}{\partial r} = \frac{F(X_2) - F(X_1)}{r}.$$

Следовательно,

$$\sin \alpha \geq \min \frac{F(X_2) - F(X_1)}{d} \frac{1}{\max_i \frac{\partial F}{\partial X_i}}, \quad (7)$$

где минимум берется по всем парам точек, удовлетворяющим условию (5)

4. Численный эксперимент

Для оценок процессов аппроксимаций необходимых характеристик и определения работоспособности предложенных алгоритмов адаптации проведен ряд численных экспериментов. В качестве математических моделей брались такие функции, характеристики которых можно было вычислить аналитически. В частности, в принятой модели линии уровня целевой функции имели вид четырехмерного эллипсоида с заданным эксцентриситетом.

На рис. 4 показано отклонение приближенного значения эксцентриситета $\bar{e}$ допустимой области, полученного методом Монте-Карло, от точного значения в зависимости от числа сгенерированных точек.

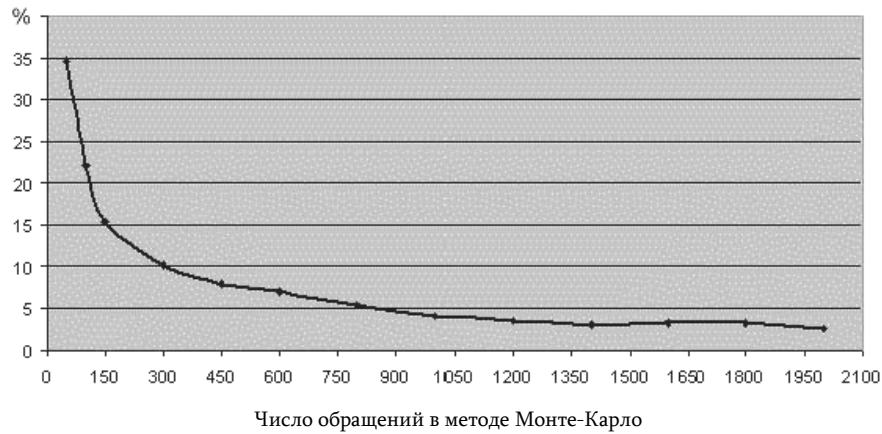


Рис. 4

Как видно из рис. 4, для принятой функции допустимая точность $\bar{e}$ достигается при приемлемом числе обращений к модели.

Процесс приближения ко всем остальным аппроксимируемым параметрам фрейма (кроме α) имеет подобный рис. 4 вид. Что же касается параметра α , то он аппроксимируется с помощью точек, находящихся в $\mathcal{E}$ -окрестности границы допустимой области (рис. 3).

На рис. 5 приведена зависимость оцениваемого угла α от параметра $\mathcal{E}$ при одном и том же числе обращений (по Монте-Карло) к модели.

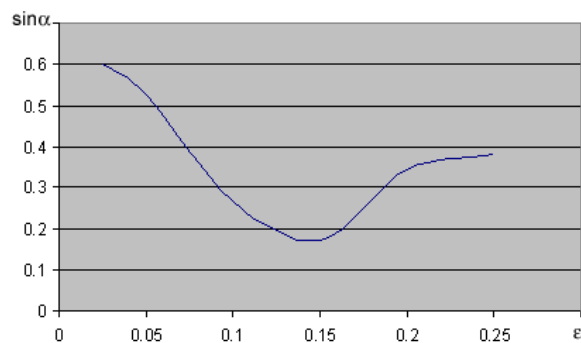


Рис. 5

Вид приведенной зависимости (рис. 5) объясняется тем, что с уменьшением ширины окрестности $\mathcal{E}$ уменьшается число точек, участвующих в аппроксимации (7), что приводит к значительной ошибке. С другой стороны, с увеличением ширины окрестности $\mathcal{E}$ нарушается параллельность отрезка X_1X_2 и границы ∂D

(рис. 3), что также приводит к увеличению погрешности аппроксимации (6). Из рис. 4 явствует также, что для исследуемой модели при данном количестве генерируемых случайных точек (по Монте-Карло) можно утверждать, что $\sin \alpha$ больше 0,17.

Для проверки эффективности процесса адаптации была накоплена база фреймов по результатам решения оптимизационных задач на разных моделях с использованием методов градиента, наискорейшего спуска, последовательного спуска и случайного поиска с несколькими видами самообучения [3] при различных значениях управляющих параметров. С использованием накопленной предыстории при решении новой задачи созданная система адаптации дала корректную рекомендацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Terzian H.** Optimal Decision-Making Adaptive System // 42 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau. – 1997. – P.162-164
2. **Терзян А., Сукиасян Г., Балян А.** Автоматическая адаптация в системах принятия решений // The 4th International Scientific Conference Vrnjacka Banja. – 1997. – С. 312-315.
3. **Терзян А.** Автоматизированное проектирование электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.06.2003.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Հ.Ս. ՍՈՒԳԻԱՍՅԱՆ, Դ.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ա.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ
ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԽՆԴԻՆԵՐՈՒՄ ԱՎՏՈՄԱՏ ԱԴԱՊՏԱՅԻԱՅԻ
ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Մշակված և իրականացված է ինքնաուսուցմամբ ավտոմատ ադապտացիայի կառավարման մեխանիզմ որոշումների ընդունման խնդիրներում: Ցույց է տրված առաջարկված ալգորիթմների աշխատունակությունը:

H.A. TERZIAN, H.S. SUKIASSYAN, D.S. GHAZARYAN, A.A. GRIGORYAN
ON AUTOMATIC ADAPTATION TO DECISION-MAKING PROBLEMS

A mechanism of self-training automatic control of the adaptation process in decision-making problems is developed and realized. The proposed algorithm workability is shown.

К.А. СОГОМОНЯН, К.А. ТУМАНЯН, ДЖ.Н. ДАЛЛАКЯН

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ПРОЕКЦИЙ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Предложен метод геометрического моделирования объектов с использованием возможностей и свойств четырехмерного пространства как расширенной среды проектирования. Разработан алгоритм осуществления этого метода в среде AutoCAD, для чего предложена программа (KPOV), написанная на графическом языке AutoLISP.

Ключевые слова: четырехмерное пространство, поверхность трехмерного пространства, гиперповерхность.

Переход от традиционных средств проектирования к компьютерным системам автоматизированного проектирования (САПР) открывает широкие возможности для использования методов геометрического моделирования, порождающих новые технологии. В настоящее время в САПР используют в основном два метода представления геометрической модели проектируемого объекта: 1) в виде плоского изображения, являющегося проекцией объекта трехмерного пространства (метод, ориентированный на чертеж); 2) в виде трехмерной модели, которая наглядно воспроизводит геометрические свойства трехмерного объекта (метод, ориентированный на объект).

Нами предлагается новый метод геометрического моделирования, в основе которого лежат следующие положения:

- предполагается, что основной объект расположен в четырехмерном пространстве (R^4);
- проектируемым является объект трехмерного пространства (R^3), модель которого представляет собой проекцию основного объекта на R^3 или на плоскость (R^2).

Основным преимуществом предлагаемого метода является расширение среды проектирования (R^4), которое позволяет, используя возможности и геометрические свойства R^4 , создать более простые, рациональные и универсальные способы конструирования геометрических объектов, в частности, поверхностей. Например, универсальным способом образования поверхностей в R^4 является пересечение двух гиперповерхностей, что в R^3 , естественно, невозможно реализовать.

Опишем геометрические закономерности одного из вариантов этого способа.

Пусть в R^4 имеем прямые T_1 , T_2 и плоскость R^2 , в которой заданы две линии g_1 , g_2 (рис. 1). Множество плоскостей, проходящих через прямую T_1 и пересекающих R^2 в точках линии g_1 (в R^4 две плоскости имеют одну общую точку [1]), образуют гиперповерхность, которую обозначим $(T_1 g_1)$. Таким же способом образуется гиперповерхность $(T_2 g_2)$.

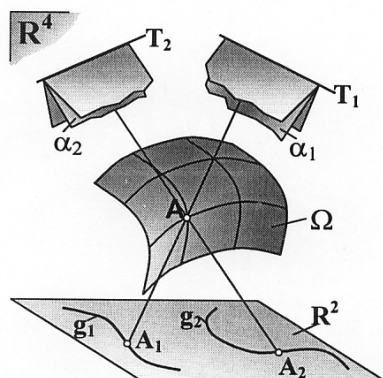


Рис.1

(A) поверхности Ω , а множество всевозможных пар таких точек (декартово произведение) – множество всех ее точек.

Итак, любой паре линий (g_1, g_2) плоскости R^2 можно сопоставить определенную поверхность (Ω) в пространстве R^4 . Проекцию этой поверхности в трехмерном пространстве (R^3) можно построить посредством перехода от плоской бинарной модели пространства R^4 к ее трехмерной аксонометрической модели.

Этот переход легче всего осуществляется методом сопоставления координат. Поэтому сначала рассмотрим координатный метод построения моделей (плоской и трехмерной) пространства R^4 .

Для получения бинарной плоской модели (комплексного чертежа) пространства R^4 необходимо построить ортогональные проекции точек этого пространства на две координатные плоскости, не имеющие общую ось координат. В качестве плоскостей проекций выбираем координатные плоскости **хоу** и **тоз** (рис. 2 а).

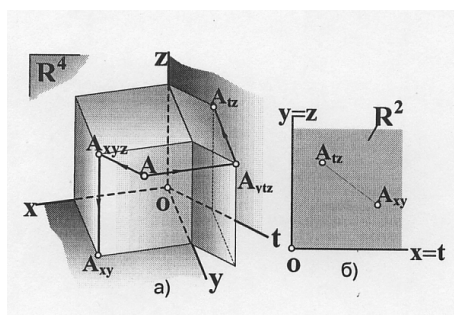


Рис. 2.

Проекцию A_{xy} точки $A \in R^4$ можно построить с помощью двух проецирований: сначала точку A проецируем на гиперплоскость **xyz** по направлению оси **t**, затем

полученную точку A_{xyz} проецируем на плоскость xy по направлению оси z . Точно таким же способом строится вторая проекция A_{tz} . Совмещая выбранные координатные плоскости (вместе с построенными проекциями) с плоскостью R^2 , получаем плоскую модель пространства R^4 (рис. 2 б).

Каждая произвольная пара точек (A_{xy}, A_{tz}) этой плоскости моделирует определенную точку (A) пространства R^4 .

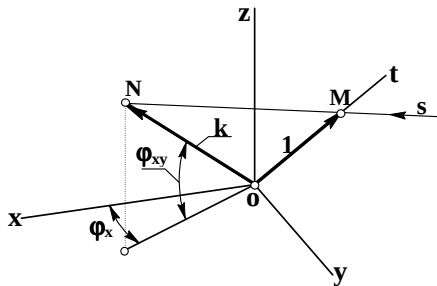


Рис.3

Трехмерную аксонометрическую модель пространства R^4 можно построить путем параллельного проецирования этого пространства на ее координатную гиперплоскость xyz (трехмерное пространство) по некоторому направлению s , непараллельную оси t (рис. 3). При этом аксонометрическая модель будет вполне определена, если задана проекция ON единичного вектора OM

координатной оси t . Эту проекцию более удобно задавать следующими тремя параметрами:

- 1) k – ее длина, которая фактически представляет собой коэффициент искажения t координат в пространстве модели;
- 2) φ_x – угол горизонтальной проекции (на $хоу$) вектора ON с осью x (в радианах);
- 3) φ_{xy} – угол наклона вектора ON относительно плоскости $хоу$ (в радианах).

С помощью этих параметров аксонометрические координаты вектора OA определяются следующими формулами:

$$\begin{aligned} X_{ON} &= k \cos \varphi_{xy} \cos \varphi_x, \\ Y_{ON} &= k \cos \varphi_{xy} \sin \varphi_x, \\ Z_{ON} &= k \sin \varphi_{xy}. \end{aligned} \quad (1)$$

Итак, трехмерная аксонометрическая модель четырехмерного пространства R^4 определяется тремя параметрами $(k, \varphi_x, \varphi_{xy})$, которые зависят от направления (s) проецирования. Произвольное задание этих параметров равносильно произвольному выбору направления проецирования.

Пусть известны параметры $k, \varphi_x, \varphi_{xy}$, тогда очевидно, что для любой точки $A(x, y, z, t) \in R^4$ можно построить единственную трехмерную модель $A_1(x_1, y_1, z_1)$, используя следующие зависимости между их координатами (формулы перехода):

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x + (k \cos \varphi_{xy} \cos \varphi_x) t, \\
 y_1 &= y + (k \cos \varphi_{xy} \sin \varphi_x) t, \\
 z_1 &= z + (k \sin \varphi_{xy}) t.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

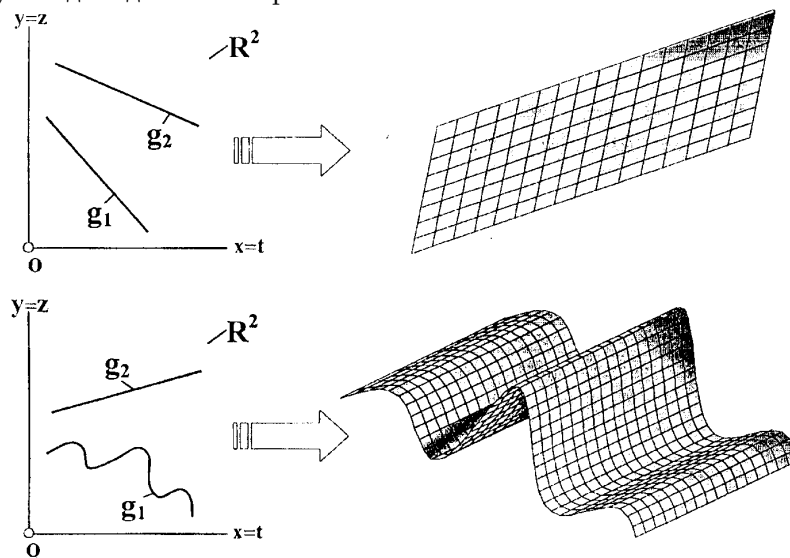
Используя вышеописанные модели, разработан алгоритм моделирования поверхностей трехмерного пространства, представляющих про-екции поверхностей Ω , расположенных в четырехмерном пространстве. Сущность этого алгоритма заключается в следующем.

Поверхность посредством двух линий (g_1 , g_2) задается в плоской бинарной модели, где определяются четыре координаты каждой "точки". Затем, используя формулы перехода (2), строится ее трехмерная модель.

Алгоритм реализован в среде **AutoCAD**. Программа, разработанная средствами графического языка **AutoLISP**, приведена в конце статьи.

Если программа введена в **AutoCAD**, то ее можно запускать из командной строки вводом имени функции (команды) (**KPOV**). После запуска команды (**Command: (KPOV) ↵**) достаточно выбрать (указать) заранее построенные линии g_1 , g_2 (их необходимо построить в рабочей плоскости **xy** текущей системы координат), задать количество точек на каждой линии и численные значения трех параметров: k , φ_{xy} (**ang1**), φ_x (**ang2**). Тогда система **AutoCAD** построит трехмерную модель искомой поверхности в виде многоугольной сети, плотность которой зависит от количества точек, задаваемых на линиях g_1 и g_2 .

Основные геометрические свойства трехмерной модели поверхности зависят от видов и взаимного расположения двух линий g_1 и g_2 , определяющих плоскую бинарную модель данной поверхности.



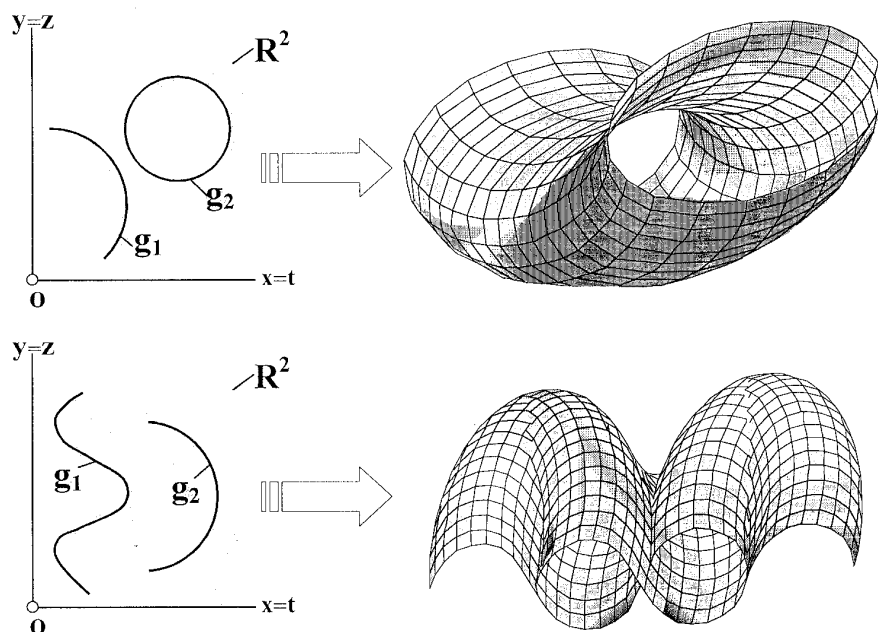


Рис. 4

На рис. 4 приведены некоторые примеры, которые выясняют принципиальную зависимость геометрической формы полученной поверхности от форм двух ее плоских проекций (g_1 , g_2).

Нетрудно заметить, что каждая из этих линий определяет форму линий одной из серий сетчатого каркаса воспроизведенной поверхности. Например, если обе линии – прямые, то получаем плоскость, каркас которой состоит только из прямых линий.

ПРОГРАММА (KPOV). Моделирование поверхностей

```
(defun kpov ()
  (setq g1 (car (entsel "\n Select object1:"))
        i1 (getint "\n enter i1:")
        g2 (car (entsel "\n Select object2:"))
        i2 (getint "\n enter i2:")
        k (getreal "\n enter k:")
        ang1 (getreal "\n enter ang1:")
        ang2 (getreal "\n enter ang2:"))
  (setq j1 0)
  (setq lst1 nil)
  (command "divide" g1 i1)
  (setq ss1 (ssget "p"))
  (repeat (- i1 1)
    (setq lst1 (cons (cdr (assoc 10 (entget (ssname ss1 j1)))) lst1)
          j1 (+ j1 1)))
  (setq j2 0)
  (setq lst2 nil)
```

```

(command "divide" g2 i2)
(setq ss2 (ssget "p"))
(repeat (- i2 1)
  (setq lst2 (cons (cdr (assoc 10 (entget (ssname ss2 j2)))) lst2)
    j2 (+ j2 1)))
(Command "erase" ss1 " " ) (command "erase" ss2 " " )
(setq n 0)
(command "3dmesh" (- i1 1) (- i2 1))
(repeat (- i1 1)
  (setq m 0)
  (repeat (- i2 1)
    (setq fx (+ (nth 0 (nth n lst1)) (* (* k (* (cos ang1) (cos ang2))) (nth 0 (nth m lst2))))
      fy (+ (nth 1 (nth n lst1)) (* (* k (* (cos ang1) (sin ang2))) (nth 0 (nth m lst2))))
      fz (+ (nth 1 (nth m lst2)) (* (* k (sin ang1)) (nth 0 (nth m lst2)))))
    (command (list fx fy fz))
    (setq m (+ m 1)))
  (setq n (+ n 1)))

```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Согомонян К. А.** Линейно-конструктивные методы формообразования (геометрическое моделирование). – Ереван: Айастан, 1990. – 214 с.
2. **Хейфец А. Л.** Инженерная компьютерная графика. AutoCAD. Опыт преподавания и широта взгляда. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 432 с.
3. **Полещук Х. Х.** Visual LISP и секреты адаптации AutoCAD. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 576 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.09.2002.

Կ.Հ. ՍՈՂՈՄՈՆՅԱՆ, Կ.Ա. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ, Ջ.Ն. ԴԱԼԼԱՅԱՆ

**ՔԱՌԱՉԱՓ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԵՌԱՉԱՓ
ՊՐՈՅԵԿՑԻԱՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԸ**

Առաջարկվում է օբյեկտների երկրաչափական մոդելավորման մեթոդ, որը թույլ է տալիս քառաչափ տարածության հնարավորություններն ու հատկություններն օգտագործել որպես նախագծման ընդլայնված միջավայր: Մշակված է AutoCAD միջավայրում այս մեթոդի իրականացման ալգորիթմը, որի համար առաջարկվում է գրաֆիկական AutoLISP լեզվով գրված (KPOV) ծրագիր:

K. H. SOGHOMONYAN, K.A. TUMANYAN, G. N. DALLAQYAN

**THREE-DIMENSIONAL PROJECTION CONSTRUCTION ALGORITHM ON
FOUR-DIMENSIONAL SPACE SURFACES**

A method of geometrical object modelling using the possibilities and characteristics of four-dimensional space as a widened projection medium is suggested. A realization algorithm of this method in AutoCAD is developed and a program written in AutoLISP graphical language is proposed.

Ռ.Ա. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ս.Յու. ՆԱԶԱՐՅԱՆ

ՄՇՏԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՂ ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՎԱԾ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ

Դիտարկվում է ժամանակային դեկոմպոզիցիայի մեթոդ՝ ժամանակի մեջ սահմանափակ կանխատեսում թույլատրող, մշտական գործող պատահական ազդեցություններով գործընթացների լավարկված կառավարման համար: Առաջարկվում է ստեղծել ծրագրային շապիկ, որը կօգտագործի ժամանակային դեկոմպոզիցիան տարբեր դասերի դինամիկական համակարգերի կառավարման համար և կթույլատրի համակարգերի նոր դասերի և լավարկման փաթեթների ավելացում՝ առանց ծրագրային շապիկի կոդի մեջ որևիցե միջամտության:

Առանցքային բաներ. լավարկված կառավարում, ժամանակային դեկոմպոզիցիա, պատահական ազդեցություններ, ծրագրային շապիկ:

Տեխնոլոգիական գործընթացների ԱԿՀ-երի ստեղծման ընթացքում բախվում ենք բարդ համակարգերի կառավարման խնդիրների: Ներկայումս բարդ համակարգի լավարկված կառավարման խնդիրն ամբողջությամբ լուծել (դիտարկելով այն որպես միակ կառավարման օբյեկտ) անհնար է: Այդ պատճառով առաջանում է դեկոմպոզիցիայի և հիերարխիկ կառուցվածքի ստեղծման անհրաժեշտություն: Լավարկված կառավարման ընդհանուր խնդրի դեկոմպոզիցիայի ժամանակ ենթանպատակների է բաժանվում նաև ամբողջ համակարգի ընդհանուր նպատակը: Նշենք, որ երբեմն նպատակահարմար է դեկոմպոզիցիա կատարել նույնիսկ այն դեպքերում, երբ խնդիրը կարելի է լուծել նաև առանց դրա:

Դինամիկական լավարկման խնդիրներում լավարկված կառավարումը կարող է արտահայտվել երկու ձևով՝ կամ ինչ-որ օբեկտի, որը կապում է կառավարումը համակարգի ընթացիկ վիճակի հետ (հետադարձ կապի տիպի լավարկված կառավարում), կամ ժամանակի ֆունկցիայի տեսքով (լավարկված ծրագրային կառավարում):

Բոլոր իրական գործող համակարգերում, որոնք ընդհանուր տեսքով նկարագրվում են

$$\begin{aligned}\dot{X} &= F(X, U, t, Z), & t &\in [t_0, t_f] \\ X(t_0) &= X_0, & X &\in \Omega_X, \quad U \in \Omega_U\end{aligned}\quad (1)$$

մաթեմատիկական մոդելով (որտեղ X -ը համակարգի վիճակն է, U -ն՝ կառավարումը, Z -ը՝ արտաքին ազդեցությունները t -ն՝ ժամանակը) և պահանջում են նվազարկել (մաքսիմալացնել)՝

$$J = \int_{t_0}^{t_f} G(X, U, t) dt \quad (\text{մասնավոր դեպքում } t_f \rightarrow \infty) \quad (2)$$

չափանիշը կամ որակի ֆունկցիան, լավարկված կառավարման ժամանակ անհրաժեշտ է լինում կանխագուշակել այդ համակարգերի վրա ազդող արտաքին

ազդեցությունները կառավարման ամբողջ ժամանակահատվածի համար: Ընդ որում, ենթադրվում է, որ վրդովմունքները հայտնի պետք է լինեն (կանխագուշակվեն) լավարկման ամբողջ միջակայքի վրա: Բարդ տեխնոլոգիական գործընթացների համար այդպիսի ենթադրությունը, ակնհայտորեն, ոչ օրինաչափ է: Միաժամանակ, սովորաբար հնարավոր է կանխագուշակել օբյեկտի վրդովված շարժումը որոշակի սահմանափակ ընթացիկ ժամանակի միջակայքում: Դա թույլ է տալիս պատահական բնույթ ունեցող վրդովմունքների դեպքում լավարկված կառավարման խնդրի համար ձևակերպել այլ մոտեցում:

Այդպիսի մոտեցման հիմնական գաղափարը (1) կապերի և սահմանափակումների դեպքում (2) ֆունկցիոնալի նվազարկման խնդրի փոխարինումն է օկարճացված խնդիրների շարքով՝ $J_k(U)$ ֆունկցիոնալների նվազարկումով ժամանակի հաջորդական միջակայքերի վրա՝ $T_f < t_f - t_0$ երկարությամբ.

$$J_k(U_k) = \int_{t_0 + k\Delta T}^{t_0 + k\Delta T + T_{\text{ж}}} G(X_k, U_k, t) dt \rightarrow \min_{U_k}, \quad (3)$$

$$k = 1, 2, \dots, \frac{t_f - t_0}{\Delta T},$$

որտեղ T_f -ն՝ կանխագուշակման (էքստրապոլյացիա) միջակայքն է, ΔT -ն՝ շտկման միջակայքը (կառավարման շտկումների միջև ժամանակային միջակայքը, որի վրա կառավարումն ընդունվում է հաստատուն), X_k -ն՝ օբյեկտի՝ k -րդ միջակայքի վրա կանխագուշակվող վրդովված շարժումն է:

Ընդ որում՝ գտնված կառավարումների $U_k[t]$ $t \in [t_0 + (k-1)\Delta T, t_0 + k\Delta T + T_f]$ հաջորդականությունից իրագործվում է միայն նրանց սկզբնական տեղամասերի հաջորդականությունը՝ $U[k] = U_k(t)$, $t \in [t_0 + (k-1)\Delta T, t_0 + k\Delta T]$, $k=1, 2, \dots$ այսինքն՝ տեղի է ունենում կառավարման պարբերաբար որոնում մոտակա ΔT միջակայքի վրա, միաժամանակ ավելի լայն T_f միջակայքի վրա կանխագուշակմամբ: Երբ համակարգի կառավարման համար օգտագործվում են թվային կառավարող մեքենաներ (ինչը միշտ տեղի ունի տեխնոլոգիական գործընթացների ԱԿՀ-երում), գործընթացների՝ ըստ ժամանակի ընդհատության կառավարման ազդանշանն ունենում է աստիճանաձև տեսք.

$$U(\tau) = U[k], \quad (k-1)\Delta T \leq \tau \leq k\Delta T:$$

Ընդհատ համակարգի համար լավարկման չափանիշը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$J = \sum_{k=0}^{N_1} G(X(k), U(k), Z(k)):$$

Քանի որ լավարկված կառավարումը պետք է իրականացվի ΔT ժամանակային միջակայքի ընթացքում, անհրաժեշտ է ունենալ լավ սկզբնական մոտարկում, որպեսզի այդ որոնումն ավարտվի նշված ժամանակահատվածի ընթացքում: Դիտարկենք, թե ինչպես կարելի է ստանալ լավ սկզբնական մոտարկում: Լավարկման

ընթացակարգը յուրաքանչյուր անգամ կրկնվում է՝ լավարկման միջակայքը շեղելով ΔT չափով: Թեև այդ ընթացակարգը տալիս է կառավարման հաջորդականություն ամբողջ ընթացիկ լավարկման միջակայքի՝ $N\Delta T$ համար, մենք օգտագործում ենք այդ հաջորդականության միայն առաջին անդամը (մնացած բաղադրամասերը կարող են օգտագործվել որպես սկզբնական մոտարկումներ հաջորդ դիտարկման միջակայքի համար): Քանի որ ենթադրում ենք, որ կառավարման օբյեկտը ΔT ժամանակահատվածի ընթացքում էականորեն չի փոխում իր վիճակը, ապա որոնված հաջորդականությունը նախորդ լավարկման միջակայքի համար կլինի լավ սկզբնական մոտարկում ընթացիկ լավարկման ժամանակահատվածի համար: Այսպիսով, օգտագործելով նախորդ լավարկման միջակայքում որոնված կառավարումների հաջորդականությունը, կարելի է նվազեցնել ընթացիկ լավարկման միջակայքում որոնման ժամանակը:

Եթե կանխագուշակման միջակայքը ընտրվում է համակարգի հիշողության $T_t \geq T_h$ ժամանակահատվածից՝ ոչ փոքր, այդպիսի համակարգերի որակի վատացումը կախված է միայն վրդոված շարժման կանխագուշակման անճշտությունից (ոչ թե վարիացիոն խնդրի կրճատումից): Ինչպես հետևում է ժամանակային դեկոմպոզիցիայի սկզբունքից, վերջինիս օգտագործման համար անհրաժեշտ է, որ օբյեկտն ունենա վերջավոր T_h հիշողություն: Դինամիկական համակարգերի հիշողությունը կարելի է որոշել անցողիկ գործընթացի ժամանակի տևողությունից, երբ մուտքին տրվում է վրդովմունք: Բացի դրանից, այս մեթոդով խնդիրներ լուծելիս անհրաժեշտ է լուծել երեք խնդիր՝ գնահատել վիճակը, կանխագուշակել վրդովմունքները, որից հետո լուծել բուն լավարկման խնդիրը: Դա նշանակում է, որ խնդիրների լուծման ժամանակ կատարվում է նաև ենթախնդիրների կառուցվածքային դեկոմպոզիցիա:

Քանի որ բոլոր իրական համակարգերն օժտված են վերջավոր հիշողությամբ, դա լայն հեռանկարներ է բացում տեխնոլոգիական գործընթացների ԱԿՀ-երում նշված դեկոմպոզիցիայի մեթոդի կիրառման համար:

Վերջավոր հիշողություն ունեցող համակարգերի լայն դասի համար ժամանակային դեկոմպոզիցիա իրականացնելու նպատակով առաջարկվում է ստեղծել ծրագրային շապիկ, որը հիմնականում բաղկացած կլինի հետևյալ երեք մոդուլներից՝ համակարգերի պարբերական մեթոդներ, կանխագուշակման ալգորիթմներ և լավարկման փաթեթներ: Ծրագրային շապիկի մեջ մտնում են հետևյալ ֆունկցիաները.

- օգտագործողի հետ որոշակի հարց ու պատասխան իրականացնելուց հետո կազմել կառավարվող համակարգի մաթեմատիկական մոդելը և այդ մոդելի լավարկման չափանիշը;

- լրացուցիչ հարց ու պատասխան իրականացնելուց հետո որոշել համակարգի վրա ազդող արտաքին ազդեցությունների բնույթը և, դրանից ելնելով, ընտրել կանխագուշակման համապատասխան մաթեմատիկական մոդելը;

- տարբերակված համակարգի մոդելի լավարկում կատարելու համար լավարկման փաթեթների գրադարանային մոդուլից ընտրվում է համապատասխան լավարկման փաթեթ;

- որոշվում են համակարգի բնութագրերի արժեքները և հարցում է կատարվում լավարկման ժամանակային միջակայքի և համակարգի սկզբնական վիճակի մասին;

- վերլուծվում և որոշվում է տարբերակված կառավարման համակարգի գործնական հիշողության մեծությունը;

- այնուհետև սկսվում է բուն կառավարման գործընթացը հաջորդական ժամանակային միջակայքերի համար՝ յուրաքանչյուր անգամ կատարելով արտաքին ազդեցությունների կանխագուշակում՝ համակարգի հիշողության չափով: Կառավարման արդյունքները պահվում են ծրագրային շապիկի համապատասխան մոդուլում և, ըստ օգտագործողի համապատասխան հարցման, դուրս են բերվում պատկերավոր (թվերի և գծագրերի) տեսքով:

Համակարգի կառավարման ընթացքում հնարավորություն է տրվում վերագնահատել արտաքին ազդեցությունների բնույթը, դրանց՝ ընթացիկ կանխագուշակման ալգորիթմին անհամապատասխանության դեպքում կատարվում է բնութագրերի վերագնահատում, և, անհրաժեշտության դեպքում՝ ալգորիթմի փոխարինում: Ընդհանուր դեպքում կանխագուշակումը կատարվում է ըստ վիճակագրական տվյալների, որոնք պահվում են ծրագրային շապիկի մոդուլներից մեկի մեջ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Егоров С. В.** Элементы теории идентификации и оптимизации управляемых систем / МЭИЖ — М., 1974.
2. **Авет, сян Р., Назарян С.** Ме2од/ ядекомпозиц, ц, , ятр, ярешен, , язадачау управлен, яя сложн/ м, яс, с2емам, я//я Год, чная научная конференц, яя ГИУАж — яя Ереван, я 1999ж
3. **Ավետիսյան Ռ., Նազարյան Ս.** Բարդ համակարգերի կառավարման ժամանակային դեկոմպոզիցիան իրականացնող ծրագրային շապիկ // ՀՊՀՀ տարեկան գիտաժողով: Նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2000:
4. **Ավետիսյան Ռ., Նազարյան Ս.** Ժամանակային դեկոմպոզիցիան բարդ համակարգերի կառավարման խնդիրներում // ՀՊՀՀ տարեկան գիտաժողով: Նյութերի ժողովածու, Երևան, 2001:

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 04.02.2003:

Р. А. АВETИСЯН, С. Ю. НАЗАРЯН **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМ С ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИМИ** **СЛУЧАЙНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ**

Рассматривается метод временной декомпозиции для оптимального управления процессов с постоянно действующими случайными возмущениями, допускающими ограниченный во времени прогноз. Предлагается создать программную оболочку, использующую временную декомпозицию для управления различными классами динамических систем, допускающую добавление новых классов систем и оптимизационных пакетов без какого-либо вмешательства в программный код оболочки.

R.A. AVETISYAN, S.YU. NAZARYAN **OPTIMAL CONTROL OF SYSTEMS WITH PERMANENTLY ACTING OCCASIONAL** **DISTURBANCES**

Time decomposition method is examined for optimal control of processes with permanently acting occasional disturbances, permitting time limited forecast. Also a program shell is described, in which time decomposition is used to control various classes of dynamic systems. It allows addition of new classes of systems and optimization packages without any interference into code of program shell.

Э.А. СИМОНЯН

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ В МОДЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Рассмотрен широкий подкласс класса консервативных дисциплин модели $M_r | G_r | 1 | \infty$, где внутри промежутков сплошного обслуживания вызовов k -го типа, $k = \overline{1, r}$, используется разделение времени процессора в алгоритме коллективного пользования. В стационарном режиме для средних времен пребывания вызовов при условии того, что данный вызов уже получил x единиц времени на обслуживание, сформулирован и доказан закон сохранения.

Ключевые слова: консервативный, дисциплина, модель, обслуживание, вызов.

1. **Алгоритм коллективного пользования. Модель $M_r | G_r | 1 | \infty$.** В одноканальную систему обслуживания с ожиданием поступают независимые пуассоновские потоки 1-вызовов, 2-вызовов, ..., r -вызовов с параметрами $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, ..., $a_r > 0$ соответственно. Длительности обслуживания вызовов независимы, не зависят от процесса поступления и для k -вызовов, $k = \overline{1, r}$, имеют функцию распределения (ФР) $B_k(x)$, $B_k(+0) = 0$.

Вводится понятие k -промежутка, $k = \overline{1, r}$, в течение которого обслуживаются только k -вызовы. Именно поступающий в свободную модель k -вызов, $k = \overline{1, r}$, инициирует начало k -промежутка, который завершается первым моментом освобождения модели от k -вызовов. После завершения, скажем, j -промежутка, $j = \overline{1, r}$, по заранее заданному правилу на прибор выбирается вызов определенного потока. Если это k -вызов, $k = \overline{1, r}$, $k \neq j$, то начинается k -промежуток, который завершается первым моментом освобождения модели от k -вызовов.

Внутри k -промежутка, $k = \overline{1, r}$, действует алгоритм коллективного пользования. Именно для k -вызовов, $k = \overline{1, r}$, имеется система очередей и распределительный алгоритм, который определяет способ выбора на прибор следующего k -вызова и интервал времени (квант), предоставляемый ему для обслуживания. Если за квант вызов завершает обслуживание, то покидает модель. В противном случае, он возвращается в систему очередей и ожидает предоставления ему очередного кванта и т.д.

Предполагается, что описанный выше широкий класс алгоритмов (дисциплин обслуживания) является консервативным. Дисциплина обслуживания

консервативна, если работа (время обслуживания) не создается и не исчезает внутри модели, а лишь привносится в модель извне поступлением вызовов [1].

В теории информационно-вычислительных систем часто величину кванта при анализе моделей устремляют к нулю и говорят о разделении времени процессора в моделях коллективного пользования [1-3]. Таким образом, при разделении времени процессора внутри k -промежутка, $k = \overline{1, r}$, в любой момент времени одновременно обслуживаются все присутствующие в данный момент в системе очереди k -вызовы.

В настоящей работе изучается модель $M_r | G_r | 1 | \infty$ коллективного пользования с разделением времени процессора (прибора).

2. Закон сохранения. В модели $M_r | G_r | 1 | \infty$ коллективного пользования с разделением времени основной качественной характеристикой k -вызовов, $k = \overline{1, r}$, служит среднее время $T_k(x)$, $x \geq 0$, пребывания в модели k -вызова, которому для полного обслуживания требуется x единиц времени. Интерес представляет также величина

$$W_k(x) = T_k(x) - x, \quad k = \overline{1, r}, \quad x \geq 0, \quad (1)$$

называемая растраченным временем (временем ожидания) k -вызова.

Введем обозначения

$$\rho_k = a_k \beta_{k1}, \quad k = \overline{1, r}, \quad R = \rho_1 + \dots + \rho_r, \quad W_0 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^r a_k \beta_{k2},$$

где

$$\beta_{ki} = \int_0^{\infty} x^i dB_k(x), \quad k = \overline{1, r}, \quad i = 1, 2.$$

Выше речь шла о стационарных средних $T_k(x)$ и $W_k(x)$, $k = \overline{1, r}$, $x \geq 0$, в определенном подклассе класса консервативных дисциплин, существование которых, как известно [1], обеспечивается условиями

$$R < 1 \quad \text{и} \quad W_0 < +\infty. \quad (2)$$

Величины R и W_0 интерпретируются следующим образом. Величина R есть среднее суммарное время обслуживания (всех) вызовов, поступающих в модель за единицу времени. Ее называют загрузкой модели. Величина W_0 есть среднее остаточное время обслуживания. Именно, если на приборе в рассматриваемый момент находится вызов, то W_0 есть время до завершения его обслуживания в предположении, что прерывания обслуживания не допускаются. В противном случае (если прибор свободен), $W_0 = 0$ [1].

Ниже сформулирован закон сохранения в модели $M_r | G_r | 1 | \infty$ коллективного пользования с разделением времени для $T_k(x)$, $k = \overline{1, r}$, $x \geq 0$. Из-за

простой связи (1) закон сохранения легко записывается и в терминах $W_k(x)$, $k = \overline{1, r}$, $x \geq 0$. Предполагаем выполненными условия (2).

Теорема. Имеет место следующий закон сохранения:

$$\sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} T_k(x) \cdot (1 - B_k(x)) dx = \frac{W_0}{1 - R}. \quad (3)$$

Отметим, что выражение в правой части (3) представляет собой стационарное среднее Mw , где w - стационарная величина накопленной и незавершенной работы в классе консервативных дисциплин модели $M_r | G_r | 1 | \infty$.

$$Mw = \frac{W_0}{1 - R} \quad [1]. \quad (4)$$

Здесь M - знак математического ожидания.

Доказательство теоремы дано в приложении.

ПРИЛОЖЕНИЕ. Введем обозначения:

$n_k(x)$, $k = \overline{1, r}$, $x \geq 0$, - плотность распределения числа k -вызовов, еще находящихся в модели, которые до рассматриваемого момента времени (внутри k -промежутка) получили x единиц времени обслуживания;

$\eta_k(x)$, $k = \overline{1, r}$, $x \geq 0$, - остаточное время обслуживания k -вызова, уже получившего x единиц времени обслуживания при условии недопущения его прерывания.

Величина Mw , определяемая формулой (4), может быть определена также по формуле полного математического ожидания

$$Mw = \sum_{k=1}^r \int_0^{\infty} M(\eta_k(x)) n_k(x) dx. \quad (5)$$

При $k = \overline{1, r}$ и $x \geq 0$ нетрудно видеть, что

$$M(\eta_k(x)) = \int_x^{\infty} (t - x) \frac{dB_k(t)}{1 - B_k(x)}. \quad (6)$$

Действительно, отношение $\frac{dB_k(t)}{1 - B_k(x)}$ при $t > x$ и $k = \overline{1, r}$ есть условная

вероятность того, что для полного обслуживания k -вызова требуется время, принадлежащее промежутку $[t, t + dt)$, при условии, что этот k -вызов уже получил x единиц времени обслуживания. Тогда в правой части (6) записано математическое ожидание этой условной ФР (по t).

Аналогично выводу формулы (4.11) из [1], с. 193, при $k = \overline{1, r}$ и $x \geq 0$ устанавливается следующая формула:

$$n_k(x) = a_k (1 - B_k(x)) \frac{dT_k(x)}{dx}. \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (5), получаем

$$\begin{aligned}
Mw &= \sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} (1 - B_k(x)) \frac{dT_k(x)}{dx} \left\{ \int_x^{\infty} (t-x) \frac{dB_k(t)}{1 - B_k(x)} \right\} dx = \\
&= \sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} dT_k(x) \cdot \int_x^{\infty} (t-x) dB_k(t).
\end{aligned} \tag{8}$$

Поскольку очевидно, что растраченное время $W_k(x)$ при каждом $k = \overline{1, r}$ с ростом x не убывает, то у $W_k(x)$ почти всюду по x существует производная $W_k^{(1)}(x) = \frac{dW_k(x)}{dx}$. Используя (1), (4) и (8), находим

$$\begin{aligned}
\frac{W_0}{1-R} &= \sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} (W_k^{(1)}(x) + 1) \left\{ \int_x^{\infty} (t-x) dB_k(t) \right\} dx = \\
&= \sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} \left\{ \int_0^t (W_k^{(1)}(x) + 1)(t-x) dx \right\} dB_k(t),
\end{aligned} \tag{9}$$

где изменен порядок интегрирования.

Взяв внутренний интеграл правой части (9) по частям, при $k = \overline{1, r}$ и $t \geq 0$ имеем

$$\int_0^t (W_k^{(1)}(x) + 1)(t-x) dx = \int_0^t (W_k(x) + x) dx = \int_0^t T_k(x) dx.$$

Подстановка полученного выражения в правую часть (9) дает

$$\begin{aligned}
\frac{W_0}{1-R} &= \sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} \left\{ \int_0^t T_k(x) dx \right\} dB_k(t) = \sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} T_k(x) dx \cdot \int_0^{\infty} dB_k(t) = \\
&= \sum_{k=1}^r a_k \cdot \int_0^{\infty} (1 - B_k(x)) T_k(x) dx,
\end{aligned}$$

что доказывает (3). Теорема доказана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Клейнрок Л.** Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979. – 600 с.
2. **Берген Ж., Риту М., Ружие Ж.** Работа ЭВМ с разделением времени. - М.: Наука, 1970. – 260 с.
3. **Уилкс М.** Системы с разделением времени. - М.: Мир, 1972. – 123 с.

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 25.05.2002.

**Է.Ա. ՄԻՄՈՆՅԱՆ
ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔԸ ՄԻԱՄՆԱԿԱՆ
ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՄՈԴԵԼՈՒՄ**

Դիտարկվում է $M_r | G_r | 1 | \infty$ մոդելի պահպանողական հերթակարգերի մի լայն դաս, որտեղ k -տիպի պահանջների՝ $k = \overline{1, r}$, առանձին վերցված անընդմեջ սպասարկման միջակայքերում օգտագործվում է սպասարկման պրոցեսորի ժամանակի բաժանման միասնական օգտագործման ալգորիթ: Մոդելի ստացիոնար $T_k(x)$, $k = \overline{1, r}$, $x \geq 0$ վիճակում k -տիպի պահանջի՝ մոդելում գտնվելու միջին պայմանական ժամանակի համար (այն պայմանի դեպքում, երբ նշված պահանջը ստացել է սպասարկման x միավոր ժամանակ), ձևակերպված և ապացուցված է պահպանման օրենք:

**E.A. SIMONYAN
CONSERVATION LAW IN THE
COLLECTIVE USE MODEL**

A wide subclass of conservative class disciplines is viewed for the model $M_r | G_r | 1 | \infty$ where inside intervals a time-sharing processor in collective use algorithm is applied. The conservative law is formulated and proved for mean time call arrival in stationary conditions provided the given call has already obtained X unit time for service.

Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Ա.Պ. ԿՈՒԼԱԽՍՅԱՆ

ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ԱՌՈՒՄՈՎ ՔՎԱՆՏԱՑՎԱԾ ԵՎ ՄԻՋԻՆԱՑՎԱԾ
ՎԻՃԱԿՆԵՐՈՎ ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐ

Նկարագրված են թվային տարրերի տրամաբանական մոդելներ՝ կոդմոնտրոշված հատուկ բազմամակարդակ մոդելավորման ծրագրերին: Բերված են տարբեր բարդության և ճշտության մոդելների տարբերակներ: Քննարկված են ժամանակային պարամետրերի կախվածությունները զանազան գործոններից:

Առանցքային բառեր. տրամաբանական մոդել, թվային տարր, գրգռված վիճակ, կայունացված վիճակ, անցողիկ գործընթացներ:

ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐ

Մոդելների ընդհանուր տեսքը: Գերմեն ինտեգրալ սխեմաների (ԳՄԻՍ) խառը բազմամակարդակային մոդելավորման համակարգերում [1, 2], ի տարբերություն ավանդական տրամաբանական մոդելավորման ծրագրերի [3], թվային տարրերի տրամաբանական մոդելներին ներկայացվում են հետևյալ լրացուցիչ սահմանափակումները.

1. այդ մոդելները պետք է լինեն ասինքրոն, այսինքն՝ հաշվի առնեն փոխանցատման հապաղումները, քանի որ աշխատում են ժամանակի մեջ անընդհատ մոդելների հետ համատեղ,

2. տրամաբանական մոդելների ելքերում պետք է ստացվեն ժամանակի մեջ անընդհատ ելքային ազդանշաններ, չնայած դրանց վիճակները քվանտացված են: Այս պահանջը վերաբերում է այն տարրերի տրամաբանական մոդելներին, որոնց ելքերը կապված են նմանակային մոդելների հետ,

3. այն տրամաբանական մոդելների մուտքերում, որոնք կապված են անընդհատ մոդելների հետ, պարտադիր է ինտերֆեյսի առկայությունը, որը պետք է անընդհատ ազդանշանները ձևափոխի տրամաբանական քվանտացված ազդանշանների:

Թվարկված պահանջներից բացի, տրամաբանական մոդելներին ներկայացվում են նաև ավանդական պահանջներ, մասնավորապես, անցողիկ գործընթացների նկարագրման բարձր ճշտություն: Խառը մոդելավորման ժամանակ հաճախ պահանջվում է ավելի բարձր ճշտություն, քան ավանդական տրամաբանական մոդելավորման դեպքում: Բացի դրանից, եզրային տարրերի համար կարևոր է ոչ միայն ժամանակային հարաբերությունների ճշտությունը, այլև ազդանշանների տեսքը և ամպլիտուդը:

Նկարագրվում են մշակված, ժամանակային առումով քվանտացված և միջինացված վիճակներով տրամաբանական մոդելները, որոնք բավարարում են նշված պահանջները:

Ենթադրենք՝ Q -ը մուտքային բառն է, այսինքն՝ թվային տարրի (Θ) մուտքային ազդանշանների վեկտորը: Նույն ձևով՝ Q -ն ելքային բառն է: Q -ի և Q -ի այբուբենները կարող են լինել երկու և ավելի նիշանի: Երկնիշ այբուբենն է $\{0, 1\}$: Այն

կարող է ընդլայնվել X անորոշ ազդանշանով, բարձր դիմադրությամբ վիճակն արտացոլող H նիշով և այլն:

Ներմուծված է S վեկտորը, որը բնութագրում է մոդելի վիճակը: S վեկտորի բաղկացուցիչ մասերը կարող են լինել տվյալ θS -ի հիշողության տարրերի ազդանշանները կամ արհեստականորեն ներմուծված փոփոխականները, որոնք արտացոլում են, օրինակ, վիճակի հերթական համարը: θS -ի տարրեր բաղկացուցիչների այբուբենները կարող են չհամընկնել մեկը մյուսին և Q_U , Q_E վեկտորների այբուբեններին: Տարբերում են **կայուն** (չգրգռված) և **անցողիկ** (գրգռված) վիճակներ: Կայուն վիճակում մոդելը կարող է գտնվել հնարավորին չափ երկար ժամանակ և դուրս կգա այդ վիճակից միայն Q_U -ի որոշակի փոփոխությունների դեպքում: Եթե հետագայում Q_U -ը չի փոխվում, ապա մոդելը գտնվում է գրգռված վիճակում t_q սահմանափակ ժամանակահատվածում, որից հետո անցնում է որևէ կայուն կամ այլ գրգռված վիճակի: Նախատեսված են նաև գրգռված վիճակների վերադարձների դեպքում անցումների օրենքներ: Յուրաքանչյուր գրգռված վիճակ բնութագրվում է նրա սկզբի պահով t_u և նրանում գտնվելու տևողությամբ՝ t_q : Գրգռման ավարտի պահը որոշվում է որպես

$$t_{\psi} = t_u + t_q \quad (1)$$

t_q -ն կարող է սևեռված լինել տվյալ վիճակի համար կամ կախված լինել Q_U -ից, նախկին վիճակից և այլն:

Q_E ելքային բառը բնութագրվում է S վիճակով, մուտքային բառի ընթացիկ և նախորդ արժեքներով, ինչպես նաև Q_E -ի նախորդ արժեքով: Եզրային տարրերի համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև ժամանակի մեջ անընդհատ, բայց վիճակների տեսանկյունից քվանտացված ազդանշանների արժեքների համապատասխանությունը նմանակային ազդանշաններին: Դա կատարվում է հետևյալ կերպ. չգրգռված վիճակում Q_E -ի յուրաքանչյուր նիշին համապատասխանում է պարապ ընթացքի լարման որոշակի սևեռված մակարդակ, օրինակ՝ “0”-ին՝ E_0 , “1”-ին՝ E_1 , X անորոշ վիճակին՝ $E_X = \frac{E_0 + E_1}{2}$ լարումներ և այլն: Այսպիսով՝ չգրգռված վիճակում Q_E

յուրաքանչյուր բառին համապատասխանում է E_E վեկտորը: Իսկ մոդելի որևէ գրգռված վիճակի անցման ժամանակ որոշվում են E_E -ի փոփոխման սկսվելու t_u պահը և փոփոխման ավարտի t_q պահը: Վերջիններս գտնվում են փոխանջատման t_{ψ} պահի մոտակայքում և բավարարում են $t_{\psi} - t_q \leq t_u \leq t_{\psi} \leq t_q$ պայմանը: t_u -ից t_q ժամանակահատվածում E_E վեկտորը անընդհատ փոխվում է նախորդ արժեքից հաջորդ արժեքին: Պարզագույն դեպքում E_E -ի փոփոխման օրենքը գծային է: $t_u \leq t_{\psi} \leq t_q$ պայմանի դեպքում

$$E_{Ei}(t) = E_{Eiu} + (E_{Eiq} - E_{Eiu}) \frac{t - t_u}{t_q - t_u}, \quad (2)$$

որտեղ E_{Eiu} -ն և E_{Eiq} -ն E_E վեկտորի i -րդ տարրի սկզբնական և վերջնական արժեքներն են:

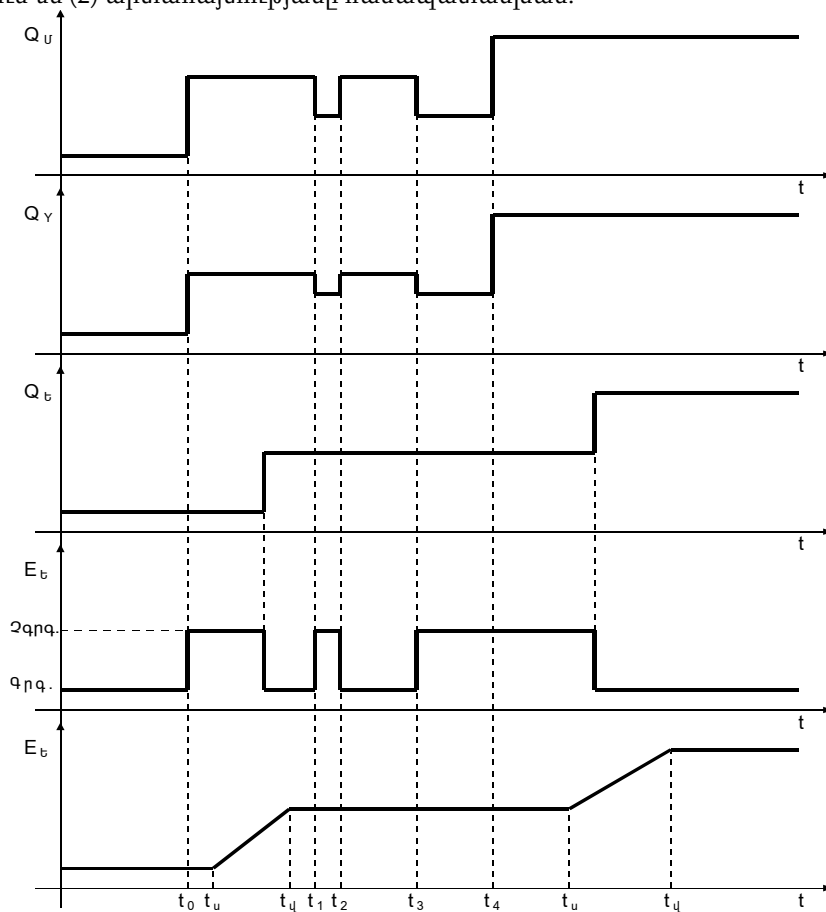
Մոդելը կայունացված վիճակից անցնում է գրգռված վիճակին, եթե ինչ-որ անցողիկ գործընթացների արդյունքում Q_E վեկտորը կամ S -ը սխեմայում դադարում են հավասարվել Q_h և S_h հաստատված արժեքներին:

$$Q_h = Q(Q_U, S, Q_E), \quad S_h = f_S(Q_U, S, Q_E), \quad (3)$$

որտեղ Q -ն և f_S -ը կամայական տրամաբանական ֆունկցիաներ են: Այսպիսով, մոդելն անցնում է գրգռված վիճակի, եթե ժամանակի որևէ t_s պահի Q_E և S_h ֆունկցիաների ինչ-

որ արգումենտներ (օրինակ Q_U -ը) փոխվեն այնպես, որ խախտվեն $Q_b=Q_h$ և $S=S_h$ հավասարությունները: Նկար 1-ը ցույց է տալիս մոդելում անցողիկ պրոցեսների բնույթը:

Երբ մոդելն անցնում է գրգռված վիճակի, $Q_h(t_s)$ և $S_h(t_s)$ արժեքները հիշվում են, որպեսզի իրագործվեն գրգռման ավարտին, իսկ Q_b և S վեկտորները պահպանում են այն արժեքները, որոնք ունեին մինչև գրգռումը: Եթե մոդելի գրգռված վիճակում Q_U -ը չի փոխվում, ապա գրգռված վիճակը պահպանվում է t_q ժամանակահատվածում (նկ. 1-ում՝ t_0 պահին սկսված գրգռումը): Դրանից հետո $t_{\psi} = t_u + t_q$ պահին մոդելը փոխանջատվում է չգրգռված վիճակի, իսկ Q_b և S վեկտորները հավասարեցվում են $Q_h(t_u)$ և $S_h(t_u)$ հիշված արժեքներին: Այսպես մոդելավորվում է ԹՏ-ի աշխատանքի t_q մեծությամբ հապաղումը: Եթե Q_E վեկտորի ինչ-որ բաղադրիչներ վերաբերում են սահմանային հանգույցներին, ապա նրանց համապատասխան E_b լարումները փոխվում են (2) արտահայտությանը համապատասխան:



Նկ. 1. Անցողիկ գործընթացները ԹՏ-ի մոդելում

Q_b -ի և S -ի արժեքները փոփոխվում են փոխանջատման պահին: Եթե Q_b և S -ը նոր արժեքների հետ չեն համընկնում, ապա մոդելը հենց նույն պահին նորից անցնում է գրգռված վիճակի: Իսկ եթե Q_b -ն և S -ը բավարարում են

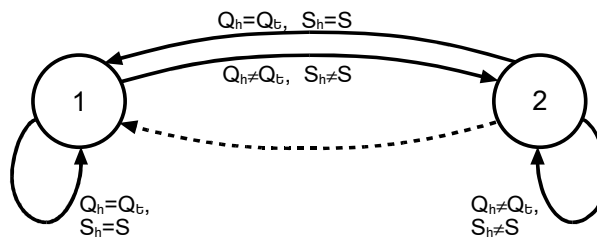
$$Q_E = Q(Q_U, S, Q_E), S = f_S(Q_U, S, Q_E) \quad (4)$$

հավասարումներին, պարզվում է, որ չգրգռված վիճակը կայուն է և կարող է պահպանվել այնքան ժամանակ, քանի դեռ Q_U -ի փոփոխությունը այն չի խախտել:

Գրգռումների վերադրման օրենքները հետևյալն են. եթե մոդելը գտնվում է գրգռված վիճակում և Q_U -ն փոխվել է ինչ-որ t_i պահի, հաշվարկվում են $Q_h(t_i)$ -ը և $S_h(t_i)$ -ը, իսկ եթե պարզվում է, որ $Q_h(t_i) = Q_E$, $S_h(t_i) = S$, գրգռումը մարում է և Q_E -ն ու S -ը այդպես էլ մնում են անփոփոխ (նկ. 1, t_2 պահը):

Այսպես մոդելավորվում է սխեմայի չգրգռվելու հանգամանքը մուտքային կարճ ազդանշանի դեպքում: Եթե $Q_h(t_i) = Q_h(t_s)$ և $S_h(t_i) = S_h(t_s)$, ապա պահպանվում է նախկին գրգռումը, իսկ եթե $Q_h(t_s) \neq Q_h(t_i) \neq Q_E$ և $S_h(t_s) \neq S_h(t_i) \neq S$, ապա նախկին գրգռումը փոխարինվում է նոր՝ $t_{\text{փ}} = t_i + t_q$ գրգռումով և $Q_h(t_{\text{փ}})$ -ի ու $S_h(t_s)$ -ի փոխարեն հիշվում են $Q_h(t_i)$ և $S_h(t_i)$ արժեքները (նկ. 1 t_4 պահը): Եթե t_i պահին $E_{\text{ե}}$ վեկտորը արդեն սկսել է փոփոխվել, ապա (2) արտահայտության մեջ $E_{\text{եiu}}$ -ի փոխարեն գրվում են $E_{\text{եi}}(t_i)$ -ի արժեքները:

Տվյալ մոդելի գրաֆը պատկերված է նկ. 2-ում: Այն ունի երկու գագաթներ՝ $S=1$ և $S=2$: Q_U -ի փոփոխման հետ կապված անցումները պատկերված են հոծ աղեղներով, որոնց վրա գրված են անցման պայմանները: Գրգռված վիճակից ինքնուրույն ելքը ցույց է տրված կետագծային աղեղով:



Նկ. 2. ԹՏ-ի մոդելի անցումների գրաֆը
1 գագաթը չգրգռված վիճակների ամբողջությունն է, 2-ը՝ գրգռված

Մշակված մոդելը կարող է ունենալ տարբեր տարատեսակներ: Պարզագույն տարատեսակում (3) արտահայտությունը պարզեցվում է մինչև

$$Q_h = Q(Q_E), \quad (5)$$

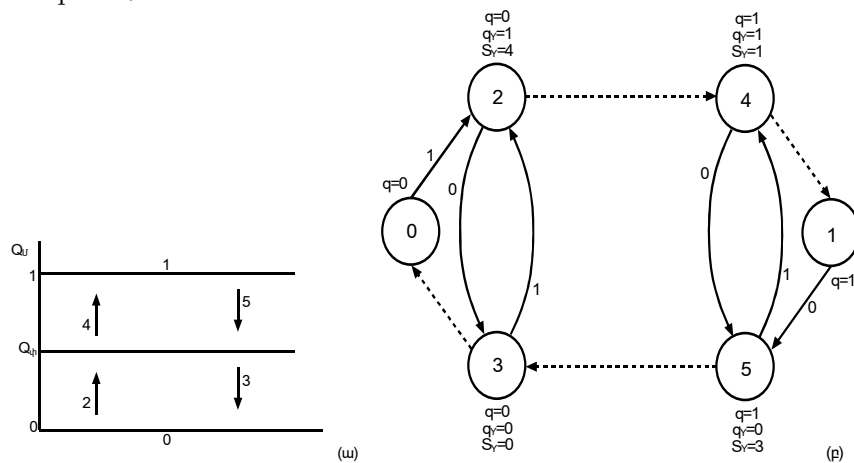
իսկ S վեկտորը բացակայում է:

Այս դեպքում մոդելն արտապատկերում է ԹՏ-ի աշխատանքի վերջնական վիճակը, մուտքային ազդանշանների նկատմամբ հապաղումը, մուտքային կարճ ազդանշանների դեպքում սխեմայի չգործարկման երևույթը: Հաշվի չեն առնվում մուտքերի հապաղումների տարբերությունները և անցողիկ գործընթացները t_q ժամանակահատվածում: Այսպիսով, պարզագույն մոդելի արդյունքը ճիշտ է միայն Q_U -ի փոփոխությունից t_q ժամանակ անց, ընդ որում t_q -ն պետք է համապատասխանի ԹՏ-ի մեծագույն հապաղմանը: Մուտքային ազդանշանի t_{Umin} փոքրագույն տևողությունը մոդելում հավասար է մուտքային ազդանշանի հապաղման ժամանակին, ինչը մի շարք սխեմաների համար համարվում է կոպիտ մոտավորություն: Գրգռումների վերադրման $Q_h(t_s) \neq Q_h(t_i) \neq Q_E$ և $S_h(t_s) \neq S_h(t_i) \neq S$ օրենքները նույնպես բավականին պայմանական են և չեն համապատասխանում մեծ թվով իրական սխեմաների:

Չնայած այս տարբերակի մոտավորությանը, նրա ճշտությունը կարող է բավարարել բավականաչափ մեծ թվով տարրեր պարունակող ԳՄԽՍ-երի մոդելավորման պահանջներին:

Ավելի մեծ հնարավորություններ ունի (3) արտահայտության վրա հիմնված մոդելի տարբերակը: Այդ տարբերակը նկարագրում է հիշողություն ունեցող կամայական վերջավոր ավտոմատ: Կայունության (4) պայմանները կարող են կատարվել S -ի մի քանի արժեքների դեպքում: Հետևաբար, մոդելը կարող է ունենալ մի քանի կայուն վիճակներ, որոնք իրագործվում են կատարվող տրամաբանական ֆունկցիաներով: Այսպիսով՝ մոդելն ի վիճակի է արձագանքել Q_U -ի բազմակի փոփոխություններին: Հետևաբար, այն կարող է վերարտադրել բավականին բարդ թվային շղթաների պահվածքը:

Նկ. 3-ում ցույց է տրված երկնիշ Q_U և q այբուբենով մոդելի տարբերակը, դրա հնարավոր վիճակները պայմանականորեն ցույց են տրված նկ. 3 ա-ում, որտեղ աղեղներով ցույց են տրված վիճակի փոփոխության ուղղությունները: Աղեղների մոտ գրված թվերը համապատասխանում են այս կամ այն վիճակի համարին: 0-ին և 1-ին հավասար S -երը համապատասխանում են տրամաբանական “0”-ի և “1”-ի կայուն վիճակներին: Մոդելի անցումների գրաֆը ցույց է տրված նկ. 3 բ-ում: Շրջանակների ներսի թվերով նշանակված են S զագաթների համարները, կետագծային աղեղներով՝ համապատասխան t_{q_i} կայուն վիճակից ինքնուրույն անցումների, իսկ հոծ աղեղներով՝ Q_U -ի փոփոխությամբ պայմանավորված անցումների ուղղությունները: Աղեղների վրա գրված են q_h -ի արժեքները, որոնք առաջացրել են տվյալ անցումը: Գագաթների մոտ նշված են տվյալ վիճակներին համապատասխան q -ի, q_h -ի և S_h -ի արժեքները: Քանի որ յուրաքանչյուր գրգռված վիճակի համապատասխանում են որոշակի q -ի, q_h -ի և S_h -ի արժեքներ, դրանք պահպանել պետք չէ: Գրգռված վիճակը լիովին բնութագրվում է իր S համարով և t_{q_i} փոխանջատման պահով՝ $t_{q_i S} = t_{q_i} + t_{q_i S}$, որտեղ t_{q_i} -ն մոդելի՝ S վիճակին անցման պահն է:



Նկ. 3. Երկնիշ այբուբենով մոդելի տարատեսակ
ա) վիճակների սխեմա, բ) անցումների գրաֆ

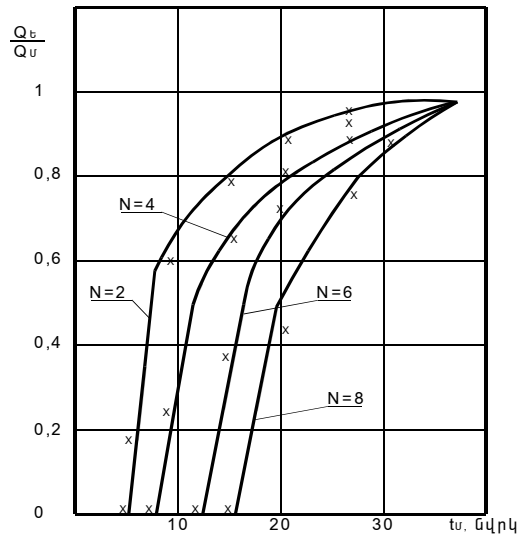
Մոդելի տվյալ տարատեսակում հեշտ է ներմուծել $t_{\Phi S}$ -ի կախվածությունը վիճակից և վիճակի փոփոխման պահերից, ընդ որում՝ այդ կախվածությունները ստացվում են ֆիզիկական փորձերի արդյունքներով: ԹՏ-ի վիճակը ժամանակի ցանկացած պահին կապվում է $q_{\Phi U}$ անընդհատ արժեքի հետ: Համարենք, որ $q_{\Phi U}$ -ի փոփոխման արագությունը $S=1,2,3,4$ վիճակներում տարբեր է, բայց հաստատուն է յուրաքանչյուրում: Այս ենթադրությունից ելնելով և հաշվի առնելով, որ փոխանջատումը տեղի է ունենում $q_{\Phi U}$ -ի q_{Φ} , 0 կամ 1 մակարդակներին հասնելու պահին, կարելի է ստանալ $t_{\Phi S}$ -ի հետևյալ արտահայտությունները՝ կախված t_c պահից և $S(t_c(0))$ նախորդող վիճակից:

$$\begin{aligned}
 t_{\Phi 2} &= \begin{cases} t_c + t_{hun}, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 0, \\ t_c + t_{hun}^{0,1}(t_c + t_h^{0,1} - t_{\Phi 3})/t_h^0, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 3, \end{cases} \\
 t_{\Phi 3} &= \begin{cases} t_c + t_h^0, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 5, \\ t_c + t_h^0(t_c + t_{hun}^{0,1} - t_{\Phi 2})/t_h^0, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 2, \end{cases} \quad (6) \\
 t_{\Phi 4} &= \begin{cases} t_c + t_h^1, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 2, \\ t_c + t_h^1(t_c + t_{hun}^{1,0} - t_{\Phi 5})/t_{hun}^{1,0}, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 5, \end{cases} \\
 t_{\Phi 5} &= \begin{cases} t_c + t_{hun}^{1,0}, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 1, \\ t_c + t_{hun}^{1,0}(t_c + t_h^1 - t_{\Phi 4})/t_h^1, & \text{երբ } S(t_c - 0) = 0 : \end{cases}
 \end{aligned}$$

(6) արտահայտություններում $t_{hun}^{1,0}$ -ը և $t_{hun}^{0,1}$ -ը ազդանշանների տարածման հապաղումներն են, իսկ t_h^0 -ն և t_h^1 -ը՝ ԹՏ-ում փոխանջատումից հետո հաստատված վիճակների տևողությունները: Եթե ԹՏ-ն արդեն փոխանջատվել է, բայց անցողիկ գործընթացները դեռ ավարտված չեն և նոր ազդանշան է գալիս, որը փոխում է ԹՏ-ի վիճակը, ԹՏ-ի հապաղումը կլինի ավելի փոքր: (6) արտահայտությունները հաշվի են առնում 3-ից 2 և 4-ից 5 վիճակներին անցման հապաղումների այդ կրճատումները, ինչպես նաև կայունանալու ժամանակի կրճատումները 2-ից 3 և 5-ից 4 անցումների ժամանակ:

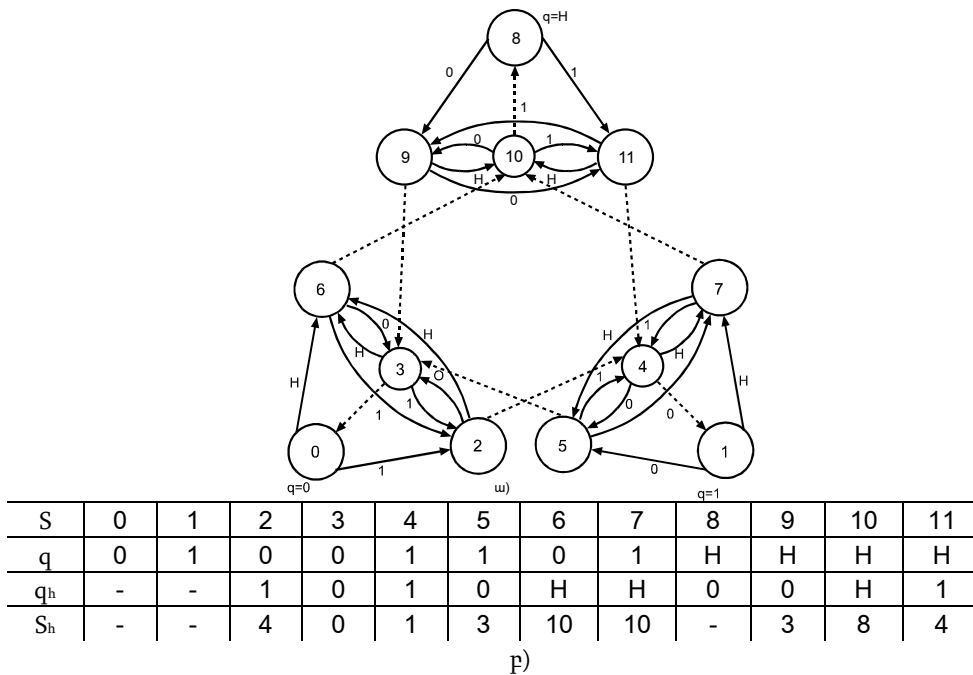
Մոդելի այս տարբերակն օժտված է ԹՏ-ի էլեկտրական մակրոմոդելներին համապատասխան ճշտությամբ: Այն նկարագրում է ԹՏ-ի ոչ լրիվ փոխանջատման երևույթը, ԹՏ-ում ազդանշանի տևողության փոփոխությունը, կարճատև ազդեցությունների մարումը և այլն:

Նկ. 4-ում բերված են N տրամաբանական շրջիչներով շղթայի ելքում ազդանշանի t_c տևողության կախվածությունները մուտքային ազդանշանի տևողությունից: Նկարը ցույց է տալիս մոդելի բավարար ճշտությունը: Շեղումները գտնվում են չափումների ճշտության սահմաններում:



Նկ. 4. Շրջիչներով շղթայի ելքում t_b ելքային ազդանշանի կախվածությունը մուտքային ազդանշանի տևողությունից. x-փորձնական, հոծ գծերը՝ մոդել

Բարձր դիմադրությամբ H վիճակը կարելի է ներմուծել մոդելի մեջ՝ 0 և 1 վիճակների նման: Անցումների համապատասխան գրաֆը բերված է նկ. 5-ում: Մոդելի պարամետրերի համակարգը, որը նախկինում ընդգրկում էր $t_{hun}^{0,1}$, t_h^1 , $t_{hun}^{1,0}$, t_h^0 մեծությունները, համալրվում է նա հինգով՝ $t_{hun}^{0,H}$, $t_{hun}^{H,0}$, $t_{hun}^{1,H}$, $t_{hun}^{H,1}$, t_h^H :

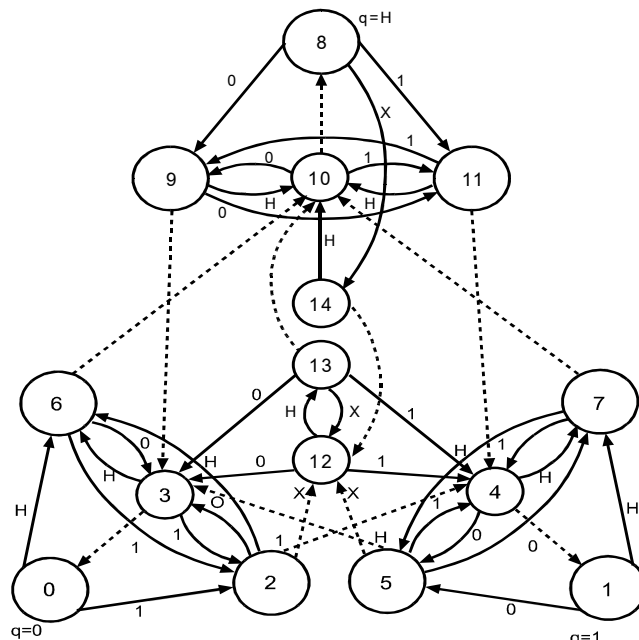


Նկ. 5. H բարձր դիմադրությամբ վիճակներով θS -ի մոդելի տարբերակ

ա) անցումների գրաֆ, բ) q-ի, q_h-ի և S_h-ի արժեքները S գազաթներում

X_h անորոշ վիճակը կարելի է ներմուծել մոդելի մեջ նույն ձևով: Սակայն X վիճակի միացման, նրա կայացման և նրանից դուրս գալու հապաղումները սովորաբար անհայտ են: Հաշվի առնելով այն, որ իրական ԹS-երում X_h-ին վերաբերող ազդանշանների մակարդակների միջակայքը չափազանց նեղ է, կարելի է համարել, որ $t_{hun}^{0,X} = t_{hun}^{0,1}$, $t_{hun}^{1,X} = t_{hun}^{1,0}$, $t_{hun}^X = t_{hun}^{X,0} = t_{hun}^{X,1} = 0$: Այդ դեպքում, անցումների գրաֆի մեջ բավական է ներմուծել երեք նոր գազաթներ (նկ. 6). X-ի կայացման արժեքի (գազաթ 12), X-H փոխանջատման (գազաթ 13) և H-X փոխանջատման (գազաթ 14):

Այդ դեպքում 2 և 5 գազաթներում վիճակը կարող է բնութագրվել երկու տարրեր՝ q_h և S_h արժեքներով. օրինակ՝ 2 գազաթում. q_h=1, S_h=4 կամ q_h=X, S_h=12: Մոդելում ավելացվում են երկու նոր պարամետրեր՝ $t_{hun}^{X,H}$ (բնութագրում է 13 գազաթը) և $t_{hun}^{H,X}$ (բնութագրում է 14 գազաթը): Եթե նրանք անհայտ են, ապա $t_{hun}^{X,H}$ կարելի է ընդունել որպես $t_{hun}^{0,H}$ -ի և $t_{hun}^{1,H}$ -ի միջին, իսկ $t_{hun}^{H,X}$ -ը որպես $t_{hun}^{H,0}$ -ի և $t_{hun}^{H,1}$ -ի միջին:



Նկ. 6. Xc վիճակներով SS-ի մոդելի անցումների գրաֆ

Այսպիսով՝ ներկայացված է ԳՄԻՍ-երի բազմամակարդականի խառը մոդելավորման պահանջներին լիովին բավարարող թվային տարրերի ժամանակային առումով քվանտացված և միջինացված վիճակներով տրամաբանական մոդելների շարք, որոնց տարատեսակները միմյանցից տարբերվում են իրական անցողիկ գործընթացների արտացոլման ճշտությամբ: Դա հնարավորություն է տալիս կոնկրետ հաշվարկային իրավիճակում ընտրել մոդելի անհրաժեշտ տարատեսակ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Maniwa R.** Analog and Mixed-Signal Simulation Tools.-Integrated System Design.1996, V. 2. N5. - P. 58-64.
2. **Saleh R.A., Jou S.-J., and Newton A.R.** Mixed-Mode Simulation and Analog Multilevel Simulation, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA. June 1994. 256 p.
3. **Miszo A.** Digital logic testing and simulation.-New York. John Wiley and Sons, 1987. - 285 p.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.06.2003.

В.Ш. МЕЛИКЯН, А.П. КУЛАХСЗЯН ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ С КВАНТОВАННЫМИ И УСРЕДНЕННЫМИ ВО ВРЕМЕНИ СОСТОЯНИЯМИ

Описаны логические модели цифровых элементов, ориентированные на программы специального многоуровневого моделирования. Приведены различные модификации моделей, обладающие разной точностью и сложностью. Рассмотрены зависимости временных параметров моделей от различных факторов.

V.SH. MELIKYAN, A.P. KULAKHSZYAN LOGICAL MODELS WITH QUANTUM AND TIME AVERAGING STATES

Logical models of digital elements oriented on special multilevel simulation are described. Various model modifications having different accuracy and complexity are given. Time model parameter dependence on various factors are considered.

С.А. ЭКСУЗЯН

ОДНОМЕРНАЯ ЗАДАЧА РАСКРОЯ ЛЕНТ РАЗНЫХ ТИПОРАЗМЕРОВ И АЛГОРИТМ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ

Разработаны приближенный алгоритм РАС и соответствующая про-грамма для решения одномерной задачи раскроя из лент, имеющих разные типоразмеры. Приведен анализ результатов работы программы алгоритма РАС на 1000 случайных примеров.

Ключевые слова: одномерная задача, NP-полная задача, приближенный алгоритм, раскрой, упаковка, сложность алгоритма.

Введение. Одномерная задача раскроя лент традиционно рассматривается для лент, имеющих одинаковую ширину (типоразмеры). Задача заключается в следующем: даны ширина и количество по ширинам заказов, которые необходимо раскраивать из заготовок, имеющих одинаковую ширину. Эта задача эквивалентна известной задаче об "упаковке в контейнерах", которая является NP-трудной в сильном смысле [1]. Поэтому алгоритмы определения близких к оптимальным вариантам раскроев лент имеют очевидное практическое применение. Для задачи об "упаковке в контейнерах" разработаны приближенные алгоритмы FF, BF, FFD, BFD [1,3], которые можно применять для решения одномерной задачи раскроя из лент, имеющих одинаковую ширину.

В [7] рассмотрена диалоговая версия задачи упаковки контейнеров с открытым концом, в которой контейнер может быть заполнен к уровню, превышающему его вместимость последним предметом. Эта задача является NP-трудной.

В [8] представлены приближенные алгоритмы FFF и FFH решения диалоговой версии задачи об "упаковке в контейнерах" при типах контейнеров, имеющих разные размеры. Однако в случае, когда все контейнеры имеют размер 1 (одинаковые размеры), эти алгоритмы совпадают с алгоритмом FF.

В диалоговых версиях задач предметы прибывают один за другим и должны быть назначены на контейнеры по мере их прибывания. Как только предмет упакован, его снова перемещать непозволительно.

В настоящей работе поставлена более общая задача одномерного раскроя из лент, имеющих разные типоразмеры (ширину). Эта задача

представляет определенный интерес как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Для поставленной общей задачи в настоящей работе разработаны приближенный алгоритм РАС и соответствующая программа. Приведен анализ результатов работы программы алгоритма РАС на 1000 случайных примеров.

1. Основные определения и обозначения. Систему непустых подмножеств $C_1, C_2, \dots, C_p$ множества S назовем разбиением множества S , если выполнены $S = C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_p$ и $C_i \cap C_j = \emptyset$ при $C_i \neq C_j$.

Задача об “упаковке в контейнерах” формулируется следующим образом: заданы конечное множество $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ “предметов” и “размеры” $S(u) \in [0, 1]$ каждого $u \in U$ (размер “предмета” представлен рациональным числом); требуется найти такое разбиение множества U на непересекающиеся подмножества $U_1, U_2, \dots, U_k$, чтобы сумма размеров “предметов” в каждом подмножестве U_i не превосходила 1 и чтобы k было наименьшим возможным. Можно считать, что “предметы”, принадлежащие каждому множеству U_i , упаковываются в один контейнер размера 1, а наша цель – упаковать “предметы” множества U в как можно меньшее число контейнеров.

Эта задача NP-трудна в сильном смысле, так что мало надежды на отыскание эффективного алгоритма ее решения. Поэтому приближенные алгоритмы для решения этой задачи имеют очевидное применение. Разработаны приближенные алгоритмы FF, BF, FFD, BFD [1,3].

В алгоритме FF очередной предмет u_k помещается в контейнер, имеющий минимальный индекс из числа тех, которые подходят для размещения u_k .

В алгоритме BF очередной предмет u_k помещается в такой контейнер, который после помещения в него u_k будет иметь по размеру наименьшее неиспользованное место.

В алгоритме FFD предметы упорядочивают по невозрастанию размеров, и применяется алгоритм FF.

В алгоритме BFD предметы упорядочивают по невозрастанию размеров, и применяется алгоритм BF.

Обозначим через x целую часть числа x .

Количество контейнеров, требуемых в любом S алгоритме упаковки в контейнеры, обозначим через $C(L)$ при работе со списком предметов L , а оптимальное решение – через L^* .

Обозначим $R_C(\alpha) = \overline{\lim}_{L \rightarrow +\infty} C(L)/L^*$, где L пробегает все списки, в которых все элементы a_i удовлетворяют условию $a_i \in (0, \alpha]$.

В [3] доказано, что для всех списков L справедливы оценки $FF(L) \leq 17L^*/10+2$ и $BF(L) \leq 17L^*/10+2$.

В [2] доказана следующая теорема.

Теорема. Если K - положительное целое число, то существует такое множество предметов L , размеры которых - конечные дроби, $K=L^*$ и $FF(L)=BF(L)=[1.7L^*]$.

В [5] и [6] доказана следующая теорема.

Теорема. Для всех списков $L=[a_1, a_2, \dots, a_n]$ имеют место соотношения:

- 1) $BFD(L) \leq FFD(L)$, если $a_i \in [1/6, 1]$ и $i=1, 2, \dots, n$;
- 2) $BFD(L)=FFD(L)$, если $a_i \in [1/5, 1]$ и $i=1, 2, \dots, n$.

В [4] и [5] доказан следующий результат:

$$R_{FFD}(\alpha) = \begin{cases} 11/9 & \text{при } \alpha \in (1/2, 1] \\ 71/60 & \text{при } \alpha \in (8/29, 1/2] \\ 7/6 & \text{при } \alpha \in (1/4, 8/29] \\ 23/20 & \text{при } \alpha \in (1/5, 1/4]. \end{cases}$$

2. Постановка задачи. Задача об "упаковке в контейнерах" эквивалентна следующей одномерной задаче раскроя из лент, имеющих одинаковую ширину (размеры). Задано конечное множество $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ заказов с размерами $S(u_i) \in (0, 1]$; $i=1, 2, \dots, n$ (размер заказа представлен рациональным числом), которыми необходимо раскроить ленты. Требуется найти такие $U_1, U_2, \dots, U_k$ подмножества для множества U , для которых выполнялось бы $U = \bigcup_{i=1}^k U_i$ и

$U_i \cap U_j = \emptyset$ $i \neq j$ ($i=1, 2, \dots, k$; $j=1, 2, \dots, k$), чтобы сумма размеров заказов в каждом подмножестве не превосходила бы 1 и k было бы наименьшим возможным (все ленты имеют одинаковые размеры).

Можно считать, что заказы, принадлежащие каждому множеству U_i , раскраиваются из одной ленты, а наша цель - раскроить заказы множества U из как можно меньшего числа лент. Очевидно, что при этом сумма размеров неиспользованных мест использованных лент будет наименьшей возможной.

Рассмотрим следующую задачу раскроя лент при наличии типов лент разных размеров. Задача заключается в следующем: заданы конечное множество $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ заказов с размерами $S(u_i) \in (0, 1]$; $i=1, 2, \dots, n$ (заказы из U , имеющие одинаковый размер, будем считать разными) и множество конечных типов лент $K=\{K_1, K_2, \dots, K_m\}$, имеющих разные размеры $S(K_j) \in (0, 1]$ ($j=1, 2, \dots, m$), такие, что $\max_{1 \leq j \leq m} \{S(K_j)\} \geq \max_{1 \leq i \leq n} \{S(u_i)\}$. Требуется найти такие $U_1^{T_1},$

$U_2^{T_2}, \dots, U_p^{T_p}$ подмножества для множества U , где $T_1, T_2, \dots, T_p \in K$, для которых выполнялось бы: $U = \bigcup_{i=1}^p U_i^{T_i}$; $U_i^{T_i} \cap U_j^{T_j} = \emptyset$ при $i \neq j$ ($i = 1, 2, \dots, p$;

$j=1, 2, \dots, p$); $\sum_{u \in U_i^{T_i}} S(u) \leq S(T_i)$ ($i=1, 2, \dots, p$) и $\sum_{i=1}^p (S(T_i) - \sum_{u \in U_i^{T_i}} S(u))$ была бы наименьшей возможной (сумма размеров неиспользованных мест исполь-

зованных лент была наименьшей возможной). Все заказы из множества $U_i^{T_i}$ раскраиваются на одной ленте типа T_i .

3. Приближенные алгоритмы решения задачи. Пусть имеются заказы $u_1, u_2, \dots, u_e$. Тип ленты K_j назовем заполняемым при заказах $u_1, u_2, \dots, u_e$, если существует натуральное число $t(j)$ ($t(j) < e$), при котором выполняются следующие два условия:

$$1) \sum_{i=1}^{t(j)} S(u_i') \leq S(K_j); \quad 2) \sum_{i=1}^{t(j)+1} S(u_i') > S(K_j).$$

При этом разность $OCT(K_j) = S(K_j) - \sum_{i=1}^{t(j)} S(u_i')$ назовем остатком при заполнении.

Пусть при заказах $u_1, u_2, \dots, u_e$ все типы лент K_j ($j=1, 2, \dots, m$) являются заполняемыми. Скажем, что тип ленты K_h ($1 \leq h \leq m$) удовлетворяет 1-му условию предпочтительности, если для него выполняется условие: $OCT(K_h) = \min \{ OCT(K_j) \}$.

$$1 \leq j \leq m$$

Ленту назовем использованной, если на ней раскроен хотя бы один заказ.

Использованную ленту L назовем подходящей для заказа u с количеством v , если $1 \leq [OCT(L)/S(u)] \leq v$.

Скажем, что для нераскроенных заказов u с количеством v подходящая лента L_e удовлетворяет 2-му условию предпочтительности, если для него выполняется условие: $OCT(L_e) - S(u) [OCT(L_e)/S(u)] = \min \{ OCT(L) - S(u) [OCT(L)/S(u)] \}$, где минимум берется по всем подходящим лентам L .

Пусть имеются нераскроенные заказы u с количеством v . Скажем, что тип ленты K_e ($1 \leq e \leq m$) удовлетворяет 3-му условию предпочтительности для нераскроенных заказов u с количеством v , если выполняется условие: $[v / (S(K_e) - S(u) [S(K_e)/S(u)])] (S(K_e) - S(u) [S(K_e)/S(u)]) = \min \{ [v / (S(K_j) - S(u) [S(K_j)/S(u)])] (S(K_j) - S(u) [S(K_j)/S(u)]) \}$, где минимум берется по всем типам лент K_j ($j=1, 2, \dots, m$), для которых $[S(K_j)/S(u)] \leq v$.

Алгоритм РАС. (Раскрой лент при наличии типов лент разных размеров).

Вход: Массив K для размеров разных типов лент (размерность m), массив U для разных размеров заказов (размерность n_1), массив V для количества заказов по разным размерам (размерность n_1).

Выход: Схема раскроя на типах лент, имеющих разные типоразмеры.

РАС1. Обнулить очередь ОЧЕР (размерность –

$$2 \max_{1 \leq j \leq m} \{S(K_j)\} / \min_{1 \leq i \leq n_1} \{S(u_i)\}.$$

РАС2. Упорядочить массивы K и U по невозрастанию размеров (при обмене элементов массива U местами обменять местами и их соответствующие элементы в массиве B). Установить $i \leftarrow 1$.

РАС3. Установить $v \leftarrow B(i)$.

РАС4. Если $v=0$, то перейти к шагу РАС12.

РАС5. Если нет подходящих лент для заказа u_i с количеством v , то перейти к шагу РАС7.

РАС6. Найти подходящую ленту L , удовлетворяющую 2-му условию предпочтительности. Раскраивать на ней заказы u_i по количеству $(OCT(L)/S(u_i))$. Установить $v \leftarrow v - [OCT(L)/S(u_i)]$. Перейти к шагу РАС4.

РАС7. Если $v < [S(K_1)/S(u_i)]$, то перейти к шагу РАС9.

РАС8. Выбрать тип лент K_e по 3-му условию предпочтительности для заказов u_i с количеством v . На $(v/(S(K_e)/S(u_i)))$ неиспользованных лентах типа K_e раскраивать заказы u_i с количеством $(S(K_e)/S(u_i))$ на каждой. Установить $v \leftarrow v - [v /$

$[S(K_e)/S(u_i)]] [S(K_e)/S(u_i)]$. При $v=0$ перейти к шагу РАС12.

РАС9. Вставить заказы u_i с количеством v в очередь ОЧЕР.

РАС10. Если не все типы лент заполняемы при всех заказах из очереди ОЧЕР, то перейти к шагу РАС12.

РАС11. Заказы из очереди ОЧЕР раскраивать на типе ленты (неиспользованной), выбранной по 1-му условию предпочтительности. Эти заказы снять из очереди ОЧЕР. Перейти к шагу РАС10.

РАС12. Установить $i \leftarrow i+1$. Если $i \leq n1$, то перейти к шагу РАС3.

РАС13. Если в очереди ОЧЕР есть заказы, то их раскраивать на таком типе ленты (неиспользованной), при котором все заказы из очереди ОЧЕР раскраиваются вместе и остается наименьшее неиспользованное место.

РАС14. Работа алгоритма РАС завершена.

Так как количество заказов - конечное число, а при каждом шаге раскроя по алгоритму РАС из множества заказов удаляются заказы, то работа алгоритма РАС завершается после выполнения шагов конечного числа.

$$\text{Пусть } n = \sum_{i=1}^{n1} B(i)$$

Оценим сложность алгоритма РАС.

Шаг РАС1 занимает время не более, чем $O(n)$. Шаг РАС2 занимает время $O(m^2)+O(n^2)$. Шаг РАС3 занимает время $O(n)$. Шаг РАС4 занимает время $O(n)$. Шаг РАС5 занимает время $O(n^2)$. Шаг РАС6 занимает время $O(n^2)$. Шаг РАС7 занимает время $O(n)$. Шаг РАС8 занимает время $O(mn)$. Шаг РАС9 занимает время $O(n)$. Шаг РАС10 занимает время $O(mn^2)$. Шаг РАС11 занимает время $O(mn^2)$. Шаг РАС12 занимает время $O(n)$. Шаг РАС13 занимает время $O(mn)$.

Следовательно, алгоритм РАС имеет временную сложность порядка $O(mn^2) + O(m^2)$.

Если в множестве заказов имеются заказы с одинаковыми размерами, то эти заказы будем считать разными.

Каждому решению одномерной задачи раскроя заказов из типов лент, имеющих разные типоразмеры, соответствует такое разбиение множества заказов, каждому подмножеству которого соответствует один типоразмер лент так, что сумма размеров заказов каждого подмножества не превосходит типоразмер, присвоенный этому подмножеству (все заказы, раскраиваемые из одной ленты, образуют одно подмножество, а заказы, раскраиваемые из разных лент, принадлежат разным подмножествам).

Справедливо и обратное утверждение. Любому разбиению множества заказов, каждому подмножеству которого соответствует один типоразмер лент и сумма размеров всех заказов каждого подмножества которого не превосходит соответствующий типоразмер, соответствует одно решение одномерной задачи раскроя заказов из типов лент, имеющих разные типоразмеры (предполагается, что все заказы любого подмножества раскраиваются из одной ленты, имеющей типоразмер, соответствующий данному подмножеству).

Докажем, что с помощью алгоритма РАС получается решение одномерной задачи раскроя заказов из типов лент, имеющих разные типоразмеры (необязательно оптимальное). Для этого докажем, что схеме раскроя, получаемой алгоритмом РАС, соответствует такое разбиение множества заказов, каждому подмножеству которого соответствует один типоразмер лент так, что сумма размеров всех заказов каждого подмножества не превосходит типоразмер, присвоенный этому подмножеству.

По алгоритму РАС раскрой лент реализуется только в шагах РАС6, РАС8, РАС11 и РАС13, в которых реализуется раскрой из неиспользованных и использованных лент.

В начале работы алгоритма РАС в качестве совокупности подмножеств выберем пустое множество.

В шаге РАС8 тип (типоразмер) ленты однозначно определяется по 3-му условию предпочтительности. Из $[v/[S(K_e)/S(u_i)]]$ неиспользованных лент этого типоразмера раскраиваются $[S(K_e)/S(u_i)]$ заказы размера $S(u_i)$ с каждого. В смысле подмножеств это означает: добавить к совокупности подмножеств $[v/[S(K_e)/S(u_i)]]$ подмножества, каждое из которых содержит заказ u_i с количеством $(S(K_e)/S(u_i))$ и типоразмер, выбранный по 3-му условию предпочтительности, поставить в соответствие каждому добавленному подмножеству. Все заказы, раскроенные в этом шаге, удаляются из множества заказов.

В шаге РАС11 тип (типоразмер) ленты и заказы из очереди однозначно определяются по 1-му условию предпочтительности. Из одной неиспользованной ленты определяемого типоразмера раскраиваются все определяемые заказы. В смысле подмножеств это означает: добавить к совокупности подмножеств одно подмножество, которое содержит только все

заказы, выбранные из очереди по 1-му условию предпочтительности, и типоразмер лент, выбранный по этому же условию, поставить в соответствие этому подмножеству. Все заказы, раскроенные на этом шаге, удаляются из очереди, следовательно, и из множества заказов.

В шаге PAC13 тип (типоразмер) ленты определяется одно-значно, и все заказы из очереди раскраиваются из одной неиспользованной ленты такого типоразмера. В смысле подмножеств это означает: добавить к совокупности подмножеств одно подмножество, которое содержит только все заказы из очереди, и определенный типоразмер поставить в соответствие этому подмножеству. После выполнения этого шага совокупность подмножеств уже организована (работа алгоритма завершена).

В шаге PAC6 заказы раскраиваются из использованных лент. Использованная лента однозначно выбирается по 2-му условию предпочтительности. В смысле подмножеств это означает: подмножеству, однозначно выбранному из совокупности подмножеств, добавить все заказы, раскроенные на этом шаге. Типоразмер, соответствующий этому подмножеству, не меняется. Все заказы, раскроенные на этом шаге, удаляются из множества заказов.

Полученная совокупность подмножеств не содержит пустого подмножества, так как при выполнении любого из шагов PAC6, PAC8, PAC11 и PAC13 к совокупности подмножеств добавляется новое непустое подмножество, или добавляются заказы к имеющимся подмножествам. Сечение любых двух подмножеств из совокупности подмножеств есть пустое множество, так как любой раскроенный за-каз удаляется из множества заказов. Следовательно, полученная совокупность подмножеств является разбиением для множества заказов, каждому подмножеству которого соответствует один типоразмер ленты.

Так как по алгоритму PAC сумма размеров всех заказов, раскроенных из любой ленты, не превосходит типоразмер этой ленты, а этот типоразмер и типоразмер соответствующего подмножества одинаковы, то сумма размеров всех заказов любого подмножества не превосходит типоразмер, соответствующий этому подмножеству.

Это означает, что алгоритм PAC решает задачу одномерного раскроя заказов из типов лент разных типоразмеров.

Рассмотрим алгоритм PAD, имеющий шаги PAD1, PAD2, ..., PAD14, который отличается от алгоритма PAC только тем, что на шаге PAD8 тип ленты выбирается не по 3-му условию предпочтительности, а по 1-му условию (остальное все в обоих алгоритмах выполняется одинаково).

Докажем, что совокупность всех заказов, раскроенных по схеме алгоритма PAD из одной любой ленты, невозможно раскраивать из одной ленты, имеющей типоразмер меньше, чем типоразмер этой ленты. Предположим обратное. Пусть в схеме раскроя, полученной алгоритмом PAD, существует тип ленты K_j , из которой раскраиваются заказы $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{it}$, и эти заказы можно раскроить из типа ленты K_p , для которого выполняется условие $S(K_p) < S(K_j)$.

По алгоритму PAD эта лента типа K_j , первый раз использовалась на одном из шагов PAD8, PAD11, PAD13. Предположим, что при первом использовании этой ленты из него раскраивались заказы $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ig}$. Очевидно, что $g \leq t$.

Если эта лента типа K_j первый раз использовалась на шаге PAD13, то $g=t$, т.е. возникает противоречие, заключающееся в том, что на этом шаге K_j есть тип лент, имеющий наименьший размер, с которого можно было раскраивать $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ig}$.

Пусть эта лента типа K_j первый раз использовалась на шаге PAD8 (PAD11). Так как $S(u_{i1}) + S(u_{i2}) + \dots + S(u_{it}) \leq S(K_j)$ и по предположению имеем $S(u_{i1}) + S(u_{i2}) + \dots + S(u_{it}) \leq S(K_p)$, то $S(u_{i1}) + S(u_{i2}) + \dots + S(u_{ig}) \leq S(K_p)$. Это противоречит выбору типа ленты по условию предпочтительности 1 на шаге PAD8 (PAD11). Полученные противоречия доказывают истинность утверждения.

Анализ результатов работы алгоритма PAC на 1000 случайных примеров показал, что отходы, получаемые алгоритмом PAC для решения общей задачи, который разработан в настоящей работе, составляют в среднем 4,8%, а отходы, получаемые тем же алгоритмом из лент, имеющих одинаковые размеры, составляют в среднем 17,71%, где в качестве отхода взята разность суммы размеров всех лент, использованных алгоритмом PAC, и суммы размеров всех заказов.

Разработанный алгоритм имеет временную сложность в порядке $O(m^2) + O(mn^2)$, где m - количество по ширине типов лент, n - количество заказов. В результате работы разработанной программы получается схема раскроя заказов из имеющихся типов лент.

Разработанный алгоритм можно применять в машиностроении, металлургии, приборостроении, легкой промышленности и других отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гэри М., Джонсон Д.** Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. - М.: Мир, 1982. - 416 с.
2. **Ивани А.М.** Оценка эффективности алгоритмов упаковки в контейнеры // Сб. статей "Проблемы кибернетики". - 1984. - Вып. 41. - С. 253-256.
3. Теория расписаний и вычислительные машины / Под ред. **Э.Г. Коффмана**. - М.: Наука, 1984. - 334 с.
4. **Johnson D.S.** Near-Optimal Bin-Packing Algorithms // Ph. D. thesis. - Electrical Engineering Department, Massachusetts Institute of Technology, MA, 1974.
5. **Johnson D. S., Demers A., Ullman J. D., Garrey M. R., Graham R. L.** Worst - Case Performance Bounds for Simple One - Dimensional Packing Algorithms // SIAM Journal on Computing. - 1974. - №3. - P. 299-326.
6. **Garey M.R., Graham R. L., Ullman J. D.** Worst - Case Analysis of Memory Allocation Algorithms. Proceedings // 4th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing. - 1972. - P. 143.
7. **Zhang G.** Parameterized On-Line Open-End Bin Packing // Computing 60, 267-273(1998).

8. **Zhang G.** Worst-Case Analysis of the FFH Algorithm For-Online Variable-Sized Bin Packing // Computing 56, 165-172(1996).

Ванадзорский педаг. ин-т им. О. Туманяна. Материал поступил в редакцию 8.01.2002.

Ս.Հ. ԷԶՍՈՒԶՅԱՆ
ՏԱՐԲԵՐ ՏԻՊԱԶԱՓԵՐԻ ԺԱՊԱՎԵՆՆԵՐԻՑ ՄԻԱԶԱՓ ՁԵՎՄԱՆ
ԽՆԴԻՐԸ ԵՎ ՄՈՏԱՎՈՐ ԼՈՒԾՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԸ

Տարբեր տիպաչափերի ժապավեններից միաչափ ձևման խնդրի լուծման համար մշակված է PAC մոտավոր ալգորիթմ եվ համապատասխան ծրագիր: 1000 պատահական օրինակների համար բերված է PAC ալգորիթմի ծրագրի աշխատանքի արդյունքների վերլուծությունը:

S. H. EKSUZYAN
PROBLEM OF ONE-DIMENSIONAL BAND CUTTING OUT FOR
DIFFERENT DIMENSION-TYPES AND AN APPROXIMATE ALGORITHM SOLUTION

An approximate PAC algorithm and a corresponding program are worked out for solving the problem of one-dimensional cutting out of bands having different dimension-types. An analysis of the results of PAC algorithm's program work based on 1000 random examples has been made.

Д.Н. ВАРТАНЯН

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ О ДОКУМЕНТООБОРОТЕ

Для оптимального формирования казначейского документооборота к нему применена задача коммивояжера. Дан алгоритм ее решения методом динамического программирования. Показано, что при этом достигается существенное сокращение количества вычислений за счет заметного увеличения объема памяти.

Ключевые слова: казначейский документооборот, задача коммивояжера, динамическое программирование, количество вычислений, объем памяти.

Центральную идею глобальных методов решения задачи коммивояжера составляет замена полного перебора всех планов их частичным перебором, что осуществляется путем отбрасывания некоторых подмножеств вариантов, заведомо не дающих оптимума. Далее перебор ведется лишь среди оставшихся вариантов, являющихся в определенном смысле «перспективными» [1].

Напомним постановку задачи о коммивояжере. Требуется найти кратчайший замкнутый маршрут (цикл), проходящий через каждый из заданных пунктов $0, 1, 2, \dots, n$ ровно по одному разу. Применительно к документообороту задача заключается в необходимости формирования каждого выходного документа ровно один раз с возвращением в конце к начальному для итоговой сверки [2].

Говоря формально, задана матрица (C_{ij}) , $i, j = 0, 1, \dots, r, \dots, n$ ($i(j)$), и требуется найти перестановку

$$\pi = (i_1, i_2, \dots, i_n) \quad (1)$$

чисел $1, 2, \dots, n$, минимизирующую суммарное время формирования всех документов

$$C_{0i_1} + C_{i_1i_2} + C_{i_2i_3} + \dots + C_{i_{n-1}i_n} + C_{i_n0}.$$

Ясно, что в силу замкнутости искомого цикла безразлично, какой документ считается начальным, однако в практике казначейского документооборота этим документом всегда бывает реестр о поступлении доходов на счет 090, который и будет считаться нулевым.

Пусть $(i_1, i_2, \dots, i_{k-1})$ – некоторые различные документы, отличные от начального ($i_s(i_r)$ при $s \neq r$; $i_s \neq 0$ для всех $s = 1, 2, \dots, k-1$). Пусть i_k – документ, отличный от $i_1, i_2, \dots, i_{k-1}$. Документ i_k может совпадать с начальным ($i_k = 0$) только при $k = n$.

Обозначим через

$$f_{k-1}(0; i_1, i_2, \dots, i_{k-1}; i_k) \quad (2)$$

минимальную длительность при формировании всего списка документов, начиная с документа 0 и заканчивая документом k , проходящего в произвольном порядке

через документы $i_1, i_2, \dots, i_{k-1}$. Заметим, что функция (2) симметрична по своим аргументам, то есть не изменяется при любой их перестановке.

Перестановку $(i_1', i_2', \dots, i_{k-1}')$ документов $(i_1, i_2, \dots, i_k)$, на которой реализуется фигурирующая в определении (2) минимальная длительность, обозначим через

$$\pi_{k-1}(0; i_1, i_2, \dots, i_{k-1}; i_k). \quad (3)$$

Теперь перейдем к изложению алгоритма.

Алгоритм

Шаг 0. Вычисляем функцию

$$f_0(0; i) = C_{0i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Количество значений P_0 функции $f_0(0; i)$, подлежащих вычислению, равно

$$P_0 = n. \quad (5)$$

При этом для вычисления одного значения функции требуется одно действие (выбор из массива). Количество значений Q_0 функции $f_0(0; i)$, подлежащих запоминанию, равно

$$Q_0 = n. \quad (6)$$

Шаг 1. Вычисляем функцию

$$f_1(0; i; j) = f_0(0; i) + C_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad i \neq j. \quad (7)$$

Количество значений P_1 функции $f_1(0; i; j)$, подлежащих вычислению, равно

$$P_1 = n(n-1) = n C_{n-1}^1. \quad (8)$$

Для вычисления одного значения функции требуются три действия: два выбора из массива и одно сложение. Необходимый объем памяти (до вычеркивания из памяти вектора $f_0(0; i)$)

$$Q_1 = n + n(n-1). \quad (9)$$

Шаг k ($2 \leq k \leq n-1$). Вычисляем функцию $f_k(0; i_1, i_2, \dots, i_k; i_{k+1})$ для всех значений $i_1, i_2, \dots, i_{k+1}$ ($i_r \neq i_s$, при $r \neq s$, $i_r = 1, 2, \dots, n$; $r = 1, 2, \dots, k+1$):

$$f_k(0; i_1, i_2, \dots, i_k; i_{k+1}) = \min\{[f_{k-1}(0; i_2, \dots, i_k; i_1) + C_{i_1 i_{k+1}}], [f_{k-1}(0; i_1, i_3, \dots, i_k; i_2) + C_{i_2 i_{k+1}}], \dots, [f_{k-1}(0; i_1, i_2, \dots, i_{k-1}; i_k) + C_{i_k i_{k+1}}]\}. \quad (10)$$

Для каждого значения функции $f_k(0; i_1, i_2, \dots, i_k; i_{k+1})$ запоминаем оптимальную перестановку $\pi_k(0; i_1, i_2, \dots, i_k; i_{k+1})$. По окончании вычислений вычеркиваем из памяти вектор значений $f_{k-1}(0; i_1, i_2, \dots, i_{k-1}; i_k)$ (а при $k \geq 3$ – и путей $\pi_{k-1}(0; i_1, i_2, \dots, i_{k-1}; i_k)$).

Количество значений P_k функции f_k , подлежащих вычислению, равно

$$P_k = n C_{n-1}^k. \quad (11)$$

Для вычисления одного значения функции требуется $4k-1$ действий ($2k$ выбора из массива, k сложений, $k-1$ сравнений). Необходимый объем памяти Q_k (до вычеркивания из памяти векторов f_{k-1} и π_{k-1}) составляет

$$Q_k = n C_{n-1}^{k-1} + n C_{n-1}^k. \quad (12)$$

Шаг n. Вычисляем функцию

$$f_n(0; 1, 2, \dots, n; 0) = \min\{[f_{n-1}(0; 2, \dots, n; 1) + C_{10}], [f_{n-1}(0; 1, 3, \dots, n; 2) + C_{20}], \dots,$$

$$\dots, [f_{n-1}(0;1,2,\dots,n-1;n)+C_{n0}]\}. \quad (13)$$

Перестановка $\pi_n(0;1;2;\dots;n;0)$, на которой достигается минимум, и будет оптимальным планом исходной задачи. При этом количество значений P_n функции f_n , подлежащих вычислению, будет равно

$$P_n=1. \quad (14)$$

Для вычисления одного значения функции требуется $4n-1$ действий ($2n$ выбора из массива, n сложений, $n-1$ сравнений). Необходимый объем памяти

$$Q_n=n C_{n-1}^{n-1}+1=n+1. \quad (15)$$

Теперь получим выражение для суммарного объема необходимых вычислений:

$$P=P'_0+P'_1+\sum_{k=1}^{n-1}P'_k+P'_n,$$

где $P'_r=P_r d_r$, причем P_r – количество значений функции $f_r(0;i_1,i_2,\dots,i_r,i_{r+1})$, подлежащих вычислению, а d_r – количество операций, приходящихся на одно значение. Находим

$$P'_0=P_0 d_0=n \cdot 1=n,$$

$$P'_1=P_1 d_1=n \cdot C_{n-1}^1 \cdot 3,$$

$$P'_n=P_n d_n=1 \cdot (4n-1).$$

При всех $k=2,3,\dots,n-1$ имеем

$$P'_k=P_k d_k=n C_{n-1}^k (4k-1).$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} P &= n + 3n C_{n-1}^1 + \sum_{k=2}^{n-1} (4k-1) n C_{n-1}^k + 1 \cdot (4n-1) = \\ &= (5n-1) + \sum_{k=1}^{n-1} (4k-1) n C_{n-1}^k + (4 \cdot 0 - 1) n C_{n-1}^0 - (4 \cdot 0 - 1) n C_{n-1}^0 = \\ &= (5n-1) + n + n \sum_{k=0}^{n-1} (4k-1) C_{n-1}^k = (6n-1) + n \sum_{k=0}^{n-1} (4k-1) C_{n-1}^k = \\ &= (6n-1) - n \sum_{k=0}^{n-1} C_{n-1}^k + 4n \sum_{k=0}^{n-1} k C_{n-1}^k = (6n-1) - n 2^{n-1} + 4n \sum_{k=0}^{n-1} k C_{n-1}^k. \end{aligned}$$

Преобразуем теперь последнюю сумму в выражении для P . Обозначим

$$S = \sum_{k=0}^{n-1} k C_{n-1}^k.$$

Тогда

$$S = \sum_{k=0}^{n-1} k C_{n-1}^k = \sum_{k=0}^{n-1} k C_{n-1}^{n-1-k} = \sum_{v=0}^{n-1} (n-1-v) C_{n-1}^v = \sum_{k=0}^{n-1} (n-1-k) C_{n-1}^k,$$

откуда

$$S + S = \sum_{k=0}^{n-1} k C_{n-1}^k + \sum_{k=0}^{n-1} (n-1-k) C_{n-1}^k ,$$

или

$$2S = \sum_{k=0}^{n-1} (n-1) C_{n-1}^k = (n-1) 2^{n-1}$$

и, следовательно,

$$S = (n-1) 2^{n-2} .$$

Окончательно имеем

$$P = (6n-1) - n 2^{n-1} + 4n(n-1) 2^{n-2} . \quad (16)$$

Отметим, что при полном переборе имеем (согласно формуле Стирлинга для больших n) [3]

$$n! = n^n e^{-n} \sqrt{2\pi n} ,$$

что существенно больше P .

Получим теперь выражение для максимального потребного объема памяти Q .
Имеем

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} Q_k = \max \{ Q_0, Q_1, Q_n, \max_{2 \leq k \leq n-1} Q_k \} = \max \{ n, n + n(n-1), n+1, \\ \max_{2 \leq k \leq n-1} (nC_{n-1}^{k-1} + nC_{n-1}^k) \} = n \max_{2 \leq k \leq n-1} (nC_{n-1}^{k-1} + nC_{n-1}^k) .$$

Однако

$$C_{n-1}^{k-1} + C_{n-1}^k = \frac{(n-1)!}{(k-1)!(n-k)!} + \frac{(n-1)!}{k!(n-k-1)!} = \frac{(n-1)!(k+(n-k)!)}{k!(n-k)!} = \\ = \frac{n!}{k!(n-k)!} = C_n^k ,$$

так что

$$Q = n \max_{2 \leq k \leq n-1} C_n^k = n C_n^{\left[\frac{n}{2} \right]} ,$$

где $\left[\frac{n}{2} \right]$ - целая часть от $\frac{n}{2}$.

Используя формулу Стирлинга в отдельности в случае четных и нечетных n , приходим к выражению

$$Q \sim 2^n \sqrt{\frac{2n}{\pi}} . \quad (17)$$

Итак, удалось (по сравнению с полным перебором, для которого $P'=n!$ и $Q'=2$) достигнуть существенного сокращения количества вычислений за счет заметного увеличения объема памяти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гроппен В.О.** Принципы оптимизации программного обеспечения. - Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. у-та, 1993. – 242 с.
2. **Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю.** Дискретное программирование. - М.: Просвещение, 1987. – 530 с.
3. **Евстигнеев В.А.** Применение теории графов в программировании. - М.: Наука, 1985. – 168 с.

Материал поступил в редакцию 15.01.2002.

Դ. Ն. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՓԱՍՏԱԹՂԵՐԻ ՇՐՋԱՆԱՌՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴՐՈՒՄ

Գանձապետական փաստաթղթերի օպտիմալ ձևավորման խնդրի լուծման համար կիրառվում է շրջիկ վաճառականի (կոմիվոյաժոր) խնդիրը: Տրված է դրա լուծման ալգորիթմը դինամիկ ծրագրավորման մեթոդով: Ցույց է տրված, որ հիշողության ծավալի նկատելի ավելացման գնով ապահովվում է հաշվարկների ծավալի էական կրճատում:

D.N. VARTANYAN APPLICATION OF DYNAMIC PROGRAMMING IN DOCUMENT TURNOVER PROBLEM

To form optimally treasury document turnover, a run book problem is applied. The algorithm for its decision by method of dynamic programming is given. It is shown that essential reduction of calculation quantity is reached at the expense of appreciable storage increase.

Р.М. МАРТИРОСЯН, В.А. САНАМЯН, А.Г. ГУЛЯН,
Х.А. МАНАСЕЛЯН, Г.А. ПИРУМЯН

О КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ФАЗОВОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В РАДИОАСТРОНОМИИ

Предлагается метод обнаружения слабого дискретного радиоисточника на фоне сильного галактического излучения путем компьютерного анализа выходного сигнала радиометра полной мощности. В отличие от принятых в радиоастрономии традиционных методов наблюдений (фазовое переключение, диаграммная модуляция, корреляционный прием) предложенный метод позволяет избежать потерь чувствительности, частичного ухудшения разрешающей способности радиотелескопа и усложнения входных устройств радиометров.

Ключевые слова: радиоинтерферометр, радиоисточник, фаза, модуляция.

Введение. Одной из основных задач прикладной радиоастрономии (и не только ее) является выделение слабого излучения дискретных космических радиоисточников из интенсивного общего фона галактического радиоизлучения. Эта проблема возникает особенно остро в случаях, когда наблюдения ведутся на метровых длинах волн, на которых уровень фонового излучения наиболее высокий, а его распределение по небу крайне неоднородно. Кроме того, разрешающая способность радиотелескопов на этих длинах волн, как правило, бывает ограниченной из-за технических и экономических причин.

Применение обычных радиоинтерферометров и радиотелескопов с антеннами, имеющими хорошую разрешающую способность (по крайней мере, в плоскости прямого восхождения источника), позволяет частично решить вышеуказанную проблему. Однако на выходе радиометров таких систем фоновое излучение обычно сохраняется, поэтому становится трудным включение чувствительных приборов для обнаружения слабого сигнала от дискретного источника. Эта трудность особенно сказывается при проведении обзорных наблюдений.

Для исключения фонового галактического излучения в радиоастрономии нашли широкое применение методы фазового переключения (ФП) Райла [1], диаграммной модуляции, корреляционный метод приема (КП) [2-4]. В первые десятилетия развития радиоастрономии эти методы помогли осуществлять наблюдение многочисленных слабых космических источников с помощью радиотелескопов, имеющих умеренную разрешающую способность. Однако все эти методы требуют значительного усложнения схем радиометров, а их чувствительность соответственно в 2 и $\sqrt{2}$ раза хуже, чем у идеального радиометра полной мощности [4].

В настоящее время, когда радиотелескопы снабжены быстродействующими компьютерами, задачу обнаружения дискретного радиоисточника можно решить

значительно проще – без усложнения схемы радиометра и без потери его чувствительности. Достаточно разработать специальную программу анализа суммарного сигнала от дискретного источника и фона на выходе радиометра полной мощности.

Цифровая обработка сигналов в выходных блоках радиометров стала применяться в начале 80-х годов с целью увеличения их быстродействия [5, 6]. Однако возможности повышения чувствительности радиометра при этом ограничены. Действительно, единственным параметром, связанным с выходной частью радиометра и фигурирующим в формуле чувствительности, является постоянная времени τ выходного интегратора, которая в зависимости от конкретной задачи имеет свое оптимальное значение, так что дальнейшее увеличение τ обычно бывает нежелательным.

Параллельно с компьютеризацией радиометров наметилась также тенденция переноса входного амплитудного или фазового модулятора в сторону выходных частей радиометра – во избежание потерь сигнала во входной части схемы. При низких уровнях внутренних шумов их увеличение из-за этих потерь становится значительным, что неизбежно ухудшает чувствительность приемников [7, 8].

В радиоинтерферометрах со сверхдлинными базами (РСДБ) анализ информации осуществляется после видеоусилителя (без детектирования в радиометре). При этом, разумеется, нужны специальные алгоритмы и программы обнаружения и анализа информации [3, 9, 11].

В настоящей статье предлагается метод компьютерной обработки выходного сигнала, который позволяет, помимо эффективного выделения сигнала дискретного радиоисточника на галактическом фоне, максимально приблизиться к предельной чувствительности радиометра.

Компьютерный метод фазового переключения. Рассмотрим применение метода для приемной системы в виде двухантенного радиоинтерферометра, широко применяемого в радиоастрономии.

Пусть область неба, на которую проектируется дискретный космический радиоисточник S , проходит в процессе суточного вращения Земли через диаграммы антенн радиоинтерферометра с базой (или проекцией физической базы) D , ориентированной по линии восток – запад (рис. 1а). Тогда разность фаз φ сигналов от дискретного источника, поступающих от антенн на вход приемника, будет

$$\varphi = k\Delta l = \frac{\Delta l}{c} \omega = kD \sin \theta,$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; c – скорость света; ω – угловая частота принимаемого излучения; Δl – разность хода лучей, поступающих на входы антенн A_1 и A_2 радиоинтерферометра; θ – угловое расстояние источника от плоскости местного меридиана (часовой угол), в котором, как правило, находится максимум диаграммы направленности антенн интерферометра.

В результате изменения пространственного положения источника относительно базы интерферометра фаза φ изменяется в пределах $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, и на выходе квадратичного детектора радиометра выделяется интерференционный сигнал (пространственная гармоника) дискретного источника P_s (рис. 1б) на фоне сигнала галактического излучения P_g (запись на рис. 1б получена Саравандским двухантенным радиоинтерферометром ИРФЭ с базой 15λ [10]).

Выходной суммарный сигнал в единицах мощности выражается формулами

$$P(\theta) = P_F(\theta) + P_S(\theta),$$

$$P_S(\theta) = P_{0S}(1 + m \cos \varphi), \quad (1)$$

где коэффициент m характеризует амплитуду пространственной гармоники и зависит от отношения эффективных площадей антенн интерферометра, полосы принимаемых частот и угловых размеров дискретного источника. Для простоты примем $m = 1$.

При $D/\lambda \gg 1$ $\varphi = kD \sin \theta \approx kD\theta$. В единицах времени – $\theta = \frac{2\pi}{T_3} t$, ($\theta'' = 15t^s$), где T_3 – период вращения Земли.

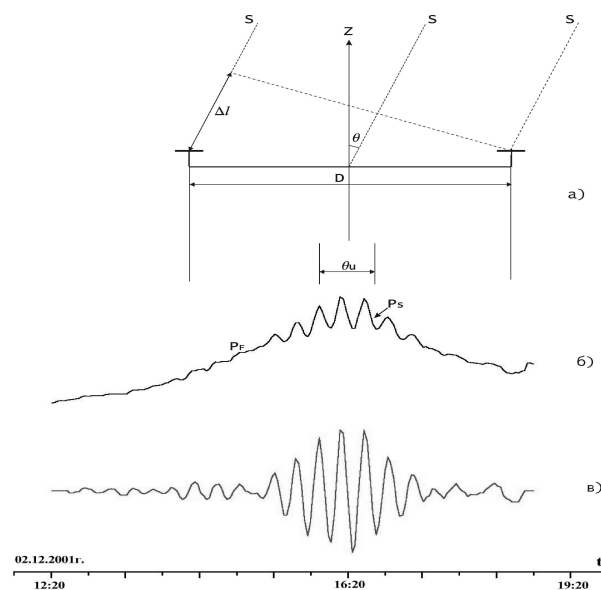


Рис. 1. Радиоинтерферометр (а), пространственная гармоника дискретного источника (б) и интерференционная кривая после компьютерного анализа (в)

Углы (времена), соответствующие экстремальным значениям пространственной гармоника, определяются следующим образом:

$$\theta_{\max} = \frac{\lambda}{D} n, \quad \theta_{\min} = \frac{\lambda}{D} (2n + 1),$$

где n - целое число ($n \leq \frac{D}{\lambda}$).

Поскольку угловая скорость прохождения источника через диаграммы антенн (базы) интерферометра зависит от его часового угла θ и склонения δ , ширина лепестков пространственной гармоника, равная разности двух соседних максимумов или минимумов, будет изменяться (расширяться) при удалении источника от меридиана. Для источника, находящегося в плоскостях меридиана и экватора ($\delta = 0$ и $\theta = 0$), ширина лепестка $\Delta\theta_0 = \frac{\lambda}{D}$ (радиан), в общем случае

$$\Delta\theta(\delta, \theta) = \frac{\lambda}{D \cos \delta \cos \theta} = \frac{\Delta\theta_0}{\cos \delta \cos \theta}. \quad (2)$$

Прежде чем приступить к основной задаче, кратко напомним, в чем состоит сущность ФП. На входе радиометра в одном из плеч интерферометра фаза поступающего от антенны сигнала периодически (с частотой модуляции) и скачкообразно изменяется на 180° , так что на выходе синхронного детектора создается разность сигналов, соответствующих двум положениям модулятора:

$$\Delta P = P(\varphi) - P(\varphi + \pi).$$

Считая, что в пределах ширины одного лепестка пространственной гармоника галактический фон однороден, из (1) имеем

$$\Delta P(\varphi) = 2P_{0S} \cos \varphi. \quad (3)$$

Предположим теперь, что суммарный сигнал (источника и фона) на выходе детектора (без модуляции) записывается в память компьютера в реальном времени в виде цифровой последовательности (или в графической форме, например, с помощью технологии «LabVIEW» фирмы «National Instruments», США). Сместим эту последовательность по времени на полпериода (или полуширину центрального лепестка) пространственной гармоника влево и полпериода вправо и составим две новые последовательности:

$$\begin{aligned} P_1(\theta) &= P(\theta) - P\left(\varphi - \frac{\theta_{\text{и}}}{2}\right), \\ P_2(\theta) &= P(\theta) - P\left(\varphi + \frac{\theta_{\text{и}}}{2}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Двойное смещение делается с целью сохранения симметрии пространственной гармоника относительно центрального лепестка.

Если по-прежнему считать фон Галактики однородным в пределах ширины лепестка, то функция

$$P_{\text{и}}(\theta) = P_1(\theta) + P_2(\theta) = 4P_{0S} \cos \varphi \quad (5)$$

будет отличаться от (3) только постоянным коэффициентом. Результаты анализа представлены на рис. 1в. График и формула (5) убедительно показывают, что компьютерный метод реализации ФП полностью заменяет описанный в [2] метод ФП с перечисленными выше принципиальными преимуществами. Кроме того, в компьютерном варианте ФП упрощается вопрос калибровки принимаемого сигнала с помощью эталонного шумового генератора, улучшается симметрия пространственной гармоник относительно нулевой линии и т. д.

Описанный выше компьютерный метод выделения дискретного источника из галактического фона может успешно применяться и в случае одноантенного радиотелескопа. Ранее для этой цели на входе радиометра использовались ФП или КП системы, включенные между двумя половинами антенны.

В компьютерном варианте достаточно подать сигнал антенны (без какого-либо расчленения и переключения) на вход радиометра полной мощности, ввести суммарный выходной сигнал источника и фона в память компьютера, а затем сместить влево и вправо записанную цифровую информацию на интервал, соответствующий полуширине диаграммы антенны, и провести описанный выше анализ данных. В этом случае, разумеется, фоновое излучение должно быть однородным в пределах ширины диаграммы направленности антенны. Поэтому применение этого метода более эффективно, если антенна радиотелескопа имеет хорошую направленность в плоскости прямых восхождений.

Такие радиотелескопы (например, расположенные вдоль линии восток-запад синфазные решетки) часто используются для обзорных радиоастрономических наблюдений, поэтому предлагаемый метод анализа их данных может оказаться весьма эффективным.

Применение компьютерного метода сдвига фазы наиболее целесообразно у одноантенного телескопа.

Действительно, при применении обычных методов ФП или КП между двумя половинами одноантенного телескопа ухудшается чувствительность радиометра, поскольку сигнал дискретного источника формируется в пределах половины ширины диаграммы направленности. Во-вторых, фоновое излучение должно быть однородным в пределах ширины диаграммы пол-антенны (т.е. в более протяженной области неба), что является более жестким требованием, чем при наблюдениях с помощью полной антенны.

При компьютерном анализе перечисленные недостатки автоматически устраняются, т.к. цифровой анализ сигнала каждого источника осуществляется независимо, с сохранением предельной чувствительности радиотелескопа.

Описанный выше метод ныне успешно применяется при наблюдениях точечных источников на Саравандском полигоне ИРФЭ (Бюракан) на длине волны $\lambda = 4,2$ м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ryle M. Roy. Soc. Proc. A211. 1952. - P. 351.
2. Стейнберг Ж., Леку Ж. Радиоастрономия. - М.: Изд. иностранной литературы, 1963. - 312с.
3. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. - М.: Наука, 1973. - 416с.
4. Краус Дж. Д. Радиоастрономия. - М.: Сов. радио, 1973. - 430с.
5. Айвазян Г. Г., Гулян А. Г. А.с. СССР №1626871, 1988.
6. Айвазян Г. Г., Гулян А. Г., Мусатов В. В. и др. АЦП для обработки сигналов модуляционного радиометра: Тез.докл. XVII Всес.конф. по радиоастрономической аппаратуре. - Ереван, 1985. - С. 6-7.
7. Гулян А. Г., Карапетян В. Р., Нагдалян Э. А. и др. Изв.вузов. Радиофизика, 29. - 1986. - С. 919-922.
8. Гулян А. Г., Саакян Ю. А. и др. Модуляционный радиометр с балансным входом // Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы: Тез.докл. XIV Всес.конф. - Ереван, 1982. - С. 49-50.
9. Bare C., Clark B. G., Kellermann K. J., Cohen M. N., Jancey D. L. Science, 157. - 1967. - С.189.
10. Мартиросян Р. М., Гулян А. Г., Санамян В. А., Манаселян Х. А. Изменение плотности потока радиоисточника Кассиопея-А Астрофизика, 45, №3. - 2002. - С. 443-449.
11. Верхоунов О. В. Интерактивная первичная графическая обработка одномерных векторов данных в оболочке X Window под ОС UNIX на РАТАН-600. Программа fgr – версия 2.1. Препринт CAO РАН №106, Нижний Архыз, 1995. - С.1-57.

Ин-т радиофизики и электроники НАН РА. Материал поступил в редакцию 25.02.2002.

**Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ա. ՍԱՆԱՄՅԱՆ, Ա.Գ. ԴՈՒԼՅԱՆ,
Խ.Հ. ՄԱՆԱՍԵԼՅԱՆ, Հ.Ա. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ
ՓՈԽԼԱՅԻՆ ՓՈԽԱՆՋԱՏՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՑԻՆ
ԻՐԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՌԱԴԻՈԱՍՏՐՈՖԻՏՈՒԹՅԱՆ ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ**

Առաջարկվում է բարձր զալակտիկական ֆոնային ճառագայթման պայմաններում թույլ, կետային ռադիոաղբյուրի ճառագայթման գնահատման եղանակ՝ հիմնված կոմպենսացիոն ռադիոմետրի ելքային ազդանշանի համակարգչային վերլուծության վրա: Ի տարբերություն ռադիոաստղագիտության մեջ ընդունված ավանդական մեթոդների (փուլային փոխանջատում, դիագրամի մոդուլում, կորելյացիոն ընդունում), ռադիոազդանշանի մշակման առաջարկվող եղանակը թույլ է տալիս խուսափել մուտքային ազդանշանի մոդուլումներով պայմանավորված զգայնության կորստից, լուծող ուժի մասնակի փոքրացումից և ռադիոմետրական համակարգի բարդացումներից:

**R.M. MARTIROSYAN, V.A. SANAMYAN, A.G. GHULYAN, KH.H. MANASELYAN, H.A. PIRUMYAN
COMPUTER PROCESSING METHOD OF
PHASE SHIFTING IN RADIOASTRONOMY**

Detection of a weak discrete space radio source emission is considered in the background of intensive Galactic radiation. The method is based on computer processing of total-power radiometer output. Unlike the traditional accepted methods in radio astronomy (phase switching, beam shifting, correlation method), the proposed approach allows to avoid losses of sensitivity, partial worsening of radio telescope resolution and complication of radiometer input devices.

Э.П. АЩИАЦ

К ВОПРОСУ О РАЗГОНЕ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

Рассматривается нестационарный процесс в напорном трубопроводе, возникающий при переходе жидкости из состояния покоя в состояние установившегося движения. Получены аналитические зависимости, более реально определяющие гидродинамические параметры нестационарного процесса по всей длине водовода.

Ключевые слова: разгон жидкости, упругие свойства, давление, скорость.

При проектировании напорных систем возникает необходимость определения гидродинамических параметров переходного процесса, возникающего при разгоне жидкости в трубопроводе. Существующие методы определения указанных параметров в основном базируются на интегрировании дифференциальных уравнений “жесткого” гидравлического удара [1], что искажает физику явления.

Целью работы является получение более общих аналитических зависимостей, учитывающих упругие свойства жидкости и трубопровода.

Рассматривается случай, когда к напорному резервуару с постоянным горизонтом воды на свободной поверхности подсоединен горизонтальный трубопровод длиной ℓ , на конце которого имеется затвор. При закрытом затворе жидкость в трубопроводе находится в состоянии покоя, и пьезометрический напор по всей длине водовода равен H_0 .

При “мгновенном” открытии затвора возникает истечение жидкости из трубы в атмосферу с возрастающей скоростью. Через некоторый промежуток времени значение скорости достигает предельного установившегося значения, равного $\sqrt{2gH_0}$.

Для решения задачи используется система уравнений гидравлического удара для идеальной жидкости [2]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} \right), \\ -\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x}, \end{cases} \quad (1)$$

где $H(x,t)$ – напор в сечении трубы; $V(x,t)$ – средняя в живом сечении трубы скорость жидкости; a – скорость распространения волны гидравлического удара; g – ускорение силы тяжести; x – продольная координата оси трубы; t – текущее время.

Дифференцируя первое уравнение системы (1) по x , а второе по t и складывая их, получим

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} - \frac{\alpha^2}{g} \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 = a^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\alpha^2}{g} V \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Имея в виду, что $\frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{g}{a^2} \frac{\partial H}{\partial t}$, и пренебрегая слагаемым $\frac{a^2}{g} V \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$, получим дифференциальное уравнение вида

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} + \frac{g}{a^2} \left| \frac{\partial H}{\partial t} \right|^2 = a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Это уравнение отличается от волнового уравнения свободных колебаний наличием слагаемого $\frac{g}{a^2} \left| \frac{\partial H}{\partial t} \right|^2$, указывающего на затухающий характер колебаний напора, при этом затухание пропорционально квадрату скорости. В существующей литературе по гидравлическому удару этому обстоятельству уделяется мало внимания. Как правило, в дифференциальных уравнениях конвективным членом пренебрегают, и затухание колебаний приписывается влиянию сил трения. Между тем, как показывает полученное уравнение (3), затухание колебаний имеет место и в случае идеальной жидкости.

Уравнение (3) интегрируется при следующих начальных и граничных условиях:

$$\begin{cases} H(x, 0) = H_0; \left. \frac{\partial H}{\partial t} \right|_{t=0} = 0, \\ H(0, t) = H_0; H(\ell, t) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

С целью получения аналитической зависимости линеаризуем уравнение (3) способом, рекомендуемым И.А. Чарным [2]. Для этого оценим значение абсолютной величины производной $\partial H / \partial t$. Разделяя переменные x и t в (3), получим обыкновенное дифференциальное уравнение затухающих колебаний, из которого определяется значение $\partial H / \partial t$ [3]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \sqrt{\frac{B}{2D^2} [(1 - 2DH) - (1 - 2DH_0)e^{2D(H_0 - H)}]}, \quad (5)$$

где $B = \left(\frac{\pi a}{\ell} \right)^2$, $D = g / a^2$.

Приняв среднее значение пьезометрического напора при нестационарном процессе равным $H_0 / 2$, из (5) получим $\left| \frac{\partial H}{\partial t} \right|_{\text{ср}} = \frac{\pi a^2 \sqrt{2gH_0}}{2g\ell}$.

Имея среднее значение $\partial H / \partial t$, линеаризуем уравнение (3):

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} + \frac{\pi \sqrt{2gH_0}}{2\ell} \frac{\partial H}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}. \quad (6)$$

Обозначая $\frac{\pi \sqrt{2gH_0}}{2\ell} = 2m$, получим известное телеграфное уравнение вида

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} + 2m \frac{\partial H}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}. \quad (7)$$

Интеграл этого уравнения при указанных условиях (4) имеет вид [4]

$$H(x, t) = H_0 \left(1 - \frac{x}{\ell}\right) - \frac{2H_0 \ell^{-mt}}{\pi} \times \\ \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n} \left(\cos q_n t - \frac{m}{q_n} \sin q_n t \right) \sin \frac{n\pi x}{\ell}, \quad (8)$$

$$\text{где } q_n = \sqrt{\left(\frac{n\pi a}{\ell}\right)^2 - m^2}.$$

Анализ уравнения (8) показывает, что внутри колонны жидкости при нестационарном процессе существуют колебания давления, которые с течением времени затухают.

Имея зависимость для напора, из второго уравнения системы (1) определяется соответствующая зависимость для скорости $V(x, t)$:

$$V(x, t) = \sqrt{2gH_0} (1 - e^{-mt}) + \frac{2gH_0 e^{-mt}}{a\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n} \sin q_n t \cdot \cos \frac{n\pi x}{\ell}. \quad (9)$$

Из полученной зависимости видно, что при $t \rightarrow \infty$ скорость течения жидкости стремится к величине $\sqrt{2gH_0}$.

На рисунке представлен график изменения скорости течения жидкости в конце трубопровода при нестационарном движении, построенный с помощью полученной зависимости (9) (кривая 1). Здесь же приведена кривая 2, определяющая изменение скорости течения в случае, когда не учитываются упругие свойства жидкости и трубопровода. Указанные кривые построены при

следующих численных значениях расчетных параметров: $H_0=100$ м, $\ell = 1000$ м/с, $a=1000$ м/с, $g = 9,81$ м/с².

Из графика (кривая 1) видно, что в начале нестационарного процесса имеют место резкие колебания скорости течения жидкости, которые с течением времени затухают. В этот промежуток времени увеличение скорости происходит быстрее, чем при “жестком” гидравлическом ударе.

В случае, когда амплитуда колебаний скорости близка к нулю, указанные кривые 1 и 2 совпадают.

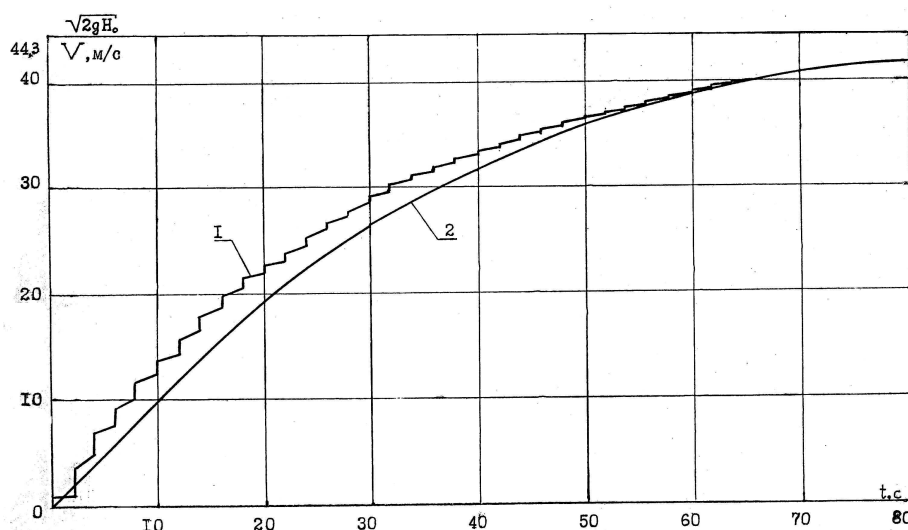


Рис. Расчетные кривые изменения скорости течения жидкости в трубопроводе при переходном процессе

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

1. Анализ дифференциальных уравнений гидравлического удара с учетом влияния скоростного напора показывает, что колебания давления и скорости течения жидкости при нестационарном процессе являются затухающими, независимо от того, жидкость идеальная или реальная.

2. Получены аналитические зависимости, более реально определяющие гидродинамические параметры нестационарного процесса по всей длине водовода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов П.М.** Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
2. **Чарный И.А.** Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М.: Недра, 1975. – 296 с.
3. **Камке Э.** Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1972. – 576 с.
4. **Араманович И.Г., Левин В.И.** Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1969. – 287 с.

Инст-т водных проблем и гидротехники. Материал поступил в
редакцию 02.09.2002.

Է.Պ. ԱՇԻԱՆՏ

ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐՈՒՄ ՀԵՂՈՒԿԻ ՇԱՐԺՄԱՆ ԹԱՓԱՌՔԻ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՁ

Դիտարկելով ճնշումային խողովակաշարում հեղուկի շարժման թափառքի ընթացքը, ստացված են ավելի ընդհանուր վերլուծական բանաձևեր, որոնք առավել ռեալ են նկարագրում ոչ ստացիոնար գործընթացի երևույթը:

E.P. ASHIANTS

ON PROBLEM OF LIQUID RUNAWAY IN PIPE-LINES

A non-steady process in pressure piping arising in liquid transition from rest into steady-state motion is considered. Analytical dependences more really determining hydrodynamical parameters of a non-steady process along the water conduit are obtained.

М.Т. СОГОЯН, С.А. КОХЛИКЯН

**АВТОБАЛАНСИРОВКА ДИСКОВЫХ ПИЛ
КАМНЕРАСПИЛОВОЧНЫХ СТАНКОВ**

Рассматривается задача оптимизации режима работы дисковой пилы камнерезных машин, позволяющая обеспечить автобалансировку в процессе резания.

Ключевые слова: автобалансировка, камнераспиловка, пила, резец.

Камнераспиловочное оборудование при эксплуатации подвержено воздействию вибраций, приводящих к преждевременному износу и повреждениям как элементов самого станка, так и режущего инструмента.

Вибрация в основном зависит от величин сил и условий, вызывающих ее появление. Для дисковых распиловочных станков силами, вызывающими вибрацию, являются: силы дисбаланса, электромагнитные силы в электродвигателе.

Условия проявления этих сил характеризуются динамическими параметрами демпфирования системы (частные характеристики, жесткость) исполнительный орган – трансмиссия – электродвигатель – станок), а также воздействием эксплуатационных факторов, влияющих на отдельные элементы станка.

Таким образом, основные причины вибрации обусловлены конструктивными, технологическими, монтажными и эксплуатационными факторами.

Анализ конструкций станков и результаты их экспериментальных исследований показали, что уровень вибрации в первую очередь определяется дисбалансом элементов привода.

При быстром вращении несбалансированный вал начинает колебаться, причем при приближении скорости вращения ω к значениям его собственной частоты ρ (критическая скорость) амплитуда колебаний резко возрастает. При дальнейшем увеличении скорости вращения сверх критического значения амплитуда колебаний вновь уменьшается.

На рис. 1 представлен вал с эксцентрично насаженными режущими пилами массой m , вращаемыми со скоростью ω . Возмущающая сила F , вызывающая вибрацию вала со стороны неуравновешенных пил, может быть определена по выражению

$$F = m\omega^2 e, \quad (1)$$

где e – эксцентриситет.

Амплитуда виброперемещений выражается по формуле

$$A_s = \frac{\omega^2}{\rho^2 - \omega^2} e, \quad (2)$$

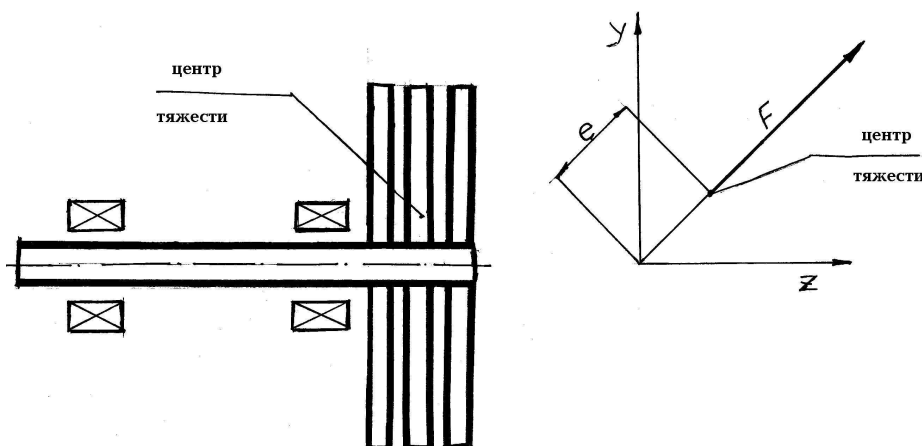


Рис. 1. Пильный вал с несбалансированным исполнительным органом

Из выражений (1) и (2) получена зависимость для оценки возмущающих сил:

$$F = A_s m (\rho^2 - \omega^2). \quad (3)$$

Вращение вала со скоростью, равной или близкой к критической, недопустимо с точки зрения прочности самого вала и тем, что оно сопровождается значительной вибрацией всего станка. Обычно рабочая скорость принимается $0,7\rho \geq \omega \geq 1,3\rho$.

Основные силы, вызывающие вибрацию, имеют частоты, соответствующие частоте вращения пильного вала (или кратные ей), поэтому вибрации дисковых камнераспиловочных станков являются сложными процессами.

Для автоматической балансировки системы разработана специальная конструкция дисковых пил [2].

Пильный диск (рис. 2) для резания камня состоит из корпуса 1, по периферии которого прикреплены алмазные режущие сегменты 2. На боковых поверхностях диска прикреплены кольца с круглыми трубами 3, 4, заполненные свинцовой дробью и эластичным материалом.

При вращении диска под воздействием центробежной силы свинцовая дробь с эластичным материалом перемещается в кольцевых камерах 3, 4 в сторону меньшей массы диска, тем самым обеспечивая уравнивание массы пильного диска относительно оси вращения. Эластичный материал не способствует распространению вибрации и обладает демпфирующим свойством.

Выражение (3) для автобалансировки можно записать в виде

$$F = A_s (m + \Delta m) (\rho^2 - \omega^2), \quad (4)$$

где Δm – вес свинцовой дроби.

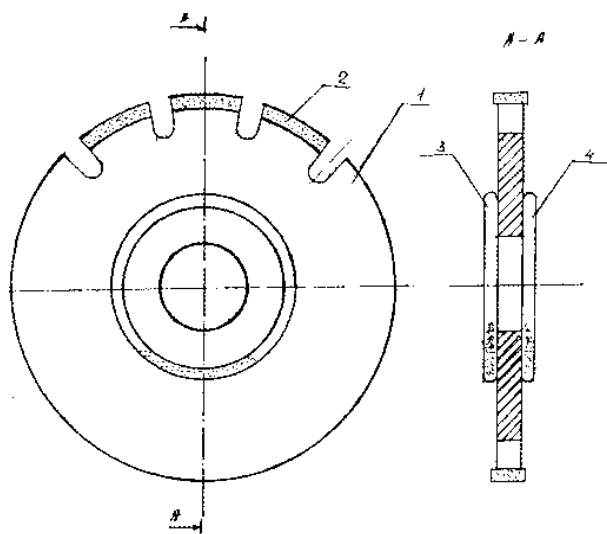


Рис. 2. Дисковая пила

Эксперименты проводились при скорости подачи $2,4 \text{ м/мин}$ на станке СМР-056 алмазным диском диаметром (1250 мм) , прочность камня 25 МПа .

Для получения виброграмм был изготовлен специальный переносной стенд, обеспечивающий дистанционное измерение. Стенд состоит из блока вибрографов, блока датчиков и самопишущего быстродействующего прибора Н-338-6П.

Эксперименты проводились на стандартных и модернизированных дисках.

На рис. 3 приведены виброграммы. Полученные виброграммы позволяют определить амплитуды и частоты виброперемещений и виброскорости. Однако для сравнительной оценки вибрационного состояния камнераспиловочного оборудования необходимо иметь нормы допустимой вибрации, которые в настоящее время отсутствуют.

При установлении фокусов уровня вибрации станка должны учитываться все вредные последствия, вызываемые вибрацией. Поэтому оценку вибрации целесообразно определить резким фактом (виброперемещение, виброскорость или виброускорение), по которому можно судить об общем вибрационном состоянии станка.

Параметр виброперемещения служит для оценки уровня колебаний оборудования и применяется в случаях, когда в результате пиковых размахов виброперемещений возможно соударение или перемещение отдельных элементов станка.

Параметр виброускорения является непосредственной мерой силового воздействия. Он имеет особое значение для оборудования, работающего при

высоких механических напряжениях. Предельные значения виброускорений, при которых разрушается оборудование, необходимо проверять экспериментально.

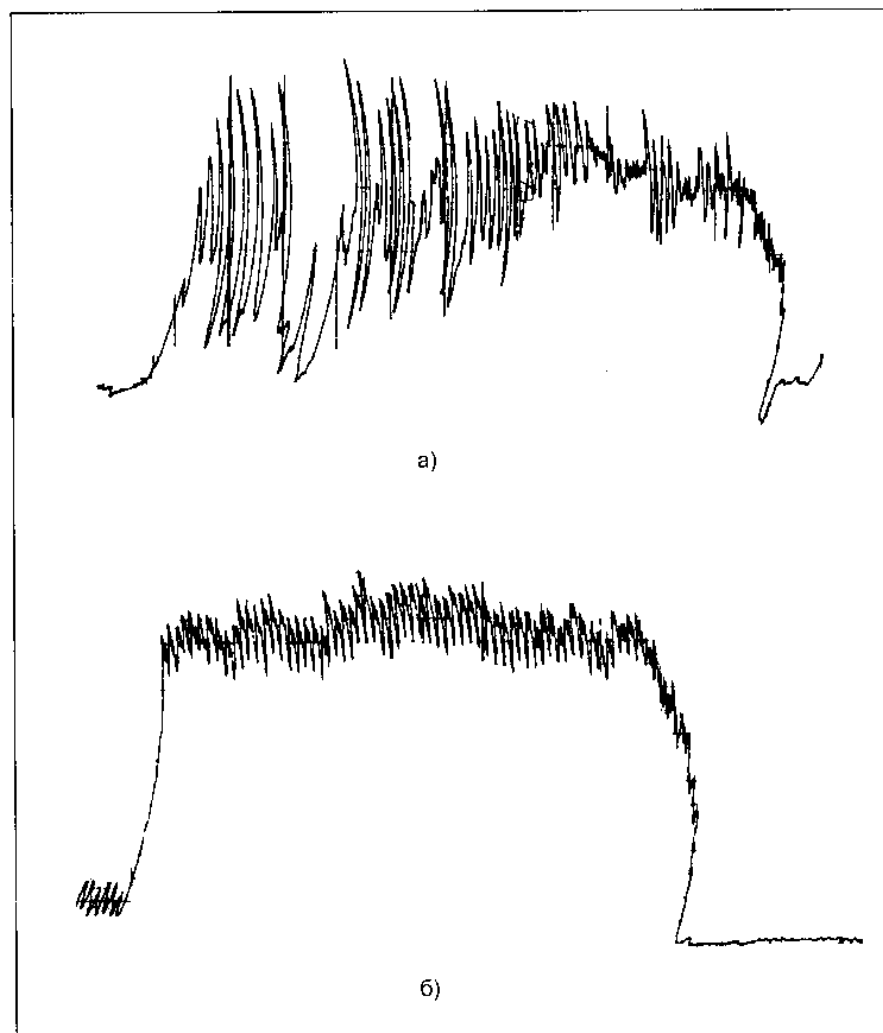


Рис.3. Изменение вибронагрузки при резании камня стандартной (а) и модернизированной (б) пилами

Наиболее удобным для нормирования является параметр виброскорости, который объединяет два основных параметра вибрации – виброперемещение и частоту а также дает возможность определить энергию колебательного процесса.

Из анализа виброграмм установлено, что:

1. Виброперемещение A_s корпуса станка СМР-056 при различных подачах составляет:

- перпендикулярно столу $S = 0,023 \text{ мм}$, $A_s = 0,01 \text{ мм}$;
- перпендикулярно плоскости пил: $S = 0,006 \text{ мм}$, $A_s = 0,0015 \text{ мм}$;
- вдоль перемещения стола: $S = 0,02 \text{ мм}$; $A_s = 0,0045 \text{ мм}$.

2. Виброскорость корпуса станка СМР-056 при различных скоростях:

- перпендикулярно столу: $V = 1,25 \text{ мм/с}$, $V_b = 20 \text{ мм/с}$;
- перпендикулярно плоскости пил: $V = 0,5 \text{ мм/с}$; $V_b = 10 \text{ мм/с}$;
- вдоль перемещения стола: $V = 0,8 \text{ мм/с}$, $V_b = 14 \text{ мм/с}$.

При сопоставлении результатов виброграмм стандартных и модернизированных пил установлено, что виброскорость модернизированной пилы на 25...30%, а виброперемещение на 15...20% меньше по сравнению со стандартными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев с.р., Гидрман В.А. и др. Расчет на прочность в машиностроении. Т. III.- М.: Машгиз, 1959. – 1118 с.
2. Согоян М.Т. А.с. N 1463922. Пильный диск. Заяв. N 4189104/22-03.

АрмСХА. Материал поступил в редакцию 20.12.2001.

Մ.Տ. ՍՈՂՈՅԱՆ, Ս.Ա. ԿՈՒԽԼԻԿՅԱՆ

**ՔԱՐԱՍՂՈՑՄԱՆ ՀԱՍՏՈՑՆԵՐԻ ՄԿԱՎԱՌԱԿԱՅԻՆ ՍՂՈՑՆԵՐԻ
ԱՎՏՈՄԱՏ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՒՄ**

Դիտարկվում է սկավառակային սղոց քար կտրող մեքենայի համար, որը կտրման գործընթացում ապահովում է ավտոհակակշռություն:

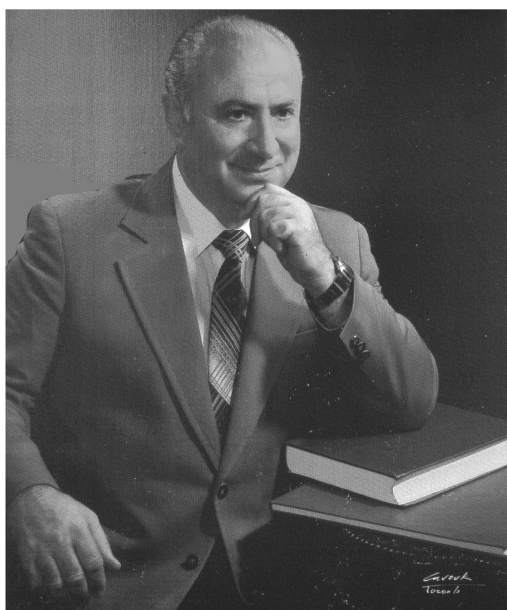
M.T. SOGHOYAN, S.A. KOKHLIKYAN

**DISC SAW AUTOBALANCE FOR STONE-CUTTING
MACHINES**

An optimization problem of disc saw working conditions for stone cutting machines allowing to provide the autobalance in cutting processes is considered.

К 80 - летию со дня рождения академика ФАДЕЯ ТАЧАТОВИЧА САРКИСЯНА

Исполнилось 80 лет академику **Фадею Тачатовичу Саркисяну** – президенту Национальной Академии наук Республики Армения, видному ученому в области



вычислительной техники и автоматизированных систем управления.

Более полувека академик Ф.Т. Саркисян активно участвует в научной и общественно-политической жизни Армении.

Академику Ф. Саркисяну как ученому присущи ясность мысли, аналитический подход к назревшим проблемам, смелость и новаторский подход при принятии решений, взвешенность выводов, неизменная поддержка прогрессивного.

В течение 17 лет (1946-1963гг.) Ф.Т. Саркисян работал в Артиллерийском научно-техническом комитете Главного ракетно - артиллерийского управления Министерства обороны (ГРАУ МО) по созданию новых образцов радиолокационной техники. За эти годы Ф.Т. Саркисян принимал непосредственное участие в работах по созданию, организации производства и внедрению в войска современного радиолокационного вооружения, имеющего первостепенное значение для Советской Армии. Его деятельность многократно отмечалась высокими правительственными наградами и Государственной премией.

В 1963 году постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР Ф.Т. Саркисян, как высококвалифицированный специалист военной техники, был прикомандирован в Министерство радиопромышленности СССР с сохранением на действительной военной службе для участия в работах по созданию новых образцов техники.

Талант ученого и организатора науки особо проявился в 1963-1977гг., когда Ф. Саркисян возглавлял Ереванский научно-исследовательский институт математических машин (ЕрНИИ ММ).

Стратегически точный выбор позволил Ф. Саркисяну сориентировать институт на реализацию важнейших государственных программ – создание средств вычислительной техники и систем управления для вооруженных сил и народного хозяйства. Основным направлением деятельности института стала разработка ЭВМ и комплексов малой и средней производительности и на их базе автоматизированных систем управления для родов войск.

Трудно переоценить решающую роль Ф. Саркисяна в формировании такого нового научно-технического направления, как разработка автоматизированных систем управления для войск. Его усилиями научнотехнический потенциал Армении был вовлечен в решение сложнейших проблем, имеющих принципиальное значение для обороноспособности страны. Эта обширная программа, включающая создание аппаратуры и новой операционной системы, обеспечивающей высокую надежность и производительность, опиралась на оригинальные инженерные подходы и достижения передовой инженерно-технической мысли.

В 1969 году ему было присвоено воинское звание генерал-майора. В 1975 г. ВАК СССР присудил Ф.Т. Саркисяну ученую степень доктора технических наук, в 1971 году он был избран членом-корреспондентом Академии наук Армении, в 1977 году - действительным членом.

Под руководством и при личном участии Ф. Саркисяна были разработаны и освоены в серийном производстве ЭВМ семейств "Раздан", "Наири", ЕС-1030, ВК-1010, ЕС-1045, СВК и др. Институт стал головным разработчиком единых моделей ЭВМ средней производительности.

В институте сформировалась школа ученых и ведущих специалистов, одним из основателей которой и научным руководителем был по праву академик Ф. Саркисян. Работы Ф. Саркисяна являются весомым вкладом в вычислительную технику и автоматизацию управления.

Академик Ф. Саркисян – крупный государственный деятель. Будучи на протяжении 12 лет председателем правительства Армении, он внес большой вклад в совершенствование структуры народного хозяйства республики, в создание и развитие новейших отраслей промышленности, сельского хозяйства, строительства и других областей. Самым важным в этом направлении является обеспечение динамического развития таких отраслей, как радиоэлектроника, точное машиностроение и приборостроение, проведение работ, направленных на

резкое улучшение экологического состояния республики, обеспечение повышения социальных условий жизни народа.

С 1993 г. Ф. Саркисян является президентом Национальной Академии наук Республики Армения. Под его руководством в системе НАН РА была проведена большая работа по организации и научной деятельности академии, сохранению и развитию научного потенциала Армении.

Академик Ф. Саркисян занимался целенаправленными исследованиями по важнейшим проблемам обороны, информатики и других направлений современной науки. Под его руководством создана академическая научно-исследовательская компьютерная сеть, позволившая обеспечить доступ к глобальным информационным ресурсам.

С присущей ему энергией он сумел добиться существенного расширения академического международного научного сотрудничества. НАН РА заключила договора о научном сотрудничестве с академиями наук России, Беларуси, Украины, Грузии, Туркмении, Китая, Индии, с Королевским обществом Великобритании. Установлены и развиваются научные связи институтов НАН РА с ведущими научными центрами США, Великобритании, Франции, Германии и др. Развивается сотрудничество с различными международными (в том числе зарубежными армянскими) организациями-донорами.

Академик Ф. Саркисян - лауреат Государственных премий СССР и Государственной премии Украины. Он отмечен многочисленными правительственными наградами, является членом зарубежных и отечественных академий и международных научных и научно-технических обществ.

Академик Ф. Саркисян с честью выполняет свой высокий долг гражданина и государственного деятеля, отдавая свои знания и опыт развитию науки в Армении и становлению независимого государства.

Редакция журнала и многочисленные коллеги поздравляют Фадея Тачатовича Саркисяна с 80 - летним юбилеем, желают ему доброго здоровья и долгих лет плодотворной деятельности.

АРЕШЯН ГЕОРГИЙ ЛЕВОНОВИЧ

(1926 – 2003)

Ушел из жизни выдающийся ученый в области электромеханики и автоматики, заслуженный деятель науки, академик Национальной академии наук Армении, профессор Государственного инженерного университета Армении



Арешян Георгий Левонович.

Свой путь в науку он начал в аудиториях ЕрПИ, который окончил с отличием в 1949 году. Уже в 27 лет, будучи аспирантом Московского энергетического института, он блестяще защищает кандидатскую диссертацию.

С 1953 года начинается его карьера педагога, ученого и организатора науки в Ереванском политехническом институте. Научная и практическая деятельность Г.Л. Арешяна охватывает многие направления в области электротехники и автоматики. Он является пионером в разработке и производстве многих типов электрических машин и систем их

управления.

Работая в тесном научном контакте с таким выдающимся ученым, как академик А.Г. Иосифьян, Георгий Левонович принимал участие в научных изысканиях, имеющих основополагающее теоретическое и практическое значение.

В 1958 году, когда в Армении намечался резкий скачок в развитии электромашиностроительной, электронной и приборостроительной отраслей, Г.Л. Арешян возглавил основанную им в ЕрПИ кафедру “Автоматика и вычислительная техника”.

В 1977 году Г.Л. Арешян успешно защищает докторскую диссертацию, а в 1978 году ему присваивают звание профессора. Он подготовил плеяду кандидатов и докторов наук, создал свою школу в области электромеханики и автоматики. Г.Л. Арешян - автор более 170 научных работ, в том числе двух монографий и учебников для вузов. Сфера научных интересов ученого была достаточно широкой и разнообразной. Он разработал и предложил вероятностный и энтропийный критерии вероятностных автоматов; энергетические передаточные матрицы многосвязных систем автоматики и их критерии; матрицы преобразования Ляпунова для многофазных (больше трех) электрических машин; системы

дифференциальных уравнений синхронных и асинхронных емкостных машин. Получил критерий боковой устойчивости левитирующего линейного синхронного двигателя со сверхпроводящими обмотками возбуждения. Исследовал переходные процессы при набросе и сбросе нагрузки на синхронные генераторы. Запостулировал интеграл действия и на его основе получил тензорные и векторные дифференциальные и интегральные уравнения электромагнитодинамики при наличии электрических и магнитных зарядов. Определил величину постоянной взаимодействия электромагнитодинамики, выразив ее через фундаментальные постоянные физики. Предложил метод инверсии поверхностей.

Неоценим вклад Г.Л. Арешяна в развитие науки в Ереванском политехническом институте и в Академии наук Армении. С 1961 по 1986 гг. он являлся проректором ЕрПИ по научной части, а с 1986 по 1991 гг. – академиком-секретарем отделения физико-технических наук и механики Академии наук Армении. Его наставническая деятельность продолжалась в должности профессора департамента Электротехники Государственного инженерного университета Армении.

Редакция журнала, его многочисленные друзья и коллеги глубоко скорбят по поводу тяжелой утраты. Он ушел из жизни полный сил и творческой энергии, новых идей и научных разработок. Таким его мы и будем помнить.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ն.Ե., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ն.Ն.

ԼԱՐՄԱՆ ԿՈՆՅԵՆՏՐԱՏՈՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ 355
ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

ՄՏԱԿՅԱՆ Մ.Գ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Հ., ԴԵՄԻՐՆԱՆՅԱՆ Ա.Ռ.

ԸՍՏ ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ՝ ԶԳԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ՇԵՄԻ ՎԻՃԱ-
ԿԱԳՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
Հաղորդում 2. Երկարակեցությունների փոփոխականի շարքերի
նախափորձնական վիճակագրերի որոշումն ըստ գերլարումների 360
մակարդակների

ԳՍՄՊԱՐՅԱՆ Ս.Հ.

ԵՐԻԹԱՅԻՆ ՄԻԱՑՈՒԹՅԱՄԲ ԼԻՍԵՌՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ
ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ 366

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ս.Ա.

ՀԴԿԱՔԱՐԵՐԻ ՈՒՂՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒ-
ԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ-
ՆԵՐԸ 372

ՉԻՔՈՒԽՅԱՆ Ս.Ս., ԴԱԴԱՍՅԱՆ Ա.Վ.

ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔՈՒՄ ՇԱՀԱԳՈՐԾՎՈՂ ԳԱԶԵԼ ՄԱԿՆԻՇԻ
ՄԻԿՐՈԱՎՏՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ՆՐԱՆՑ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՍՊԱՍԱՐԿՄԱՆ 379
ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՃՇԳՐՄԱՆ ՇՆՈՐՀԻՎ

ՄԱՐԳՍՅԱՆ Վ.Ս., ԱՂԻԼՆԱՆՅԱՆ Հ.Ա.

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԸ ԵՎ ՆՐԱ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ
ԶԱՆԳՎԱԾՆԵՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ 383

ԱՇՈՅԱՆ Ժ.Ա., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ա.Ա.

ԴՐԵՆԱԺԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՎԻՃԱԿԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ
ՋՐԵՐԻ ՀՈՍՔԻ ՄՈԴՈՒԼԻ ՎՐԱ 389

ԴՐՄԵՅԱՆ Հ.Ռ.

ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ԴԻՖՐԱԿՑԻՈՆ ԽՈՇՈՐԱՑՈՒՑԻՉ (ԴԻՖՐԱԿՑԻՈՆ
ՈՍՊՆՅԱԿ - ԽՈՇՈՐԱՑՈՒՅՑ) 394

ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ Ա.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Բ.Վ., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Հ.Գ.,

ԿՐԴՅԱՆ ՅՈՒ.Գ.

ԲԱՐՁՐ ՄԻԼԻԿԱՀՈՂԱՅԻՆ ԱՊԱԿԻՆԵՐԻ ԵՓՄԱՆ ՈՐՈՇ ԱՌԱՆՁ-
ՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՈՒՂՂԱԿԻ ՏԱՔԱՑՄԱՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ԳԱՐՆԻՄԱԺԱՅԻՆ ՎԱՌԱՐԱՆՈՒՄ 402

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Գ.Բ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Գ. Գ.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊՂԻՆՁ-ՍՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ ՀԱՐՍԱՆՅՈՒԹԻ ԱՎՏՈԳԵՆ
ՀԱԼՄԱՆ ՄՈՆՈԳՐՈԾԸՆԹԱՅԸ 406

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ.Ս., ԲԱԴԱԼՅԱՆ Ն.Պ., ՄՆԱՅԱԿԱՆՅԱՆ Ս.Ա.

Y-Z ԴԻԱԿՈՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԻ ՃՇԳՐՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐ-

ԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽՆԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՓՈՓՈԽՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ	411
ՄԱՅԱՐՅԱՆ Վ.Ս., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ս.Է.	
ԷԼԵԿՏՐԱԷԼԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԹՈՒՅԼԱՏՐԵԼԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՑԱՆՑԻ ՎԻՃԱԿԻ Y-Z ՏԵՍՔԻ ՏՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ	417
ԲՈՒՌՆԱՉՅԱՆ Հ.Ա., ՔԱՐԱՄՅԱՆ Ժ.Վ.	
ՇԱԲԱԹԱԿԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՄԲ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԷԶՔՈՎ ՀԱԷԿ-Ի ՕՊՏԻՄԱԼ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱՐԴ ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ	426
ԶԱՌԱՆՅԱՆ Ա.Ո., ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ Գ.Գ.	
ԶՐԱԶՐԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐԻ ԱՌԱՋԻՆ ԿՈՆՏՈՒՐԻ ԶՐԱՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ՝ ՆՈՐ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐԻ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՈՎ	432
ՀԱԿՈԲՅԱՆ Հ.Գ.	
ԶԱՐԳԱՅՈՂ ԷԼԵԿՏՐԱԷԼԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ ԷՆԵՐԳԱՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՄՈԴԵԼ	437
ԵՂՈՅԱՆ Է.Ա.	
ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԶՐԱՄՏԱԿԱՐԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ ԵՎ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄ (ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԱԷԿ-Ի ՕՐԻՆԱԿԻ ՎՐԱ)	445
ԱՐԵՇՅԱՆ Գ.Լ.	
ԴԵՄՊՖԵՐՆԵՐՈՎ ԵՎ ԵՐԿՈՒ ՄԻՆՔՐՈՆ ԱՌԱՆՅՔՆԵՐՈՒՄ ԳՐԳՌՈՒՄՈՎ ՄԻՆՔՐՈՆ ՈՒՆԱԿԱՅԻՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳ	451
ԱՅՎԱԶՅԱՆ Գ. Ե., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ա. Հ., ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ Գ. Հ.	
ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՅ p-n ԱՆՅՈՒՄՈՎ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՅԻ ՕԳՏԱԿԱՐ ԳՈՐԾՈՂՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑԸ	455
ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ Դ.Կ.	
ՏՐԱՆՁԻՍՏՈՐԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՋԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՄԻԿՐՈՍԽԵՄԱՆԵՐՈՒՄ	461
ԹԵՐԶՅԱՆ Հ.Ա., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Դ.Ս., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Ա.	
ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ ԱՎՏՈՄԱՏ ԱԴԱՊՏԱՅԻԱՅԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ	468
ՍՈՂՈՍՈՆՅԱՆ Կ.Հ., ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ Կ.Ա., ԴԱԼԼԱՔՅԱՆ Զ.Ն.	
ՔԱՌԱՉԱԾ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԵՌԱՉԱԾ ՊՐՈՑԵԿՑԻԱՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԸ	476
ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Ռ.Ա., ՆԱԶԱՐՅԱՆ Ս.ՅՄԼ.	
ՄՇՏԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՂ ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՎԱԾ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ	482
ՄԻՍՈՆՅԱՆ Է.Ա.	
ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔԸ ՄԻԱՍՆԱԿԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ	486

ՍՈՂԵԼՈՒՄ	
ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ԿՈՒԼԱԽՍՉՅԱՆ Ա.Պ.	
ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ԱՌՈՒՄՈՎ ՔՎԱՆՏԱՑՎԱԾ ԵՎ ՄԻՋԻՆԱՑՎԱԾ ՎԻՃԱԿՆԵՐՈՎ ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՍՈՂԵԼՆԵՐ	491
ԷՔՍՈՒՉՅԱՆ Ս.Հ.	
ՏԱՐԲԵՐ ՏԻՊԱԶԱՓԵՐԻ ԺԱՊԱՎԵՆՆԵՐԻՑ ՄԻԱԶԱՓ ՁԵՎՄԱՆ ԽՆԴԻՐԸ ԵՎ ՍՈՏԱՎՈՐ ԼՈՒԾՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԸ	500
ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ղ.Ն.	
ԴԻՆԱՄԻԿ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՓԱՍՏԱԹՂԹԵՐԻ ՇՐՋԱՆԱՌՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴՐՈՒՄ	509
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Մ., ՄԱՆԱՄՅԱՆ Վ.Ա., ՂՈՒՅԱՆ Ա. Գ., ՄԱՆԱՍԵԼՅԱՆ Խ.Հ., ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ Հ. Ա.	
ՓՈՒԼԱՅԻՆ ՓՈԽԱՆՋԱՏՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԶԱՅԻՆ ԻՐԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՌԱԴԻՈԱՍՏՂԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ .	514
ԱՇՉԻՅԱՆՑ Է. Պ.	
ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐՈՒՄ ՀԵՂՈՒԿԻ ՇԱՐԺՄԱՆ ԹԱՓԱՌՔԻ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋ	520
ՍՈՂՈՅԱՆ Մ.Տ., ԿՈՒԼԻԿՅԱՆ Ս.Ա.	
ՔԱՐԱՍՂՈՅՄԱՆ ՀԱՍՏՈՑՆԵՐԻ ՍԿԱՎԱՌԱԿԱՅԻՆ ՍՂՈՑՆԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՒՄ	525
ՄԱՐԳՍՅԱՆ ՅԱԴԵՅ ՏԱՃԱՏԻ՝ ԾՆՆԴՅԱՆ 80-ԱՄՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅԱՄԲ	530
ԱՐԵՇՅԱՆ ԳԵՈՐԳԻ ԼԵՎՈՆԻ (1926-2003)	533

СОДЕРЖАНИЕ

САРКИСЯН Н.Е., САРКИСЯН Н.Н.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ НА
ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА 355

СТАКЯН М.Г., ОГАНЕСЯН А.О., ДЕМИРХАНИЯН А.Р.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОГА ЧУВСТВИТЕЛЬ-
НОСТИ ПО ДОЛГОВЕЧНОСТЯМ
Сообщение 2. Определение априорных характеристик вариационных
рядов долговечностей по уровням перенапряжений . 360

ГАСПАРЯН С.А.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ВАЛОВ-ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ 366

ГРИГОРЯН М.А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗ-
ВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ
КРУГОВ 372

ЧИБУХЧЯН С.С., ДАДАМЯН А.В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МИКРОАВТОБУСОВ
ТИПА “ГАЗЕЛЬ”, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ГОРОДЕ ЕРЕВАНЕ,
ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ
ОБСЛУЖИВАНИЙ 379

САРКИСЯН В.С., АДИЛХАНИЯН Г.А.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
ОПОЛЗНЕВОГО МАССИВА 383

АЧОЯН Ж.А., КАЗАРЯН А.А.

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ НА МОДУЛЬ СТОКА
ГРУНТОВЫХ ВОД 389

ДРМЕЯН Г.Р.

РЕНТГЕНОВСКИЙ ДИФРАКЦИОННЫЙ УВЕЛИЧИТЕЛЬ (ДИФРАК-
ЦИОННАЯ ЛИНЗА-ЛУПА)..... 394

АМБАРЦУМЯН А.Г., ПЕТРОСЯН Б.В., АКОПЯН Г.Г., КРДЯН Ю.Г.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВАРКИ ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕ-
МИСТЫХ СТЕКОЛ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ГАРНИСАЖНОЙ ПЕЧИ
ПРЯМОГО НАГРЕВА 402

ГРИГОРЯН Г.Б., ГРИГОРЯН Г. Г.

МОНОПРОЦЕСС АВТОГЕННОЙ ПЛАВКИ МЕДНО-СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА АРМЕНИИ	406
 ХАЧАТРЯН В. С., БАДАЛЯН Н. П., МНАЦАКАНЯН М. А.	
КОРРЕКЦИЯ $Y-Z$ ДИАКОПТИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ ИСХОДНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИ- ЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	411
 САФАРЯН В. С., ГРИГОРЯН С. Э.	
РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ $Y-Z$ ФОРМЕ ЗАДАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕТИ	417
 БУРНАЧЯН Г. А., КАРАМЯН Ж. В.	
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НЕДЕЛЬНОГО ЦИКЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННЫМ НАПОРОМ В СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ	426
 ЗАРАНЦЯН А. В., НАЛБАНДЯН Г. Г.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ ПЕРВОГО КОНТУРА ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ С УЧЕТОМ НОВЫХ РЕШЕНИЙ	432
 АКОПЯН А. Г.	
МОДЕЛЬ РАНЖИРОВКИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	437
 ЕГОЯН Э. А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ АРМЯНСКОЙ АЭС)	445
 АРЕШЯН Г. Л.	
СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ СИНХРОННОЙ ЕМКОСТНОЙ МАШИНЫ С ДЕМПФЕРАМИ И С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПО ОБЕИМ СИНХРОННЫМ ОСЯМ	451
 АЙВАЗЯН Г. Е., ВАРДАНИЯН А. А., КИРАКОСЯН Г. Г.	
КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ $p-n$ – ПЕРЕХОДОМ	455
 МЕЛКОНЯН Д. К.	

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНЗИСТОРНОЙ СТРУКТУРЫ В МИКРОСХЕМАХ	461
ТЕРЗЯН А.А., СУКИАСЯН Г.С., КАЗАРЯН Д.С., ГРИГОРЯН А.А.	
К АВТОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	468
СОГОМОНЯН К.А., ТУМАНЯН К.А., ДАЛЛАКЯН ДЖ.Н.	
АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ПРОЕКЦИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА	476
АВETИСЯН Р. А., НАЗАРЯН С.Ю.	
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМ С ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИМИ СЛУЧАЙНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ	482
СИМОНЯН Э.А.	
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ В МОДЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ	486
МЕЛИКЯН В.Ш., КУЛАХСЗЯН А.П.	
ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ С КВАНТОВАННЫМИ И УСРЕДНЕННЫМИ ВО ВРЕМЕНИ СОСТОЯНИЯМИ	491
ЭКСУЗЯН С.А.	
ОДНОМЕРНАЯ ЗАДАЧА РАСКРОЯ ЛЕНТ РАЗНЫХ ТИПОРАЗМЕРОВ И АЛГОРИТМ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ	500
ВАРТАНЯН Д.Н.	
ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ О ДОКУМЕНТООБОРОТЕ	509
МАРТИРОСЯН Р.М., САНАМЯН В.А., ГУЛЯН А.Г.,	
МАНАСЕЛЯН Х.А., ПИРУМЯН Г.А.	
О КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ФАЗОВОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В РАДИОАСТРОНОМИИ	514
АЩИЯНЦ Э.П.	
К ВОПРОСУ О РАЗГОНЕ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ	520
СОГОЯН М.Т., КОХЛИКЯН С.А.	
АВТОБАЛАНСИРОВКА ДИСКОВЫХ ПИЛ КАМНЕРАСПИЛОВОЧНЫХ СТАНКОВ	525
К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА ФАДЕЯ ТАЧАТОВИЧА САРКИСЯНА	530
АРЕШЯН ГЕОРГИЙ ЛЕВОНОВИЧ (1926 – 2003)	533

CONTENTS

SARGSYAN N.E., SARGSYAN N.N. STRAIN CONCENTRATOR IMPACT FEATURES ON COMPOSITE MATERIAL STRENGTH	355
STAKYAN M.G., HOVHANNISYAN A.H., DEMIRKHANYAN A.R. STATISTICAL INVESTIGATION OF THE THRESHOLD OF SENSITIVENESS DUE TO DURABILITY Information 2. The determination of the pre-experimental descrip- tion of variational series of durability due to the levels of overstresses	360
GASPARYAN S.H. PROBABILISTIC EVALUATION OF KEYED-JOINT SHAFT'S DURABILITY	366
GRIGORYAN M.A. TECHNOLOGICAL APPROACH TO INCREASING THE PRODUCTIVITY OF DRESSING GRINDING WHEEL PROCESS	372
CHIBUKHCHYAN S.S., DADAMYAN A.V. INCREASING EFFECIENCY OF "GAZEL" – TYPE MICROBUS IN SERVICE IN YEREVAN BY CORRECTION OF MAINTENANCE PERIODICITY	379
SARKISYAN V.S., ADILKHANYAN H.A. EARTHQUAKE AND ITS INFLUENCE ON THE LANDSLIDE MOTION PROCESS	383
ACHOYAN Zh.A., GHAZARYAN A.A. IMPACT OF DRAINAGE NETWORK STATE ON GROUND WATER MODULUS OF FLOW	389
DRMEYAN G.R. X-RAY DIFFRACTION MAGNIFIER (DIFFRACTION LENS- MAGNIFIER)	394
HAMBARDZUMYAN A.G., PETROSYAN B.V., HAKOBYAN H.G., KRDIYAN JU.G. SOME FEATURES OF HIGH SILICEOUS GLASS MELTING IN ELECTRICAL GARNISSAGE FURNACE OF DIRECT HEATING ...	402
GRIGORIAN G.B., GRIGORIAN Gr.G. COPPER-SULPHIDE CONCENTRATE AUTOGENOUS SMELTING MONOPROCESS IN ARMENIA	406
KHACHATRYAN V.S., BADALYAN N.B., MNATSAKANYAN M.A. Y-Z DIACOPTIC MATRIX CORRECTION IN CHANGING INITIAL ELECTRIC POWER SYSTEM STRUCTURE	411

SAFARYAN V.S., GRIGORYAN S.E.	
PERMISSIBLE STEADY-STATE CALCULATION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS FOR Y-Z FORM OF NETWORK STATE SPECIFICATION	417
BURNACHYAN H.A., KARAMYAN ZH.W.	
CHOICE OF HAPS OPTIMAL OPERATING CONDITIONS IN WEEKLY CYCLE REGULATION WITH VARIABLE PRESSURE IN INTRICATE POWER SYSTEMS	426
ZARANTSYAN A.V., NALBANDYAN G.G.	
INVESTIGATION OF COOLANT TREATMENT SYSTEMS OF PRIMARY CIRCUIT OF PRESSURIZED WATER REACTORS CONSIDERING NEW HYPOTHESES	432
HAKOPYAN H.G.	
RANKING MODEL OF POWER OBJECTS FOR DEVELOPING AN ELECTRIC POWER SYSTEM	437
YEGHOYAN E.A.	
OPERATING MODE OPTIMIZATION AND RESEARCH OF SERVICE WATER SYSTEM (BY THE EXAMPLE OF THE ARMENIAN NPP)	445
ARESHIAN G.L.	
A DIFFERENTIAL EQUATION SYSTEM ON SYNCHRONOUS CAPACITANCE MACHINE WITH DAMPERS AND EXCITATION ON BOTH SYNCHRONOUS AXES	451
AYVAZIAN G.Y., VARDANYAN A. H., KIRAKOSSYAN G. H.	
EFFICIENCY OF SOLAR CELL WITH VERTICAL p-n JUNCTION ..	455
MELKONYAN D.K.	
ESTIMATION OF TRANSISTOR STRUCTURE FORMATION ACCURACY IN MICROCIRCUITS	461
TERZIAN H.A., SUKIASSYAN H.S., GHAZARYAN D.S., GRIGORYAN A.A.	
ON AUTOMATIC ADAPTATION TO DECISION-MAKING PROBLEMS	468
SOGHOMONYAN K.H., TUMANYAN K.A., DALLAQYAN G. N.	
THREE-DIMENSIONAL PROJECTION CONSTRUCTION ALGORITHM ON FOUR-DIMENSIONAL SPACE SURFACES	476
AVETISYAN R.A., NAZARYAN S.YU.	
OPTIMAL CONTROL OF SYSTEMS WITH PERMANENTLY ACTING OCCASIONAL DISTURBANCES	482
SIMONYAN E.A.	
CONSERVATION LAW IN THE COLLECTIVE USE MODEL	486

MELIKYAN V.SH., KULAKHSZYAN A.P.	
LOGICAL MODELS WITH QUANTUM AND TIME AVERAGING STATES	491
EKSUZYAN S. H.	
PROBLEM OF ONE-DIMENSIONAL BAND CUTTING OUT FOR DIFFERENT DIMENSION-TYPES AND AN APPROXI- MATE ALGORITHM SOLUTION	500
VARTANYAN D.N.	
APPLICATION OF DYNAMIC PROGRAMMING IN DOCUMENT TURNOVER PROBLEM	509
MARTIROSYAN R.M., SANAMYAN V.A., GHULYAN A.G., MANASELYAN KH.H., PIRUMYAN H.A.	
COMPUTER PROCESSING METHOD OF PHASE SHIFTING IN RADIOASTRONOMY	514
ASHIANTS E.P.	
ON PROBLEM OF LIQUID RUNAWAY IN PIPE-LINES	520
SOGHOYAN M.T., KOKHLYAN S.A.	
DISC SAW AUTOBALANCE FOR STONE-CUTTING MACHINES	525
TO THE 80-TH ANNIVERSARY OF BIRTH OF THE ACADEMI- CIAN FADEY TACHATOVICH SARKISSYAN	530
ARESHIAN GEORGI LEVONOVICH (1926 – 2003)	533