

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

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒԵԳԻԱ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Տ. Թերզյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ս. Ղազարյան, Ո.Մարության, Ն. Մանուկյան, Ֆ. Սարգսյան, Յու Սարգսյան, Վ. Սարգսյան, Ս Ստակյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար), Վ. Խաչատրյան, Տ. Զոչինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

**ՀԱՆՂԵՍԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿԱԾ Է ԱՍԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆՎԻՐԱՏՎՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԳՐԱԾ
ՀԱՍՍԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՒՄ**

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

Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

© Издательство ГИУА

Известия ИАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 1997

С.Х. ГЕВОРКЯН, Н. УЗУНОГЛУ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ КРУТИЛЬНЫХ ВОЛН В СОСТАВНОМ ВОЛНОВОДЕ

Ուսումնասիրվում է ոլորման ալիքների տարածման խնդիրը, երբ գլանային առաջգնական աղիքատարն ունի բարակաբաշտ ծածկույթ: Որոշված է ոլորման ալիքների տարածման արագության կապը աղիքատարի և ծածկույթի նյութերի մեխանիկական հատկությունների միջև:

Изучается задача распространения крутильных волн в случае, когда упругий цилиндрический волновод имеет тонкостенное покрытие. Определена зависимость скорости распространения крутильных волн от механических свойств волновода и покрытия.

Библиогр.: 4 назв.

The problem of torsional wave propagation when an elastic cylindrical waveguide has a thin coating is studied. The dependence of torsional wave propagation velocity on mechanical properties of waveguide and coating materials is determined.

Ref. 4.

Вопросам распространения упругих волн в слоистых средах посвящено много работ, среди которых можно отметить [1, 3, 4]. Целью работы является задача распространения крутильных волн в упругом цилиндрическом волноводе, когда на поверхности волновода имеется упругое покрытие малой толщины. Определена зависимость скорости распространения крутильных волн от физико-механических свойств материалов волновода и покрытия.

Пусть в цилиндрической системе координат (r, φ, z) ось z направлена по образующей волновода, внешняя поверхность $r=a+h$ которого свободна от напряжений, где a — радиус, h — толщина упрочняющего упругого слоя волновода. Уравнение движения можно получить из общих уравнений и перемещениях в цилиндрической системе координат [2]:

$$\begin{aligned} \mu \left(\nabla^2 U_r - \frac{U_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} \right) + (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial r} - \rho \ddot{U}_r + X_r &= 0, \\ \mu \left(\nabla^2 U_\varphi - \frac{U_\varphi}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} \right) + (\lambda + \mu) \frac{1}{r} \frac{\partial e}{\partial \varphi} - \rho \ddot{U}_\varphi + X_\varphi &= 0, \\ \mu \nabla^2 U_z + (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial z} - \rho \ddot{U}_z + X_z &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где λ, μ — упругие постоянные Ламе материала волновода; U_r, U_φ, U_z — компоненты вектора перемещения; ρ — плотность,

$$e = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r U_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial U_z}{\partial z}, \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

X_r, X_φ, X_z — компоненты массовых сил.

Составляющие тензора напряжения выражаются по формулам

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= 2\mu \frac{\partial U_r}{\partial r} + \lambda e, & \sigma_{\varphi\varphi} &= 2\mu \left(\frac{U_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + \lambda e \right), \\ \sigma_{rz} &= \mu \left(\frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right), & \sigma_{\varphi z} &= \mu \left(\frac{\partial U_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} \right), \\ \sigma_{zz} &= 2\mu \frac{\partial U_z}{\partial z} + \lambda e, & \sigma_{r\varphi} &= \mu \left(\frac{\partial U_\varphi}{\partial z} - \frac{U_\varphi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Предположим, что

$$U_r = 0, \quad U_z = 0, \quad U_\varphi = U_\varphi(r, z). \quad (3)$$

При отсутствии массовых сил: $X_r = X_\varphi = X_z = 0$ с учетом (3) из системы (1) остается второе однородное уравнение, которое принимает вид

$$\mu \left(\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{1}{r^2} U_\varphi + \frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z^2} \right) = \rho \ddot{U}_\varphi. \quad (4)$$

При этом напряжения с учетом (3) определяются по формулам

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= 0, \quad \sigma_{\varphi\varphi} = 0, \quad \sigma_{zz} = 0, \quad \sigma_{rz} = 0, \\ \sigma_{r\varphi} &= \mu \left(\frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{U_\varphi}{r} \right), \quad \sigma_{\varphi z} = \mu \frac{\partial U_\varphi}{\partial z}. \end{aligned} \quad (5)$$

В области $a < r < a+h$, занимаемой упрочняющим слоем, дифференциальное уравнение движения представим в виде [3, 4]

$$\mu \frac{\partial^2 U_{\varphi 1}}{\partial z^2} + \frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{2}{r} \sigma_{r\varphi} = \rho_1 \ddot{U}_{\varphi 1}, \quad (6)$$

где μ_1 и ρ_1 — модуль сдвига и плотности материала слоя; $\sigma_{r\varphi 1}$, $U_{\varphi 1}$ — напряжение и перемещение точки слоя, которые удовлетворяют выражениям (2).

Граничные условия для уравнений (4) и (6) выражают предположение о том, что внешняя поверхность волновода свободна от напряжений:

$$\sigma_{rr} = 0, \quad \sigma_{r\varphi} = 0, \quad \sigma_{rz} = 0, \quad (7)$$

а на поверхности контакта $r = a$ компоненты перемещения и напряжений равны

$$U_\varphi = U_{\varphi 1}, \quad \sigma_{r\varphi} = \sigma_{\varphi r 1}, \quad \sigma_{rr} = \sigma_{r1}, \quad \sigma_{rz} = \sigma_{rz 1}. \quad (8)$$

Условия (7) и (8) с учетом (5) принимают вид

$$\sigma_{r\varphi} = 0 \quad \text{при} \quad r = a+h, \quad (9)$$

$$U_\varphi = U_{\varphi 1}, \quad \sigma_{r\varphi} = \sigma_{\varphi r 1} \quad \text{при} \quad r = a. \quad (10)$$

Предположим теперь, что толщина слоя мала по сравнению с радиусом, т.е. $h/a \ll 1$. Согласно этому можно принять, что U_φ не меняется по толщине слоя, а касательное напряжение меняется по линейному закону [3]

$$\sigma_{\tau\varphi} = \sigma_{\tau\varphi}(a) \cdot \frac{1}{h} [-r + (a+h)], \quad (11)$$

где $\sigma_{\tau\varphi}(a)$ — значение $\sigma_{\tau\varphi}$ при $r = a$, которое с учетом (10) равно значению контактного напряжения $\sigma_{\tau\tau}$ при $r = a$.

Уравнение (6) можно интегрировать по r в пределах от a до $a+h$, что в силу принятых предположений даст

$$\mu_1 h \frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z^2} - \left(1 - \frac{2h}{a}\right) \sigma_{\tau\varphi}(a) = \rho_1 h \ddot{U}_\varphi \text{ при } r = a.$$

Подставляя вместо $\sigma_{\tau\varphi}(a)$ его значение из (5), получим граничное условие для функции U_φ :

$$\left(1 - \frac{2h}{a}\right) \mu \left(\frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{U_\varphi}{r} \right) = h \left(\mu_1 \frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z^2} - \rho_1 \ddot{U}_\varphi \right). \quad (12)$$

Представляя теперь решение (4) в виде гармонической волны с частотой ω : $U_\varphi = R(r) \cdot Z(z) \cdot e^{i\omega t}$, получим для неизвестных функций $R(r)$ и $Z(z)$ следующие уравнения:

$$\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dR}{dr} + \left(\beta^2 - \frac{1}{r^2} \right) R = 0, \quad (13)$$

$$\frac{d^2 Z}{dz^2} - \left(\beta^2 - \frac{\omega^2}{c_2^2} \right) Z = 0, \quad (14)$$

где $c_2^2 = \mu/\rho$ — скорость сдвиговых волн.

Частное решение (13), которое не имеет особенностей при $r \rightarrow 0$, выражается через функцию Бесселя J_1 , вследствие чего граничное условие (12) приводится к следующему дисперсионному уравнению:

$$\mu \left(1 - \frac{2h}{a}\right) [(\beta a) J_0(\beta a) - 2J_1(\beta a)] = ah \left[\mu_1 \left(\beta^2 - \frac{\omega^2}{c_2^2} \right) + \rho_1 \omega^2 \right] J_1(\beta a). \quad (15)$$

Из дисперсионного уравнения (15) для каждого значения частоты ω можно найти соответствующее бесконечное множество значений βa .

Уравнение (15) удобно представить в виде

$$(\beta a) J_0(\beta a) - 2J_1(\beta a) = \frac{a^2 \delta}{1 - 2\delta} \left(\frac{\rho_1}{\rho} K_2^2 - \frac{\mu_1}{\mu} K^2 \right) J_1(\beta a), \quad (16)$$

где

$$\delta = \frac{h}{a}, \quad \beta = (K_2^2 - K^2)^{1/2}, \quad K_2 = \frac{\omega}{c_2}, \quad K = \frac{\omega}{c}.$$

c — скорость распространения крутильных волн.

Рассмотрим предельный случай, когда радиус a мал по сравнению с длиной волны. В этом случае можно воспользоваться разложением $J_0(\beta a)$ и $J_1(\beta a)$ в бесконечные ряды и сохранить в них первые два члена

$$J_0(\beta a) \approx 1 - \frac{1}{4}(\beta a)^2, \quad J_1(\beta a) \approx \frac{\beta a}{2} \left[1 - \frac{1}{8}(\beta a)^2 \right]. \quad (17)$$

Подставляя (17) и (16), получим для нулевого приближения $\beta = 0$ значение скорости распространения крутильных волн $c = c_2$, а для первого приближения

$$c = \left(\mu + \frac{4\delta}{1-2\delta} \mu_1 \right)^{1/2} \cdot \left(\rho + \frac{4\delta}{1-2\delta} \rho_1 \right)^{-1/2}. \quad (18)$$

Расчетная формула (18) позволяет для различных значений физических и геометрических параметров задачи легко определить скорость распространения крутильных волн. Заметим, что в частных случаях, когда $\delta \rightarrow 0$ или $\rho_1 \rightarrow 0$ и $\mu_1 \rightarrow 0$, из (18) следует, что $c = c_2$.

Таким образом, при тонкостенном покрытии с достаточной точностью может быть оценено влияние степени неоднородности составного волновода на скорость распространения крутильных волн, что указывает на возможность применения полученных результатов в волоконно-оптических системах связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 502 с.
2. Новацкий В. Теория упругости. - М.: Мир, 1975. - 872с.
3. Белубехян М.Б. О поверхностных волнах Лява в случае композиционного слоя // Актуальные проблемы неоднородной механики: Сб. ст. - Ереван: Изд-во ЕГУ, 1991. - С. 66-71.
4. Белубехян М.В., Овсепян В.В. Задача типа Лява для цилиндрической полости // Акуст. журн. -1993. Т. 39. Вып. 2. - С. 370-373.

ГИУА. Нац. Техн. Ун. - г Афины

28.02. 1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 2, 1997, с. 76 - 80.

УДК 629.114.3.073.286

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.С. БУДАГЯН, В.В. ЖАМКОЧЯН

УЛУЧШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ПРИ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Նյութագրության օրինակ են սեփ բնակումակության մայրուղային ավտոգնացքները: Մշակված է որոշակի ուղեգծով շարժման մոտարկումային մաթեմատիկական մոդել և մեթոդաբանություն, ինչը հնարավորություն է ընկնում շուկագործման ճանապարհային պայմաններից կախված իրականացնել միջոցառումներ և հանձնարարականներ դրանց վառելիքային խնայողականությունը և օգտագործման արդյունավետությունը բավարարելու նպատակով: Ներկայացվում են ավտոգնացքների ընդհանուր տեխնիկական սկզբունքների և

կազմի, շարժիչ տեսակարար հզորության, ինչպես նաև փոխադրողակի պարամետրերի ընտրության և լավարկման արդյունքները Հայաստանի Հանրապետության մայրուղային ճանապարհների համար

Объектами исследования являются магистральные автопоезда большой грузоподъемности. Разработана методология и математическая модель движения автопоезда по конкретной трассе, что дает возможность в зависимости от конкретных условий эксплуатации осуществлять мероприятия и рекомендации по улучшению топливной экономичности и эффективного использования АТС. Представлены результаты выбора и улучшения общих технических параметров и состава АТС, удельной мощности двигателя, а также параметров трансмиссии для магистральных дорог Республики Армения.

Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

The objects of investigation are heavy highway vehicles. Methodology and the mathematical model of road train traffic on particular route has been performed which enables to realize measures and recommendations for improving their fuel economy and employing efficiency depending on particular road condition of exploitation. The results of option and optimization of vehicles common technical parameters and composition, specific power of the engine as well as transmission parameters for highway roads in Republic of Armenia are given.

Ил. 4. Ref. 3.

Грузовые автотранспортные средства (АТС), выпускаемые промышленностью, предназначены для работы в определенных стандартных условиях эксплуатации и обеспечивают гарантированные заводом-изготовителем номинальные значения таких эксплуатационных свойств, каковыми являются: производительность, тягово-скоростные свойства, топливная экономичность и др. Однако реальные условия эксплуатации могут резко отличаться от той области стандартных, усредненных условий, для которых они предназначены. При этом они влияют на эффективность их использования, значительно изменяя уровень вышеупомянутых эксплуатационных свойств.

Для изучения и оценки эксплуатационных свойств АТС эффективно использовать методы математического моделирования движения этих средств по конкретной трассе. Представленная математическая модель АТС включает в себя систему арифметических и дифференциальных уравнений, описывающих их движение, добавленных логическими действиями, заменяющими действия водителя (моменты переключения передач в коробке, режимы и скорости движения в зависимости от дорожных условий и т.д.). Разработанная математическая модель движения АТС по конкретной трассе дает возможность оценить воздействие отдельных технических параметров и характеристик на его тягово-скоростные свойства и топливную экономичность и, в итоге, определить оптимальные сочетания параметров двигателя и трансмиссии. Она описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m\delta_1 dv/dt = a_1 v^2 + b_1 v + c_1, \\ dQ/dv = (a_{Q1} v^2 + b_{Q1} v + c_{Q1})/j, \\ j = dv/dt, v = ds/dt. \end{cases}$$

где m — полная масса автопоезда, кг; δ_1 — коэффициент учета инерции вращающихся масс автопоезда; v — скорость движения, м/с; t — время

движения; a, b, c — переменные коэффициенты дифференциального уравнения движения, зависящие от параметров автопоезда и дорожных условий; Q — расход топлива, кг; j — ускорение автопоезда, m/c^2 ; $a_{Q_1}, b_{Q_1}, c_{Q_1}$ — коэффициенты уравнения секундного расхода топлива; S — пройденный путь, м

Данный метод использован в оценке приспособленности АТС при их движении по стандартной дороге. Полученные результаты отличаются от экспериментальных данных не более, чем на 10%.

Вычислительный процесс для каждого участка включает в себя два основных этапа:

1. Определение скорости и режима движения в зависимости от дорожных условий на данном участке трассы.

2. Расчет времени, пути и расхода топлива с учетом режимов движения.

В качестве оценки основных показателей приспособленности выбраны средняя техническая скорость движения V_{cp} , средний путевой расход топлива Q_{cp} и комплексный показатель оценки эффективности использования автопоезда: условная удельная производительность W , равная

$$W = \gamma V_{cp} / Q_{cp} \text{ т.км}^2/(\text{ч.л}),$$

где γ — номинальная грузоподъемность автопоезда т, γ — коэффициент использования грузоподъемности.

Приведены результаты математического моделирования движения автопоезда по конкретной трассе Ереван-Гюмри-Ереван. В качестве исследуемого объекта выбран магистральный автопоезд грузоподъемности МАЗ 6422+МАЗ 9398 (полная масса 48 т). Рассматривается влияние полной массы (грузоподъемности), удельной мощности двигателя, а также передаточных чисел главной передачи и коробки передач на приспособленность автопоезда к этим дорожным условиям.

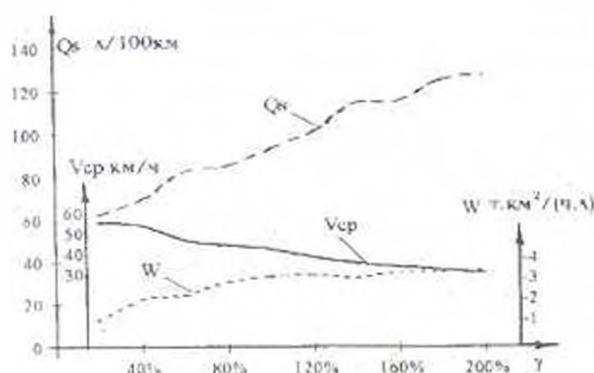


Рис. 1 Зависимость средней скорости V_{cp} , среднего расхода топлива Q_{cp} и удельной производительности W от коэффициента использования грузоподъемности γ

Влияние коэффициента использования грузоподъемности на среднюю техническую скорость, средний путевой расход топлива и условную удельную производительность представлено на рис. 1. При увеличении коэффициента использования грузоподъемности γ (полной массы автопоезда) V_{cp} уменьшается, а Q_{cp} увеличивается, что и следовало ожидать.

Однако в области $\gamma = 100 \dots 130\%$ условная удельная производительность достигает максимума. Следовательно, при движении автопоезда по данной трассе можно, при необходимости, перезагрузить его еще на 30 %.

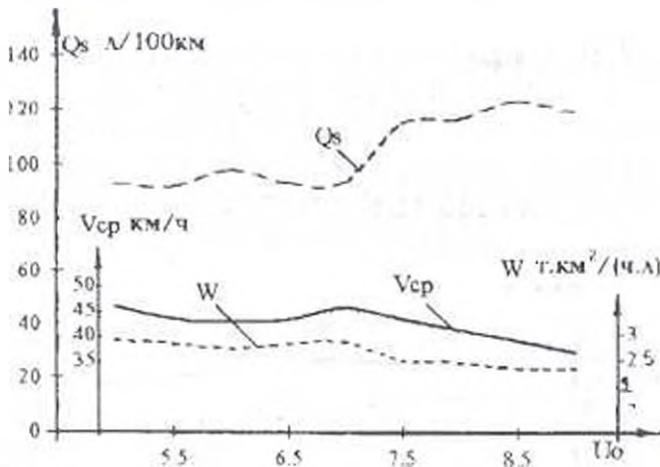


Рис. 2. Зависимость средней скорости $V_{ср}$, среднего расхода топлива $Q_{ср}$ и удельной производительности W от передаточного числа главной передачи U_0 .

Влияние передаточного числа главной передачи на $V_{ср}$, $Q_{ср}$ и W (рис. 2) показывает, что в данных дорожных условиях все три показателя достигают своего оптимального значения при $U_0 = 6.5 \dots 7.3$ (заводское значение 7.14). Следовательно, более целесообразно выбрать главную передачу с передаточным числом 6,5 (т.е. снизить на 9%).

Анализ графиков рис. 3 показывает, что при движении по рассматриваемой трассе W и $Q_{ср}$ принимают оптимальные значения при мощности двигателя $P = 275 \dots 280$ кВт. Следовательно, с целью улучшения энергообеспеченности автопоезда можно предложить повышение мощности с 235,3 кВт (двигатель ЯМЗ-238 Ф) до 275 кВт (двигатель КОФ 4070А США) или до 280 кВт (двигатель МАН 19,362 U(G) 510 ФРГ), то есть на 15...17%.

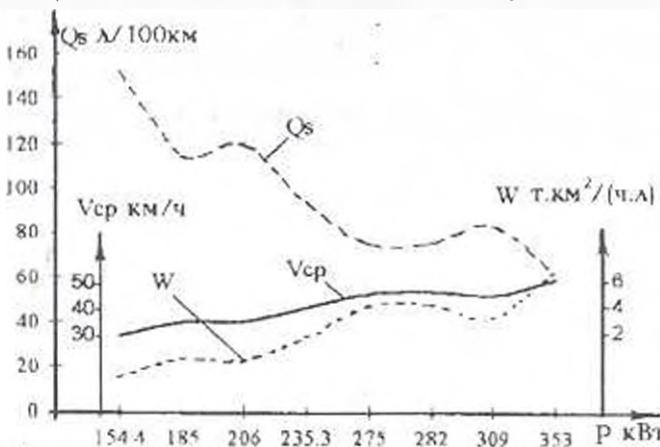


Рис. 3. Зависимость средней скорости $V_{ср}$, среднего расхода топлива $Q_{ср}$ и удельной производительности W от мощности двигателя P .

Приведенные расчеты показали, что при движении автопоезда по данной трассе наиболее часто используется 8-я передача. На основе этого анализа рассматривается влияние передаточного числа данной передачи на выбранные показатели, описывающие движение автопоезда.

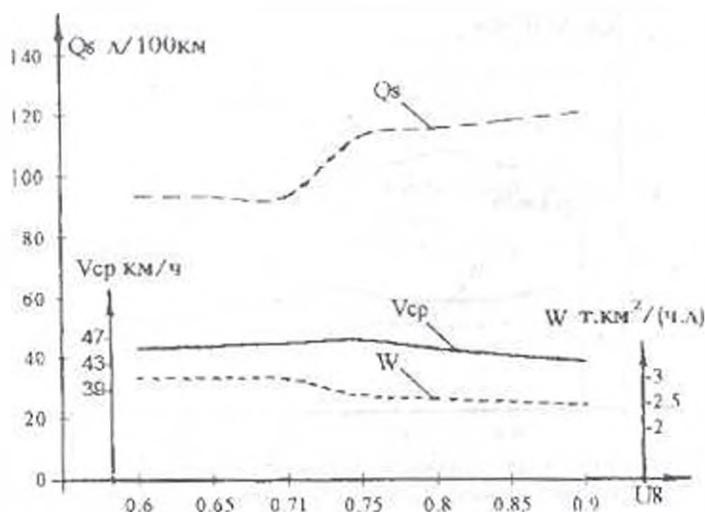


Рис. 4. Зависимость средней скорости $V_{ср}$, среднего расхода топлива $Q_{ср}$ и удельной производительности W от передаточного числа 8-й передачи

Изменение передаточного числа 8-й передачи в пределах 0.6...0.9 (рис. 4) приводит к оптимальному значению рассматриваемых показателей при $U_8 = 0.6...0.68$ (заводское значение 0.71).

На основе разработанной математической модели проведены исследования по оптимизации технических параметров автопоезда с целью улучшения топливной экономичности и эффективности использования АТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фаробин Я.Е., Шуляков В.Р. Оценка эксплуатационных свойств автопоезда для международных перевозок. - М.: Транспорт, 1983. - 200 с.
2. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств. - М.: Машиностроение, 1989. - 240 с.
3. Высоцкий М.С., Бельский Ю.Ю., Московкин В.В. Топливная экономичность автомобилей и автопоездов. - Минск: Наука и техника, 1984. - 280 с.

С.Г. АГБАЛЯН, А.Р. ОГАНЯН

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ ВЗАМЕН ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ ПРИ ЗАКАЛКЕ

1. ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ЗАКАЛОЧНЫХ МАСЕЛ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ПОЛИАКРИЛАМИДА

Ուսումնասիրվել են սրղիստրիբաժինի ջրային լուծույթի միտոյ հատկությունները: Լուծույթը սրղիստրերական յուղերի փոխարեն ավաջարկվում է որպես սառնեցնող միջավայր միսման ընթացքում:

Исследованы закалочные свойства водного раствора полиакриламида. Установлена целесообразность его применения взамен индустриальных масел в качестве охлаждающей среды при закалке.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

The quenching properties of polyacrilamide water solution are investigated and it is found warranted to apply it as quenching medium instead of industrial oils during metal hardening process.

Ил. 2. Table 1. Ref. 3.

Качество машин и механизмов во многом зависит от уровня технологии и выбора оптимальных режимов термической обработки. Обоснованный выбор и технически рациональное использование закалочной среды при термообработке может обеспечить большой экономический эффект за счет уменьшения деформации изделий, повышения прокаливаемости и закаливаемости, а следовательно, уровня свойств без дополнительного легирования, а также улучшения условий труда, достижения пожаробезопасности, нетоксичности и пр.

Самой распространенной средой для закалки является масло, т. к. оно лишено тех недостатков, какими обладают вода, водные растворы и расплавы солей и щелочей. Однако по сравнению с ними масло имеет следующие недостатки: пониженная охлаждающая способность, повышенная пожароопасность, вредные выделения, дороговизна и дефицитность. Перспективы потребления энергии таковы, что заставляют искать новые эффективные закалочные среды [1]. Полимерные среды, в отличие от воды и масла, благодаря возможности изменения концентрации раствора, обладают способностью регулирования скоростями охлаждения, что делает возможным получение требуемых значений твердости с исключением трещинообразования и минимального коробления. Из многочисленных классов полимеров при закалке деталей выбраны доступные полимеры, такие как: полиакриламид, гликоль, поливиниловый спирт, поливинилантат и латекс Л-ММА-М.

Целью работы являлось изучение охлаждающих свойств перечисленных полимеров и проведение исследования для выявления возможности их использования в качестве закалочной среды взамен масла.

Рабочий раствор полиакриламида подготавливается путем разбавления поставляемого концентрата водой любой жесткости с добавлением ингибиторов коррозии. Температура рабочего раствора не должна превышать 50°C , так как это может привести к некачественной закалке. Исследовались охлаждающие свойства водных растворов полиакриламида с концентраций 0,1; 0,2; 0,25; 0,3 и 0,5% на сталях марок 40X, 45 и ХВГ. Нагрев образцов проводился двумя методами: в электропечи и ТВЧ. Температура печного нагрева соответствовала железоуглеродистой диаграмме $840\text{--}860^{\circ}\text{C}$ [2]. Время выдержки выбиралось согласно условной толщине образцов [3]. Охлаждение производилось окунанием и активным движением. В процессе экспериментов измерялась температура раствора в ванне до и после закалки. Скорость охлаждения определялась методом графического дифференцирования температурных кривых в интервале температур $900\text{--}50^{\circ}\text{C}$.

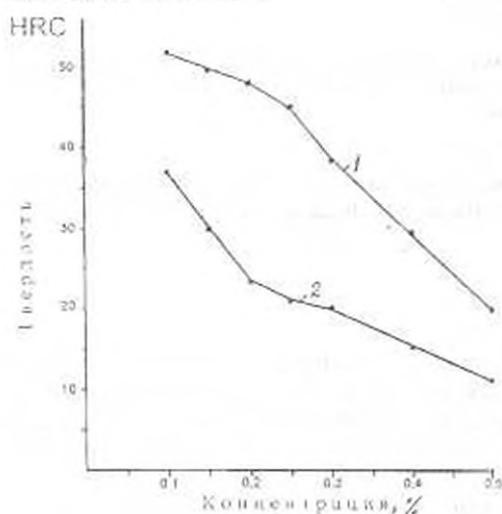


Рис. 1. Зависимость твердости поверхности (кривая 1) и сердцевины (кривая 2) стали 40X от концентрации

найдена оптимальная концентрация, обеспечивающая скорость охлаждения, близкую к $V_{кр}$.

Результаты опытов показали (рис. 1), что с повышением концентрации водного раствора полиакриламида от 0,1 до 0,5% твердость снижается по всему сечению образца.

Соответственно, микроструктура изменялась при концентрации 0,1% от получения троост-мартенсита до сорбитно-перлитной структуры при концентрациях 0,3% и выше. Если твердость НРС поверхности стали 40X после охлаждения в масле достигает $56\text{--}59$ НРС, то при охлаждении в 0,1%-ом растворе полиакриламида максимальная твердость достигала лишь $42\text{--}54$ НРС с большим размером твердости. Термографический метод исследования охлаждающей способности полиакриламида показал, что раствор полиакриламида понижает верхний кризис кипения, за счет чего

Основным параметром, влияющим на охлаждающие свойства полиакриламида, является концентрация раствора, регулирующая скорости охлаждения, а следовательно, и требуемые прочностные свойства закаливаемых изделий. Известно, что если скорость охлаждения на диаграмме изотермического распада аустенита больше $V_{кр}$ и расположена близко к касательной по выступу к С-образной кривой, то это приводит к образованию мартенсита, а при скорости охлаждения, меньшей $V_{кр}$ к распаду аустенита, в верхнем районе температур образуются перлит и феррит. Следовательно, должна быть

сужается интервал пузырьчатого кипения. Это дает возможность качественно закалить сталь 40X, 45, ХВГ при концентрациях 0,1 и 0,2%.

С целью улучшения закаливасмости изучалось влияние добавок в водный раствор полиакриламида I, II и III состава (рис. 2).

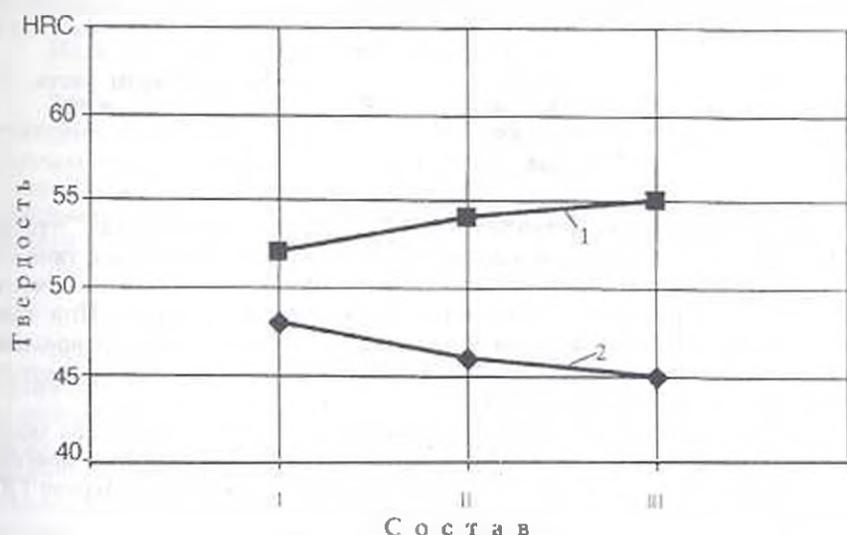


Рис. 2. Зависимость твердости поверхности (кривая 1) и сердцевины (кривая 2) стали 40X от состава

Изучены следующие составы растворов полиакриламида:

I - 450 г - 0,3%, вода - 1050 г, Na_2CO_3 - 4,5, NaCl - 15 г;

II - 300 г - 0,3%, вода - 700 г, соль - 5 г, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - 1 г;

III - 300 г - 0,3%, вода - 700 г, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - 1 г.

Эксперименты показали (рис. 2), что при закалке в водном растворе III состава получены стабильные результаты, что подтверждено также металлографическим анализом. Отмечалась мартенситная мелкоигольчатая микроструктура с наличием ближе к сердцевине тростомартенсита.

Термографически изучались скорости охлаждения III состава при концентрациях полиакриламида 0,1 и 0,2%. Найдено, что в нижнем кризисе кипения, т.е. в интервале мартенситного превращения, скорости охлаждения водного раствора полиакриламида приближается к скорости охлаждения масла и значительно уменьшается по сравнению со скоростью охлаждения в верхнем кризисе кипения (табл.).

Таблица

Концентрация полимера, %	Максимальная скорость охлаждения, °C/с	
	мартенситного превращения	аустенитного превращения
0,1	120	1070
0,2	150	1250

Однако при закалке сталей с повышенной прокаливаемостью наблюдалось образование трещин, поэтому для легированных сталей предпочтительнее оказалось применять закалочную среду после индукционного нагрева ТВЧ. Результаты показали более стабильные значения и минимальный разброс твердости:

марка стали	Твердость HRC	
	масло	0,1...0,2% водн. раств.
40X	56...59	58...60
XBG	60...65	63...65
У8	- 63	- 64

Микроструктурный анализ поверхностного слоя показал, что при индукционной поверхностной закалке среднеуглеродистых сталей типа 40X, 45 в 0,1...0,2%-ом водном растворе полиакриламида получается мартенситная структура без наличия трещин и коробления. При такой скорости нагрева и охлаждения в интервале мартенситного превращения углерод не успевает перераспределиться, образуя обесцененные углеродом участки и нерастворимые карбиды.

Таким образом, 0,1...0,2%-й водный раствор полиакриламида можно считать оптимальным при индукционной закалке. Он вполне заменяет закалочные масла, эмульсии и пр. растворы при индукционном нагреве ТВЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инмен Д. Перспективы энергии и пластмасс в автомобильной промышленности // Химия 92 - 5-я международная выставка. - М., 1992. - С.
2. Филинов С. А., Фиргер И. В. Справочник термиста. - Л.: Машиностроение, 1975. - 325 с.
3. Гуляев А. П. Термическая обработка стали. - М.: Металлургия, 1972. - 383 с.

ГИУА

5.02.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1, № 2, 1997, с. 84 - 88.

УДК 621.9.025.7. 004.68

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Г.С. ОВСЕПЯН, А.Ж. ГАЛСТЯН, Г.А. АМБАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ուսումնասիրվել է մետաղակերամիկական նյութերի մշակելիությունը կտրման գործընթացներում Մշակվող մակերևույթների R_a և կտրող գործիքի T մաշակայունության ցուցանիշներով որոշվել է կտրման լավարկված V արագությունը: Չորս տարիք բարդության մետաղակերամիկական նյութերի ($Fe-C$, $Cu-Sn-C$, $Fe-P-S$, $Fe-Mo-Si$) մշակմամբ որոշվել է ծակոտկենության (P) և S_{np} մատուցման ազդեցությունը մակերևութի մաշակայուն վրա:

Исследованы вопросы влияния обрабатываемости металлокерамических материалов. Определены оптимальные скорости резания V по показателям шероховатости обработанной поверхности и стойкости режущего инструмента T . Установлено влияние пористости (Π) и подачи $S_{пр}$ на чистоту поверхности при обработке металлокерамических материалов из четырех разных составов: Cu-Sn-C, Fe-P-S, Fe-Mo-S, Fe-C.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

The workability of metalloceramic materials, especially in cutting processes, is investigated. The optimal cutting rate (v) is determined through the indices of roughness of the treated surface and durability of the cutting tool (T). The effect of porosity (n) and feed (s) on the surface purity is shown during the treatment of metalloceramic materials of four various compositions: Fe-C, Cu+Sn+C, Fe+P+S, Fe+Mo+S.

Ил. 3. Tables 2. Ref. 3.

Развитие порошковой металлургии выдвигает новые требования к механической обработке металлокерамических материалов, в частности, к процессам резания. Эта касается материалов со структурной пористостью, а также материалов, предназначенных для фильтров, демпферов, акустических устройств и др. Отсутствие гарантированных рекомендаций по механической обработке металлокерамических материалов сдерживает их распространение в различных отраслях производства [1].

Целью работы является определение оптимальной скорости резания v по показателям шероховатости и стойкости инструмента T , а также установление влияния пористости (Π) и продольной подачи $S_{пр}$ на чистоту поверхности при обработке различных металлокерамических материалов. При этом не рассматривалось влияние глубины резания на обрабатываемость, так как припуски на обработку у металлокерамических изделий, как правило, невелики. Резание осуществлялось без смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ) при глубине резания $t = 0,2$ мм.

Чистота обработанной поверхности оценивалась показателем шероховатости R_n , а за критерий стойкости инструмента была принята высота площадки износа инструмента по задней грани, равная 1,5 мм. Эксперименты проводились при продольном точении цилиндрических образцов. Прямой проходной резец, оснащенный пластижкой твердого сплава марок ВК и ТК, паяный в атмосфере защитного газа, имел следующую геометрию [2]: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $r = 2,0$ мм.

С целью повышения износостойкости режущего инструмента, твердосплавные режущие пластины были подвергнуты химико-термической обработке (табл. 1). Предлагаемый способ обработки способствует повышению износостойкости и работоспособности инструмента. Так, износостойкость неперетачиваемых пластин, т.е. с механическим креплением, на 70...80% выше стандартных (неупрочненных). При пайке твердосплавных инструментов в печах с защитной газовой средой износостойкость возрастает в 2,5...3,5 раза. Механическая обработка для всех различных составов металлокерамических материалов проводилась инструментами, подвергнутыми химико-термической обработке в газовой среде.



Таблица 1
Режимы химико-термической обработки твердосплавных пластин и пайки режущих инструментов в печи с газовой средой

Технологические процессы	Способ нагрева	Скорость нагрева, град/с	Скорость охлаждения, град/с	Температура пайки и термообработки, °С
Пайка твердосплавных инструментов	Нагрев в печах с защитной газовой средой Нагрев на установке ТВЧ	1,3...1,5	0,35...0,45	800...1200
		35...45	на воздухе	800...1200
Термообработка твердосплавных пластин	Нагрев в печи с защитной газовой средой	1,3...1,5	0,3...0,5	800...1200

Обрабатываемые образцы были изготовлены из четырех составов:

- 1) 98%Fe+2%С (железографит);
- 2) 88%Cu+10%Sn+2%С (бронзографит);
- 3) 99%Fe-0,5%P+0,5%S (антифрикционный сплав);
- 4) 95,5%Fe+3%Mo+1,5%S (износостойкий сплав).

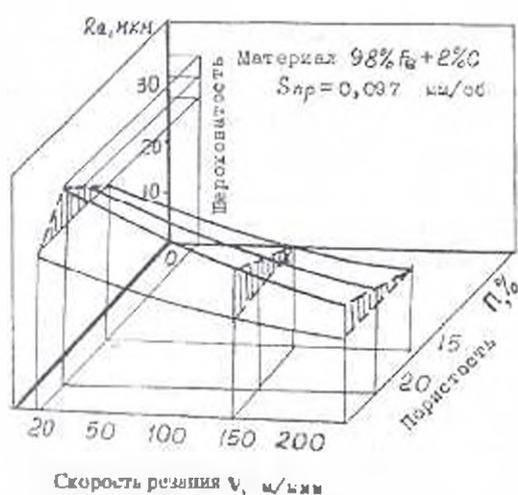


Рис. 1. Функция $R_a=f(v, П)$

сил резания. При повышенных скоростях (120...150 м/мин) резание протекает при меньших усилиях, в результате чего вырывание не имеет места и стружка скалывания переходит в сливную стружку.

Анализ результатов исследования, часть которого представлена на рис. 1-2 в виде графических зависимостей $R_a=f(v)$, $R_a=f(П)$, $T=f(v)$, а также цифровых данных (табл. 2) позволяет отметить ряд особенностей процессов резания.

Увеличение скорости резания приводит к уменьшению шероховатости R_a . При низких скоростях (20...60 м/мин) на обработанной поверхности видны отдельные углубления различной формы и размеров, которые объясняются локальным вырывом материала вследствие действия больших



Рис.2. Зависимость $T=f(v)$ для материалов: 1 - (Cu-Sn-C); 2 - (Fe-P-S); 3 - (Fe-Mo-S); 4 - (Fe-C)

Изучение зависимости $R_z=f(v)$ показало, что наибольшая шероховатость получается на составе Fe-C, наименьшая - на Fe-P-S, а составы Fe-Mo-S и Cu-Sn-C занимают среднее положение. Таким образом, состав Fe-P-S обладает предпочтительными антифрикционными свойствами (малый коэффициент трения $\mu=0.01$ [3]) по сравнению с остальными композициями.

Таблица 2

Влияние величины подачи на шероховатость поверхности при $v = 100$ м/мин

Подача, мм/об	Высота микронеровностей, R_z , МКМ				Пористость, %
	4	9	12	11	
0,070	4	9	12	11	15
0,084	5	10	12	13	
0,097	7	12	15	13	
0,120	11	13	17	15	
0,140	11	14	17	20	
0,070	6	10	12	13	20
0,084	11	12	14	13	
0,097	12	13	14	15	
0,120	12	15	17	18	
0,140	13	16	18	23	
0,070	7	11	13	13	25
0,084	9	12	13	15	
0,097	12	14	14	19	
0,120	13	17	16	25	
0,140	15	18	19	26	

Увеличение скорости резания приводит к уменьшению стойкости режущего инструмента, о чем свидетельствуют кривые $T=f(v)$ на рис. 2. Увеличение подачи ухудшает качество поверхности, что более интенсивно

происходит у состава Fe-P-S (табл.2). С уменьшением пористости возрастает чистота обработанной поверхности (рис.3).

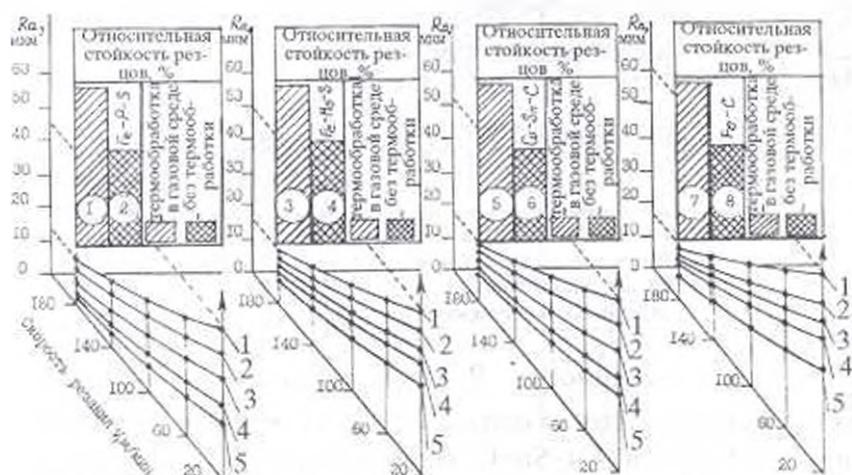


Рис. 3. Влияние скорости резания, величины подачи на шероховатость обработанной поверхности для различных составов металлокерамических материалов:

1 - $S=0,07$ мм/об; 2 - $S=0,084$ мм/об; 3 - $S=0,097$ мм/об,
4 - $S=0,12$ мм/об; 5 - $S=0,14$ мм/об

Проведенное исследование позволяет сделать следующие рекомендации при выборе режимов механической обработки металлокерамических материалов:

1. Химико-термическую обработку гвердосплавных пластин и пайку твердосплавного инструмента необходимо осуществлять в среде защитного газа (N_2+CO+H_2). При этом обеспечивается высокая работоспособность, а также уменьшается расход режущего инструмента на 70...80%.

2. Скорость резания предпочтительно выдерживать в пределах 80...100 м/мин, что снижает шероховатость ($Ra=1,6...0,8$ мкм) при стойкости инструмента $T=15...20$ мин. При необходимости уменьшения шероховатости до $Ra=0,4$ мкм скорость резания следует увеличить до 100...120 м/мин, но при этом снижается скорость инструмента.

3. Для получения шероховатости менее $Ra \approx 1,6$ мкм следует ограничить подачу до $\approx 0,1$ мм/об.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артаманов А.Я. Механическая обработка металлокерамических антифрикционных материалов резанием // Порошковая металлургия. -1961. №3. - С.125-127.
2. Бельвич Б.А. Обработка металлокерамических материалов резанием. - Минск: Наука и техника, 1965. - 102с.
3. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии. - Ереван: Айастан, 1986. - С.98-109.

В.С. ХАЧАТРЯН, АЛЬ-ИССА ИБРАХИМ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕАКТИВНЫМ МОЩНОСТЯМ ПРЯМЫМ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ Z-ФОРМЕ ЗАДАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕТИ

Էլեկտրոէներգետիկական համակարգի ռեժիմի լավարկումն ըստ էլեկտրական կայանների ռեակտիվ հզորության տվյալային ոչ գծային ծրագրավորման խնդիր է: Սակայն այս խնդիրը լուծվում է սեթեմատիկական ծրագրավորման ուղղակի մեթոդով: Ռեժիմային պարամետրերի վրադրված անհավասարության պայմանները հաշվի են առնված կայունացված ռեժիմի հաշվման ժամանակ, ոչ գծայնությունը՝ Ֆալորի մատրիքի միջոցով, իսկ յուրաքանչյուր քայլում անելալս կայանային հանգույցների ռեակտիվ հզորությունների որոշման համար անհրաժեշտ է լուծել գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգ:

Оптимизация режима электроэнергетической системы по реактивным мощностям электрических станций является типичной задачей нелинейного программирования. Предложен прямой метод математического программирования. При этом условия типа неравенств, налагаемые на режимные параметры, учитываются по расчету установившегося режима. Нелинейность учитывается с помощью матрицы Якоби. На каждой итерации определение реактивных мощностей независимых стационарных узлов сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений.

Библиогр.: 5 назв.

Conditions optimization of an electric power system owing to reactive powers of electric stations is a typical problem of nonlinear programming. A direct method of mathematical programming is proposed, while the inequality type imposed on operating conditions is taken into account by calculating steady-state conditions. Nonlinearity is accounted by means of Jacobi matrix. On each iteration the specification of reactive powers for independent stationary units must be solved by linear algebraic equations.

Ref. 5.

Как известно, уравнение состояния электроэнергетической системы (ЭЭС) в Z-форме представляется в виде [1-5]:

$$\bar{U} = \bar{U}_b + Z\bar{I}, \quad (1)$$

где \bar{U} , \bar{I} — многомерные векторы узловых комплексных напряжений и токов независимых узлов; Z — неособенная квадратная матрица узловых комплексных сопротивлений; \bar{U}_b — напряжение базисного узла, которое является заданным действительным числом, $U_b = U_b$.

Для дальнейшего изложения материала принимается нижеприведенная система индексов:

— для стационарных узлов: $m(n) = 0, 1, 2, \dots, \Gamma$, где Γ — число независимых стационарных узлов, индекс 0 обозначается в дальнейшем буквой Б (от слова базисный), так что $\mathbb{B} = 0$;

— для нагрузочных узлов: $k(\ell) = \Gamma + 1, \Gamma + 2, \dots, \Gamma + N$, где N — число нагрузочных узлов;

— для произвольных узлов, в состав которых входят как стационарные, так и нагрузочные узлы: $i(j) = 0, 1, 2, \dots, \Gamma, \Gamma + 1, \Gamma + 2, \dots, \Gamma + N = M$, где M — число независимых узлов.

При этом матричное уравнение (1) в алгебраической форме можно представить в виде

$$\hat{U}_i = U_{\mathbb{B}} + \sum_{j=1}^M Z_{ij} \hat{I}_j. \quad (2)$$

Умножая обе части уравнения (2) на комплексно-сопряженное значение тока \hat{I}_i , получим

$$P_i + jQ_i = U_{\mathbb{B}} \hat{I}_i + \sum_{j=1}^M Z_{ij} \hat{I}_j \hat{I}_i. \quad (3)$$

Разлагая \hat{I}_i и \hat{I}_j на действительные (I') и мнимые (I'') составляющие, можно установить выражения для активной и реактивной мощностей независимых узлов:

$$P_i = U_{\mathbb{B}} I'_i + \sum_{j=1}^M [(I'_i I'_j + I''_i I''_j) R_{ij} - (I'_i I''_j - I''_i I'_j) X_{ij}]. \quad (4)$$

$$Q_i = -U_{\mathbb{B}} I''_i + \sum_{j=1}^M [(I'_i I'_j + I''_i I''_j) X_{ij} - (I'_i I''_j - I''_i I'_j) R_{ij}]. \quad (5)$$

Обозначим потерю активной мощности через Π_a , которая определяется как алгебраическая сумма активных мощностей всех узлов с учетом активной мощности балансирующего узла:

$$\Pi_a = \sum_{i=1}^M P_i + P_{\mathbb{B}}. \quad (6)$$

В конечном итоге функция потери активной мощности принимает следующий вид:

$$\Pi_a = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (I'_i I'_j + I''_i I''_j) R_{ij}. \quad (7)$$

Учитывая, что

$$I_i = \frac{1}{U_i} (P_i \cos \psi_{ui} + jQ_i \sin \psi_{ui}), \quad I''_i = \frac{1}{U_i} (P_i \sin \psi_{ui} - Q_i \cos \psi_{ui}),$$

выражения (4), (5) и (7) принимают вид

$$P_i = \frac{U_{\mathbb{B}}}{U_i} (P_i \cos \psi_{ui} + Q_i \sin \psi_{ui}) + \sum_{j=1}^M (R_{ij} A_{ij} + X_{ij} B_{ij}),$$

$$Q_i = -\frac{U_{\mathbb{B}}}{U_i} (P_i \sin \psi_{ui} - Q_i \cos \psi_{ui}) + \sum_{j=1}^M (X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}), \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned}
 A_{ij} &= \frac{1}{U_i U_j} \left[(P_i P_j + Q_i Q_j) \cos(\psi_{ui} - \psi_{uj}) + \right. \\
 &\quad \left. + (Q_i P_j - P_i Q_j) \sin(\psi_{ui} - \psi_{uj}) \right], \\
 B_{ij} &= \frac{1}{U_i U_j} \left[(P_i P_j + Q_i Q_j) \sin(\psi_{ui} - \psi_{uj}) + \right. \\
 &\quad \left. + (Q_i P_j - P_i Q_j) \cos(\psi_{ui} - \psi_{uj}) \right].
 \end{aligned} \tag{9}$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}
 \Pi_a = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left\{ \frac{R_{ij}}{U_i U_j} \left[(P_i P_j + Q_i Q_j) \cos(\psi_{ui} - \psi_{uj}) + \right. \right. \\
 \left. \left. + (Q_i P_j - P_i Q_j) \sin(\psi_{ui} - \psi_{uj}) \right] \right\}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Представим уравнения (8) в виде

$$\begin{aligned}
 \Phi_{P_i} &= P_i - \left[\frac{U_{Ei}}{U_i} (P_i \cos \psi_{ui} + Q_i \sin \psi_{ui}) + \sum_{j=1}^M (R_{ij} A_{ij} + X_{ij} B_{ij}) \right] = 0, \\
 \Phi_{Q_i} &= Q_i - \left[-\frac{U_{Ei}}{U_i} (P_i \sin \psi_{ui} - Q_i \cos \psi_{ui}) + \sum_{j=1}^M (X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}) \right] = 0
 \end{aligned} \tag{11}$$

или

$$\Phi_{P_i} = (P_i, Q_i, U_i, \psi_{ui}) = 0, \quad \Phi_{Q_i} = (P_i, Q_i, U_i, \psi_{ui}) = 0. \tag{12}$$

При этом

$$a_{ij} = \frac{R_{ij}}{U_i U_j} \cos(\psi_{ui} - \psi_{uj}), \quad b_{ij} = \frac{R_{ij}}{U_i U_j} \sin(\psi_{ui} - \psi_{uj}). \tag{13}$$

Необходимо отметить, что функцию потерь активной мощности также можно представить в виде

$$\Pi_a = \Pi_a(P_i, Q_i, U_i, \psi_{ui}). \tag{14}$$

Задача заключается в следующем.

Найти

$$\min \Pi_a = \min \Pi_a(P_i, Q_i, U_i, \psi_{ui}) \tag{15}$$

при

$$\Phi_{P_i} = (P_i, Q_i, U_i, \psi_{ui}) = 0, \quad \Phi_{Q_i} = (P_i, Q_i, U_i, \psi_{ui}) = 0. \tag{16}$$

Необходимое условие минимума функции (15) по реактивным мощностям стационных узлов можно представить в виде

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m} = \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m} \right) + \sum_{i=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_i} \frac{\partial U_i}{\partial Q_m} + \sum_{i=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial \psi_{ui}} \frac{\partial \psi_{ui}}{\partial Q_m} = 0$$

или

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_m} + \sum_{i=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_i} \frac{\partial U_i}{\partial Q_m} + \sum_{i=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial \psi_{ui}} \frac{\partial \psi_{ui}}{\partial Q_m} = 0. \tag{17}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1r} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{r1} & a_{r2} & \dots & a_{rr} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_r \end{bmatrix}$$

Искомые значения реактивных мощностей определяются в виде

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1r} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{r1} & a_{r2} & \dots & a_{rr} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_r \end{bmatrix} \quad (24)$$

Частные производные $\partial \Pi / \partial Q_m$, $\partial \Pi_2 / \partial U_1$ и $\partial \Pi_2 / \partial \psi_m$ определяются непосредственно из аналитического выражения потерь активной мощности (10):

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial Q_m} = 2 \sum_{j=1}^M (a_{mj} Q_j + b_{mj} P_j),$$

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial U_1} = -\frac{2}{U_1} \sum_{j=1}^M [(P_j P_j + Q_j Q_j) a_{1j} + (Q_j P_j - P_j Q_j) b_{1j}], \quad (25)$$

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial \psi_m} = -2 \sum_{j=1}^M [(P_j P_j + Q_j Q_j) b_{mj} + (Q_j P_j - P_j Q_j) a_{mj}].$$

Частные производные $\partial U_j / \partial Q_m$, $\partial \psi_m / \partial Q_m$ определяются с помощью уравнений установившегося режима или уравнения связи (11).

В данном случае можем написать:

$$\frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial Q_m} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial U_j} \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial \psi_{mj}} \frac{\partial \psi_{mj}}{\partial Q_m} = 0,$$

$$\frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial Q_m} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial U_j} \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial \psi_{mj}} \frac{\partial \psi_{mj}}{\partial Q_m} = 0,$$
(26)

или в матричной записи:

$$\frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial U_j} \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial \psi_{mj}} \frac{\partial \psi_{mj}}{\partial Q_m} = -\frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial Q_m},$$

$$\frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial U_j} \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial \psi_{mj}} \frac{\partial \psi_{mj}}{\partial Q_m} = -\frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial Q_m}.$$
(27)

Система уравнений (27) в матричной записи имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial U_j} & \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial \psi_{mj}} \\ \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial U_j} & \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial \psi_{mj}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} \\ \frac{\partial \psi_{mj}}{\partial Q_m} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial Q_m} \\ \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial Q_m} \end{bmatrix} \quad (28)$$

С учетом (28) определяются искомые частные производные:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial U_j}{\partial Q_m} \\ \frac{\partial \psi_m}{\partial Q_m} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_p}{\partial U_j} & \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial \psi_m} \\ \frac{\partial \phi_q}{\partial U_j} & \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial \psi_m} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial Q_m} \\ \frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial Q_m} \end{bmatrix} \quad (29)$$

Частные производные, входящие в квадратную матрицу и правую часть матричного уравнения (28), определяются в следующем виде:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $j = i$:

$$\frac{\partial \phi_p}{\partial U_i} = \frac{U_i}{U_i^2} (P_i \cos \psi_m + Q_i \sin \psi_m) + \frac{1}{U_i} \sum_{j=1}^M (R_{ij} A_{ij} + X_{ij} B_{ij}), \quad (30)$$

$$\frac{\partial \phi_q}{\partial U_i} = -\frac{U_i}{U_i^2} (P_i \sin \psi_m - Q_i \cos \psi_m) + \frac{1}{U_i} \sum_{j=1}^M (X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}),$$

$$\frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial \psi_m} = \frac{U_i}{U_i} (P_i \sin \psi_m - Q_i \cos \psi_m) +$$

$$+ \sum_{j=1}^M [(P_i P_j + Q_i Q_j)(b_{ij} - c_{ij}) - (Q_i P_j - P_i Q_j)(a_{ij} - d_{ij})],$$

$$\frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial \psi_m} = \frac{U_i}{U_i} (P_i \cos \psi_m + Q_i \sin \psi_m) +$$

$$+ \sum_{j=1}^M [(P_i P_j + Q_i Q_j)(a_{ij} + d_{ij}) - (Q_i P_j - P_i Q_j)(b_{ij} + c_{ij})],$$

где

$$c_{ij} = \frac{X_{ij}}{U_i U_j} \cos(\psi_m - \psi_{mj}); \quad d_{ij} = \frac{X_{ij}}{U_i U_j} \sin(\psi_m - \psi_{mj}); \quad (31)$$

- при разных индексах, т.е. когда $j \neq i$:

$$\frac{\partial \phi_p}{\partial U_j} = \frac{1}{U_j} (R_{ij} A_{ij} + X_{ij} B_{ij}),$$

(32)

$$\frac{\partial \phi_q}{\partial U_j} = \frac{1}{U_j} (X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}).$$

$$\frac{\partial \phi_p}{\partial \psi_m} = -[(P_i P_j + Q_i Q_j)(b_{ij} - c_{ij}) - (Q_i P_j - P_i Q_j)(a_{ij} - d_{ij})],$$

$$\frac{\partial \phi_q}{\partial \psi_m} = -[(P_i P_j + Q_i Q_j)(a_{ij} + d_{ij}) - (Q_i P_j - P_i Q_j)(b_{ij} + c_{ij})].$$

Затем определяем частные производные, входящие в правую часть выражения (22):

$$\frac{\partial \phi_{p_i}}{\partial Q_m} = -\frac{U_E}{U_m} \sin \psi_{um} - \frac{2Q_m}{U_m^2} R_{mm} - \sum_{j=1}^M [Q_j (a_{mj} + d_{mj}) + P_j (b_{mj} + c_{mj})] . \quad (33)$$

$$\frac{\partial \phi_{q_i}}{\partial Q_m} = 1 - \frac{U_E}{U_m} \cos \psi_{um} - \frac{2Q_m}{U_m^2} X_{mm} + \sum_{j=1}^M [Q_j (b_{mj} - c_{mj}) + P_j (a_{mj} - d_{mj})] .$$

Согласно постановке задачи, стационарные узлы являются узлами типа P-Q. Это означает, что относительно всех узлов неизвестными являются модули и аргументы комплексных напряжений.

Если для решения системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (11) применить метода Ньютона-Рафсона, то соответствующее рекуррентное выражение будет иметь следующий вид:

$$\begin{bmatrix} U_i \\ \psi_{ui} \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} U_i \\ \psi_{ui} \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_p}{\partial U_i} & \frac{\partial \phi_p}{\partial \psi_{ui}} \\ \frac{\partial \phi_q}{\partial U_i} & \frac{\partial \phi_q}{\partial \psi_{ui}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \phi_p \\ \phi_q \end{bmatrix} . \quad (34)$$

Нетрудно заметить, что квадратные матрицы выражений (29) и (34) одинаковые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С. К методам расчета рабочих режимов электрических сетей// Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1967. - №2. - С.37-41.
2. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Метод расчета установившегося режима электрической системы// Изв. вузов. Энергетика. - 1989. - №5. - С.12-18.
3. 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. Энергетика. - 1990. - №1. - С. 20-23.
4. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы// Электричество. - 1991. - №1. - С.6-11.
5. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Аракелян В.П. Упрощенный метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы// Электричество. - 1992. - №2. - С.9-14.

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН

РЕШЕНИЕ (Z-Y) - УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Մշակուցված է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի (Y-Z) մաթեմատիկական մոդել որպես առանկին ենթահամակարգերի մաթեմատիկական մոդելների հանրույթ: Գիտարկվում է այն դեպքը, երբ ինչպես անկախ կայանային, այնպես էլ բխողային հանգույցների համար որպես նախնական ինֆորմացիա տրվում են ակտիվ և րեակտիվի հզորությունները: Ստացված ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգերը լուծվում են Նյուտոն-Ռաֆսոնի իտերացիոն մաթեմատիկական ալգորիտով:

Построена (Z-Y)-математическая модель установившегося режима электро-энергетической системы в виде совокупности математических моделей отдельных подсистем. Рассматривается случай, когда как для независимых станционных, так и для нагрузочных узлов в качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности. В качестве математического аппарата для решения полученных систем нелинейных алгебраических уравнений применяется итерационный метод Ньютона-Рафсона.

Библиогр.: 5 назв.

A (Z-Y) mathematical model in steady-state conditions of an electric system has been designed as a set of mathematical models for separate subsystems. An event is viewed when active and reactive powers are given for both independent stational and loading units as initial information. Newton-Rafson iteration method is applied as a mathematical apparatus for solving obtained nonlinear algebraic equations.

Ref. 5.

В настоящее время развивается направление по расчету установившегося режима электроэнергетических систем (ЭЭС) при (Y-Z) - форме задания состояния сети [1, 2]. Однако в зависимости от структуры ЭЭС удобнее пользоваться также (Z-Y) - формой задания состояния сети [3].

В данной работе рассматривается решение (Z-Y) - формы уравнений установившегося режима ЭЭС методом декомпозиции [4,5].

Принимается следующая система индексов:

- для следующих узлов:

$$i, j = (i_1, j_1; i_2, j_2, \dots, i_N, j_N);$$

- для вновь полученных противоположных узлов:

$$\delta, \gamma = (\delta_1, \gamma_1; \delta_2, \gamma_2, \dots, \delta_N, \gamma_N);$$

$$\ell, s = (\ell_1, s_1; \ell_2, s_2, \dots, \ell_N, s_N).$$

При этом матричное уравнение отдельных подсистем можно представить в виде

$$\begin{cases} \dot{U}_{11} = \dot{U}_{101} + Z_{1,11} \dot{I}_{11}, \\ \dot{U}_{12} = \dot{U}_{102} + Z_{1,12} \dot{I}_{11}, \\ \dots \\ \dot{U}_{1n} = \dot{U}_{10n} + Z_{1,1n} \dot{I}_{11}. \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{cases} \dot{U}_{101} = \dot{U}_B + Z_{1,M_1} \cdot \Delta \dot{I}_{2,N} + Z_{1,S_1} \dot{I}_Y, \\ \dot{U}_{102} = \dot{U}_{M_1} + Z_{1,M_{12}} \cdot \Delta \dot{I}_{3,N} + Z_{1,S_2} \dot{I}_Y, \\ \dots \\ \dot{U}_{10n} = \dot{U}_{M_{1,N-1}} + Z_{1,M_{1n}} \cdot \Delta \dot{I}_{N,N} + Z_{1,S_n} \dot{I}_Y. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $Z_{1,M_1}, Z_{1,M_{12}}, \dots, Z_{1,M_{1n}}$ — последние столбцы матриц $Z_{1,11}, Z_{1,12}, \dots, Z_{1,1n}$; $Z_{1,S_1}, Z_{1,S_2}, \dots, Z_{1,S_n}$ — комплексные сопротивления вновь появившихся узлов из-за разрезания ЭЭС, соответственно принадлежащие 1, 2, ..., N подсистемам.

С другой стороны,

$$\begin{cases} \Delta \dot{I}_{2N} = \sum_{M_1} \dot{I}_{12} + \sum_{M_2} \dot{I}_{13} + \dots + \sum_{M_N} \dot{I}_{1N}, \\ \Delta \dot{I}_{3N} = \sum_{M_1} \dot{I}_{13} + \sum_{M_2} \dot{I}_{14} + \dots + \sum_{M_N} \dot{I}_{1N}, \\ \dots \\ \Delta \dot{I}_{N-1,N} = \sum_{M_N} \dot{I}_{1n}, \quad \Delta \dot{I}_{NN} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Комплексный ток \dot{I}_Y фигурирует во всех матричных уравнениях (2), является вектором токов разрезанных линий и определяется по формуле

$$\dot{I}_Y = (Z_{r\delta} - Z_{r\lambda})^{-1} \Delta \dot{U}_Y \quad (4)$$

Комплексное сопротивление $Z_{r\delta}$, входящее в (4), определяется на основании выражения

$$Z_{r\delta} = (Z_{r\gamma} - Z_{r\lambda}) - (Z_{\sigma\gamma} - Z_{r\lambda}) \quad (5)$$

$Z_{r\lambda}$ является диагональной матрицей и определяется в виде

$$Z_{r\lambda} = \begin{bmatrix} Z_{LЭП}^1 & & \vdots & \\ & Z_{LЭП}^2 & \vdots & \\ \dots & \dots & \vdots & \dots \\ & & \vdots & Z_{LЭП}^L \end{bmatrix} \quad (6)$$

где L — число разрезанных ЛЭП.

Значение $\Delta \dot{U}_Y$, входящее в выражение (4), определяется как алгебраическая сумма падений комплексных напряжений вновь полученных узлов во всех подсистемах:

$$\Delta \dot{U}_i = \Delta \dot{U}_{j_1} + \Delta \dot{U}_{j_2} + \dots + \Delta \dot{U}_{j_N}. \quad (7)$$

С целью дальнейшего изложения материала принимается следующая дополнительная система индексов для отдельных подсистем: $i_1, j_1 = (m_1, n_1; k_1, \ell_1)$, $i_2, j_2 = (m_2, n_2; k_2, \ell_2)$, ..., $i_N, j_N = (m_N, n_N; k_N, \ell_N)$.

При этом первое подматричное уравнение из (1) можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ \dot{U}_{\ell_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_1} \\ \dot{U}_{B_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1 n_1} & Z_{m_1 k_1} \\ Z_{\ell_1 n_1} & Z_{\ell_1 k_1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

В развернутой форме подматричное уравнение (8) представляется в виде

$$\dot{U}_{m_1} = \dot{U}_{B_1} + Z_{m_1 n_1} \dot{I}_{n_1} + Z_{m_1 k_1} \dot{I}_{k_1}. \quad (9)$$

$$\dot{U}_{\ell_1} = \dot{U}_{B_1} + Z_{\ell_1 n_1} \dot{I}_{n_1} + Z_{\ell_1 k_1} \dot{I}_{k_1}. \quad (10)$$

В уравнениях (9) и (10) $Z_{m_1 n_1}$ и $Z_{\ell_1 k_1}$ всегда являются неособенными квадратными подматрицами, а $Z_{m_1 k_1}$ и $Z_{\ell_1 n_1}$ в общем случае являются прямоугольными, в частном случае — квадратными подматрицами.

После определенного преобразования (9) и (10) и их повторного объединения в одно подматричное уравнение получим

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_1} \\ \dot{I}_{B_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1 n_1} & B_{m_1 \ell_1} \\ C_{k_1 n_1} & Y_{k_1 \ell_1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \dot{U}_{\ell_1} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

где

$$\begin{cases} Z_{m_1 n_1} = Z_{m_1 n_1} - Z_{m_1 k_1} Z_{\ell_1 k_1}^{-1} Z_{\ell_1 n_1}, \\ B_{m_1 \ell_1} = Z_{m_1 k_1} Z_{\ell_1 k_1}^{-1}, \\ C_{k_1 n_1} = -Z_{\ell_1 k_1}^{-1} Z_{\ell_1 n_1}, \\ Y_{k_1 \ell_1} = Z_{\ell_1 k_1}^{-1}. \end{cases} \quad (12)$$

Аналогичные подматричные уравнения можно написать для остальных подсистем. В частности, для последней N-й подсистемы можно написать следующее подматричное уравнение:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_N} \\ \dot{I}_{k_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_N} \\ \dot{I}_{B_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_N n_N} & B_{m_N \ell_N} \\ C_{k_N n_N} & Y_{k_N \ell_N} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_N} \\ \dot{U}_{\ell_N} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Нетрудно заметить, что элементы подматриц $B_{m \ell}$, $C_{k n}$ являются безразмерными комплексными величинами.

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

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ \dot{I}_{k_1} \\ \dots \\ \dot{U}_{m_N} \\ \dot{I}_{k_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{B_1} \\ \dot{I}_{B_1} \\ \dots \\ \dot{U}_{B_N} \\ \dot{I}_{B_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1 n_1} & B_{m_1 k_1} \\ C_{k_1 n_1} & Y_{k_1 k_1} \\ \dots & \dots \\ Z_{m_N n_N} & B_{m_N k_N} \\ C_{k_N n_N} & Y_{k_N k_N} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \dot{U}_{r_1} \\ \dots \\ \dot{I}_{n_N} \\ \dot{U}_{r_N} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Если из формы записи "напряжения-ток" (14) перейти к форме записи "активная-реактивная мощность", получим

$$\left. \begin{aligned} F_{pm} (I'_n, I''_n) &= 0, \\ f_{qm} (I'_n, I''_n) &= 0, \\ F_{pk} (U'_r, U''_r) &= 0, \\ F_{qk} (U'_r, U''_r) &= 0, \\ F_{pm_N} (I'_{n_N}, I''_{n_N}) &= 0, \\ F_{qm_N} (I'_{n_N}, I''_{n_N}) &= 0, \\ F_{pk_N} (U'_{r_N}, U''_{r_N}) &= 0, \\ F_{qk_N} (U'_{r_N}, U''_{r_N}) &= 0. \end{aligned} \right\} (15)$$

$$\left\{ F_{pm} (I'_n, I''_n) = \left\{ P_m - \left[P_{Bm} + f_{pm} (I'_n, I''_n) \right] \right\} = 0, \right. \quad (16)$$

$$\left\{ F_{qm} (I'_n, I''_n) = \left\{ Q_m - \left[Q_{Bm} + f_{qm} (I'_n, I''_n) \right] \right\} = 0, \right.$$

$$\left\{ F_{pk} (U'_r, U''_r) = \left\{ P_k - \left[P_{Bk} + f_{pk} (U'_r, U''_r) \right] \right\} = 0, \right. \quad (17)$$

$$\left\{ F_{qk} (U'_r, U''_r) = \left\{ Q_k - \left[Q_{Bk} + f_{qk} (U'_r, U''_r) \right] \right\} = 0, \right.$$

где

$$\left\{ \begin{aligned} f_{pm} (I'_n, I''_n) &= \sum_n \left[R_{nm} (I'_n I'_n + I''_n I''_n) + x_{nm} (I''_n I'_n - I'_n I''_n) \right], \\ f_{qm} (I'_n, I''_n) &= \sum_n \left[x_{nm} (I'_n I'_n + I''_n I''_n) - R_{nm} (I''_n I'_n - I'_n I''_n) \right], \end{aligned} \right. \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{aligned} f_{pk} (U'_r, U''_r) &= \sum_r \left[q_{kr} (U'_r U'_r + U''_r U''_r) + b_{kr} (U''_r U'_r - U'_r U''_r) \right], \\ f_{qk} (U'_r, U''_r) &= \sum_r \left[q_{kr} (U'_r U'_r - U''_r U''_r) - b_{kr} (U'_r U''_r + U''_r U'_r) \right]. \end{aligned} \right. \quad (19)$$

С другой стороны,

$$\begin{cases} P_{Bm} = U_{B_1}' I_m' + U_{B_1}'' I_m'' + \sum_j (B_{m_j}' T_{m_j}' + B_{m_j}'' T_{m_j}''), \\ Q_{Bm} = -U_{B_1}' I_m'' + U_{B_1}'' I_m' + \sum_j (B_{m_j}'' T_{m_j}' - B_{m_j}' T_{m_j}''). \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} P_{Bk} = I_{B_1}' U_k' + I_{B_1}'' U_k'' + \sum_n (C_{kn}' L_{kn}' + C_{kn}'' L_{kn}''), \\ Q_{Bk} = I_{B_1}' U_k'' - I_{B_1}'' U_k' + \sum_n (C_{kn}' L_{kn}'' - C_{kn}'' L_{kn}'). \end{cases} \quad (21)$$

В выражениях (20) и (21) приняты следующие обозначения:

$$T_{m_j}' = U_{j_1}' I_m' + U_{j_1}'' I_m'', \quad (22)$$

$$T_{m_j}'' = U_{j_1}' I_m'' - U_{j_1}'' I_m',$$

$$L_{kn}' = U_{k_1}' I_n' + U_{k_1}'' I_n'',$$

$$L_{kn}'' = U_{k_1}' I_n'' - U_{k_1}'' I_n'. \quad (23)$$

Индексы (m, n) и (k, ℓ) определяются в виде

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

$$k, \ell = (k_1, \ell_1; k_2, \ell_2, \dots, k_N, \ell_N).$$

После установления аналитических выражений необходимых функций можно перейти к решению системы нелинейных алгебраических уравнений отдельных подсистем и, следовательно, всей системы в целом. Полученные системы нелинейных алгебраических уравнений решаются методом Ньютона-Рафсона.

Для первой подсистемы рекуррентное выражение, вытекающее из метода Ньютона-Рафсона, принимает вид

$$\begin{bmatrix} I_{m_1}' \\ I_{m_1}'' \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} I_{m_1}' \\ I_{m_1}'' \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{pm_1}}{\partial I_{n_1}'} & \frac{\partial F_{pm_1}}{\partial I_{n_1}''} \\ \frac{\partial F_{qm_1}}{\partial I_{n_1}'} & \frac{\partial F_{qm_1}}{\partial I_{n_1}''} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} F_{pm_1}(I_{n_1}', I_{n_1}'') \\ F_{qm_1}(I_{n_1}', I_{n_1}'') \end{bmatrix}, \quad (24)$$

$$\begin{bmatrix} U_{k_1}' \\ U_{k_1}'' \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} U_{k_1}' \\ U_{k_1}'' \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{pk_1}}{\partial U_{\ell_1}'} & \frac{\partial F_{pk_1}}{\partial U_{\ell_1}''} \\ \frac{\partial F_{qk_1}}{\partial U_{\ell_1}'} & \frac{\partial F_{qk_1}}{\partial U_{\ell_1}''} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} F_{pk_1}(U_{\ell_1}', U_{\ell_1}'') \\ F_{qk_1}(U_{\ell_1}', U_{\ell_1}'') \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Для N -й подсистемы соответственно получим

$$\begin{bmatrix} I_{m_N}' \\ I_{m_N}'' \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} I_{m_N}' \\ I_{m_N}'' \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{pm_N}}{\partial I_{n_N}'} & \frac{\partial F_{pm_N}}{\partial I_{n_N}''} \\ \frac{\partial F_{qm_N}}{\partial I_{n_N}'} & \frac{\partial F_{qm_N}}{\partial I_{n_N}''} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} F_{pm_N}(I_{n_N}', I_{n_N}'') \\ F_{qm_N}(I_{n_N}', I_{n_N}'') \end{bmatrix}. \quad (26)$$

$$\begin{bmatrix} U'_{k_N} \\ U''_{k_N} \end{bmatrix}^{T+1} = \begin{bmatrix} U'_{k_N} \\ U''_{k_N} \end{bmatrix}^T - \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{pk_N}}{\partial U'_{l_N}} & \frac{\partial F_{pk_N}}{\partial U''_{l_N}} \\ \frac{\partial F_{qk_N}}{\partial U'_{l_N}} & \frac{\partial F_{qk_N}}{\partial U''_{l_N}} \end{bmatrix}^{T+1} \times \begin{bmatrix} F_{pk_N}(U'_{l_N}, U''_{l_N}) \\ F_{qk_N}(U'_{l_N}, U''_{l_N}) \end{bmatrix} \quad (27)$$

Аналитические выражения частных производных, входящих в вышеприведенные матрицы Якоби, определяются следующим образом:

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{pm_i}}{\partial I'_{m_i}} &= - \left[\frac{\partial P_{pm_i}}{\partial I'_{m_i}} + \sum_{n_i} (R_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i} - x_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i}) \right], \\ \frac{\partial F_{pm_i}}{\partial I''_{m_i}} &= - \left[\frac{\partial P_{pm_i}}{\partial I''_{m_i}} + \sum_{n_i} (R_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i} + x_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i}) \right], \\ \frac{\partial F_{qm_i}}{\partial I'_{m_i}} &= - \left[\frac{\partial Q_{qm_i}}{\partial I'_{m_i}} + \sum_{n_i} (R_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i} + x_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i}) \right], \\ \frac{\partial F_{qm_i}}{\partial I''_{m_i}} &= - \left[\frac{\partial Q_{qm_i}}{\partial I''_{m_i}} + \sum_{n_i} (R_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i} - x_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i}) \right]. \end{aligned} \quad (28)$$

• при разных индексах, т.е. когда $n_i \neq m_i$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{pm_i}}{\partial I'_{n_i}} &= - (R_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i} + x_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i}), \\ \frac{\partial F_{pm_i}}{\partial I''_{n_i}} &= - (R_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i} - x_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i}), \\ \frac{\partial F_{qm_i}}{\partial I'_{n_i}} &= - (-R_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i} + x_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i}), \\ \frac{\partial F_{qm_i}}{\partial I''_{n_i}} &= - (R_{m_i, n_i} \cdot I'_{n_i} + x_{m_i, n_i} \cdot I''_{n_i}). \end{aligned} \quad (29)$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения типа (25), определяются в виде

• при одинаковых индексах, т.е. когда $l_i = k_i$:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial F_{pk}}{\partial U'_k} &= \left[\frac{\partial P_{pk}}{\partial U'_k} + \sum_{i_1}^{\Gamma_1+H_1} (g_{k,i_1} \cdot U'_{i_1} - b_{k,i_1} \cdot U''_{i_1}) \right], \\
\frac{\partial F_{pk}}{\partial U''_k} &= \left[\frac{\partial P_{pk}}{\partial U''_k} + \sum_{i_1}^{\Gamma_1+H_1} (g_{k,i_1} \cdot U''_{i_1} + b_{k,i_1} \cdot U'_{i_1}) \right], \\
\frac{\partial F_{qk}}{\partial U'_k} &= \left[\frac{\partial Q_{qk}}{\partial U'_k} + \sum_{i_1}^{\Gamma_1+H_1} (-g_{k,i_1} \cdot U''_{i_1} - b_{k,i_1} \cdot U'_{i_1}) \right], \\
\frac{\partial F_{qk}}{\partial U''_k} &= \left[\frac{\partial Q_{qk}}{\partial U''_k} + \sum_{i_1}^{\Gamma_1+H_1} (g_{k,i_1} \cdot U'_{i_1} - b_{k,i_1} \cdot U''_{i_1}) \right].
\end{aligned} \tag{30}$$

- при разных индексах, т.е. когда $i_1 \neq k_1$:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial F_{pk_1}}{\partial U'_{i_1}} &= -(g_{k,i_1} \cdot U'_{i_1} + b_{k,i_1} \cdot U''_{i_1}), \\
\frac{\partial F_{pk_1}}{\partial U''_{i_1}} &= -(g_{k,i_1} \cdot U''_{i_1} - b_{k,i_1} \cdot U'_{i_1}), \\
\frac{\partial F_{qk_1}}{\partial U'_{i_1}} &= -(g_{k,i_1} \cdot U''_{i_1} - b_{k,i_1} \cdot U'_{i_1}), \\
\frac{\partial F_{qk_1}}{\partial U''_{i_1}} &= -(g_{k,i_1} \cdot U'_{i_1} + b_{k,i_1} \cdot U''_{i_1}).
\end{aligned} \tag{31}$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}
\frac{\partial P_{Bm}}{\partial I'_m} &= -\frac{\partial Q_{Bm}}{\partial I'_m} = U'_m + \sum_{i_1}^{\Gamma_1+H_1} (B'_{m,i_1} \cdot U'_{i_1} - B''_{m,i_1} \cdot U''_{i_1}), \\
\frac{\partial P_{Bm}}{\partial I''_m} &= \frac{\partial Q_{Bm}}{\partial I''_m} = U''_m + \sum_{i_1}^{\Gamma_1+H_1} (B'_{m,i_1} \cdot U''_{i_1} + B''_{m,i_1} \cdot U'_{i_1}), \\
\frac{\partial P_{Bk}}{\partial U'_k} &= \frac{\partial Q_{Bk}}{\partial U''_k} = I'_k + \sum_n^{\Gamma} (C'_{k,n} \cdot I'_n - C''_{k,n} \cdot I''_n), \\
\frac{\partial P_{Bk}}{\partial U''_k} &= -\frac{\partial Q_{Bk}}{\partial U'_k} = I''_k + \sum_n^{\Gamma} (C'_{k,n} \cdot I''_n + C''_{k,n} \cdot I'_n).
\end{aligned} \tag{32}$$

После установления аналитических выражений частных производных можно перейти к организации итерационного процесса. Причем итерация сначала организуется внутри первой подсистемы, затем между радиально связанными подсистемами [1,5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Этмскчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество. - 1991. - №1. - С.6-13.
2. Nageendra P.S., Prakasa K.S., Nanda J.J. A novel hybrid load flow method // IEEE Trans., Pas - 10, 1981, №1. - P. 303-308.
3. Бабалян Р.А. Расчет установившегося режима электроэнергетической системы при P-Q типе станционных узлов // Изв. НАН Армении и ГИУА. Сер. ТН. 1996. №1. - С. 6-11.
4. Хачатрян В.С. Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР Энергетика и транспорт. - 1974. № 4. - С.36-43.
5. Хачатрян В.С. Решение уравнений установившегося режима больших электрических систем с применением метода декомпозиции // Электричество. - 1976. - №6. - С. - 12-19.

ГИУА

7.01.1997

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН). т. L, № 2, 1997, с. 103-107.

УДК 622.691.4: 657.471

ЭНЕРГЕТИКА

Ю.А. КАЗАРЯН, Г.Д. БЕДЖАНЯН, М.Р. АРУТЮНОВ

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТАРИФНЫХ СТАВОК ЗА ТРАНЗИТНЫЕ ПОСТАВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Քաղկան գազի տարանցումային ներուժումը եանգում է փոխադարձ հաշվարկների հետ կապված դժվարությունների, որոնք առաջանում են մասնակցող կողմերին վերաբերող հիմնավորված և ընդունելի սակագների որոյթների բացակայության պատճառով: Աշակված է մեթոդական մոտեցում և կատարված է թուրքմենական բնական գազը Արևմտանի տարանցող Հս. ստանի տարանցումային ներուժման սակագների որոյթների մոդելային կառուցումը:

В связи с трудностями во взаимных расчетах за транзит и поставку природного газа, возникающими из-за отсутствия обоснованных и приемлемых для сторон тарифных ставок, предложен методический подход и выполнены модельные расчеты тарифной ставки на примере транзитных поставок туркменского природного газа через территорию Грузии в Армению.

Տաբլ. 3. Ընթացք.: 3 կառ.

In connection with difficulties that appear in mutual calculations for transit and delivery of natural gas because of absence of valid and acceptable for sides tariff rates, in this work the methodical approach has been elaborated and model calculations of tariff rates have been performed on the example of Turkmen natural gas transit deliveries to Armenia over territory of Georgia.

Table. 3. Ref. 3.

Управление потоками природного газа в газотранспортных системах (ГТС) на современном этапе включает новые требования к эксплуатации транзитных коридоров национальных ГТС, объединенных единой системой

газоснабжения стран СНГ. Транспортировка и поставка природного газа в независимые государства в условиях рыночной экономики связаны с трудностями, возникающими из-за отсутствия научно обоснованных и приемлемых для стран СНГ тарифных ставок. С целью решения этой важной и актуальной задачи предложены методический подход и модель расчета тарифных ставок, апробированные на примере транзитных поставок туркменского природного газа в Армению через территорию Грузии.

Для обоснованного расчета тарифной ставки в данной работе рассмотрен методический подход, ориентированный на учет стоимости строительства и эксплуатации, а также получения необходимой прибыли. Бизнес в рыночной экономике основывается на возврате наличных денежных средств [1]. Характеристиками прибыльности являются реальные затраты и результаты, включающие выручку от реализации газа, поток наличных денег и др. [2]. Согласно предложенному подходу, критерии эффективности должны основываться на стоимостных показателях сооружения и эксплуатации газопроводов. Удельные показатели капитального строительства дифференцируются по регионам (странам СНГ) с учетом индексов инфляции и переводного курса доллара. Величины капиталовложений для функционирующей ГТС определяются в соответствии с подаваемым объемом газа от проектной производительности, т.е. принимаются в доле от общей стоимости пропорционально загрузке системы транспорта газа. Для вновь сооружаемых ГТС расчет инвестиций выполняется на основе намечаемых объемов расширения производственных мощностей по участкам маршрута подачи газа. Далее рассчитываются интегральные затраты в целом по данному маршруту. Издержки производства определяются на базе укрупненных показателей эксплуатационных затрат по объектам транспорта газа с учетом современных факторов их формирования и в доле от расчетных капиталовложений. Расход газа на собственные нужды рассчитывается согласно нормам технологического проектирования [3], включающим расчет расхода топливного газа и расхода газа на технологические нужды и технические потери линейных участков и компрессорных станций (КС) газопровода. На основе расчетных капиталовложений и эксплуатационных расходов для рассматриваемого маршрута транспорта газа по странам-транзитерам определяются тарифные ставки с учетом получения необходимой прибыли. Для действующих ГТС норма прибыли принимается в доле (заданный уровень рентабельности производства) от себестоимости транспорта газа, для вновь строящихся - в доле от величины инвестиций в сооружение системы. Тарифные ставки увеличиваются на величину налогов (аквиз, НДС и др), действующих на территории страны-транзитера.

Модель для определения тарифной ставки включает следующие расчетные формулы.

1. Капиталовложения в линейную часть газопровода:

$$K_{\Sigma}^{ли} = \sum YKB_i^{ли} \cdot L_i \cdot D_i,$$

где $K_{\Sigma}^{ли}$ – суммарные капиталовложения в линейную часть газопровода;
 i – индексе нитки газопровода; $YKB_i^{ли}$ – удельные капиталовложения на 1 км газопровода i -й нитки (с учетом специфики местности); L_i – длина i -й нитки газопровода; D_i – доля загрузки линейной части газопровода.

2. Капиталовложения в компрессорные станции газопровода:

$$K_{\Sigma}^{KC} = \sum_1 YKB_j^{KC} N_j D_j,$$

где K_{Σ}^{KC} — суммарные капвложения в компрессорные станции; j — индекс компрессорной станции газопровода; YKB_j^{KC} — удельные капвложения на 1 МВт мощности j -й компрессорной станции; N_j — установленная мощность j -й компрессорной станции; D_j — доля загрузки j -й компрессорной станции.

3. Капиталовложения в транспорт 1000 м³ газа (без учета стоимости на создание резервов):

$$K_{\Sigma} = (K_{\Sigma}^{ЛЧ} + K_{\Sigma}^{КС}) / Q_{П},$$

где $Q_{П}$ — объем подачи газа.

4. Эксплуатационные затраты на транспорт 1000 м³ газа:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = [K_{\Sigma}^{ЛЧ} AO^{ЛЧ} + K_{\Sigma}^{КС} AO^{КС} + Q_{СН} + K_{\Sigma}^{ЛЧ} ПЗ^{ЛЧ} + K_{\Sigma}^{КС} ПЗ^{КС}] / Q_{П},$$

где $AO^{ЛЧ}$, $AO^{КС}$ — амортизационные отчисления для линейной части и для компрессорных станций; $Q_{СН}$ — стоимость газа, используемого на собственные нужды газопровода; $ПЗ^{ЛЧ}$, $ПЗ^{КС}$ — прочие затраты для линейной части и для компрессорных станций.

5. Стоимость газа на собственные нужды:

$$Q_{СН} = Q_{ТТ} Ц_{ТТ},$$

где $Q_{ТТ}$ — объем топливного газа для подачи $Q_{П}$; $Ц_{ТТ}$ — цена топливного газа.

6. Стоимость транспорта 1000 м³ газа: $СТ = \mathcal{E}_{\Sigma} + П$, причем для функционирующих газопроводов: $П = НП \mathcal{E}_{\Sigma}$; для вновь строящихся газопроводов $П = \eta K_{\Sigma}$, где $П$ — прибыль от транспортировки газа; $НП$ — норма прибыли (заданный уровень рентабельности производства); η — доля капиталовложений в стоимости транспорта газа.

7. Тарифная ставка на транспорт газа (1000 м³ на 100 км):

$$T = 100 СТ / L,$$

с учетом налогов: $T = 100 СТ(1 + 0,01 Н) / L$,

где $СТ$ — стоимость транспорта 1000 м³ газа; L — протяженность трассы газопровода; $Н$ — налоги (на прибыль, НДС и др.).

На основе разработанной модели выполнены расчеты по определению тарифной ставки на транспортировку природного газа через Грузию в Армению с учетом прогнозных данных. Прогноз экономической среды сводится к установлению факторов и тенденций, влияющих на динамику индексов цен на сырье, материалы, оборудование и др., стоимостных показателей, эскалации инфляционных процессов и обоснованию исходных данных, используемых в расчетах тарифов. Прогнозная информация, характеризующая экономическую среду, приведена в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчета тарифной ставки

Наименование участка газопровода	Рабочее давление, МПа	Длина, км	Диаметр трубы, мм	Число КС, ед.	Установ. мощность, КС, МВт	Проект. произв. млрд. м ³ /год
Чмб-Сагурамо-Ич	5,4	148	1220	1	18,9	12
Сагурамо-Кр. Мост	5,4	104	1020	-	-	10

Таблица 2

Показатели	Единица измерения	По сост. на 1995г.
Удельные показатели сооружения 1 км газопровода при P=5,4 МПа:		
- диаметром 1220 мм	млн ам. долл./км	0,41
- диаметром 1020 мм	млн ам. долл./км	0,35
Коэффициент удорожания для горной местности	-	1,80
Удельные капиталовложения на 1 МВт мощности КС	млн ам. долл./км	1,07
Объем поставок природного газа	млрд. м ³ /год	2,50
Объем газа на собственные нужды	млн. м ³	70
Цена топливного газа	ам.долл./10 ³ м ³	70
Амортизационные отчисления для линейной части	%	3
Прочие затраты для линейной части	%	1,5
Прочие затраты для КС	%	5
Доля капиталовложений в стоимости транспорта газа	%	15
Налоги (на прибыль, НДС и др.)	%	37

Экономические показатели для расчета тарифа на транзит газа по территории Грузии, полученные путем модельных расчетов на ПЭВМ, представлены в табл. 3 (норма прибыли принята в доле от величины инвестиций в сооружение газопровода).

Таблица 3
Транспорт природного газа до границы Армении через территорию Грузии (Тли-Сагурамо-Красный Мост). Объем газа - 2,5 млрд. м³/год

№	Вид расчетной операции	Всего	Составные части расчетов				
			Линейная часть		КС		
1	Капитальные вложения в транспорт 1000 м ³ природного газа (ам.долл./1000м ³)	15,54	12,73		2,81		
2	Эксплуатационные затраты на транспорт 1000 м ³ природного газа (ам.долл./1000м ³)	2,92	Амортизация		Газ на СН	Прочие затраты	
			линейная часть	КС		линейная часть	КС
			0,38	0,25	1,96	0,19	0,14
3	Тарифные ставки на транспорт природного газа	-	Протяж.	Стоимость	Тариф		
					без налога	с налогом	
			км	ам.долл./1000м ³	ам.долл./1000м ³ · 100 км		
			252	5,26	2,09	2,86	

ЛИТЕРАТУРА

1. Единая система газоснабжения. Проблемы перехода к рынку /Под ред. Ю.И.Боксермана, В.А. Смирнова; ИНЭИ РАН, МТЭА - М.: Энергоцентр, 1993. - 224 с.
2. Временные методические указания по оценке эффективности инвестиционных проектов с учетом спецификации газовой промышленности и деятельности РАО "Газпром" /ОНИЭП ВНИИГаз (ВНИИГазпром). - М., 1995. - 44 с.
3. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы. ОНТП 51-1-85 /Мингазпром. - М., 1985. - 220 с.

ЕРЦ ОНИЭП ВНИИГаз

10.07.1996

Г.А. КАРДАШЯН

РАСШИРЕНИЕ ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЛОКАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТАЛЕЙ

Էլեկտրատեխնիկական սրբազատների սեղային սիրությունների լայն դինամիկական սահմաններում մագնիսական դաշտի H բարձրացման Δz գրիտ չափման համար մշակված է եղանակ, որ սկզբնական շրջանում H -ը գնահատվում է մագնիսացման հոսանքով, իսկ բարձր հարմարությունների առաջացման դեպքում, H -ըլի տանգենցիալ կերպով ուղիղի միջոցով: Նման եղանակով H -ի չափման սխալները չի գերազանցում 2%-ին:

Для точного измерения напряженности магнитного поля в локальных областях электротехнических сталей в широком динамическом режиме перемагничивания разработаны способ и прибор, где при слабых полях напряженность измеряется по намагничивающему току, а при появлении высших гармоник — по эффекту Холла

Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

A technique and a device have been developed for precise measurement of magnetic field intensity in local domains of laminated sheet steel in an extensive dynamic mode of magnetization reversal. In the presence of weak fields the intensity is measured through magnetization current, while in the presence of higher harmonic—through tangential Hall converters, the error of intensity measurement not exceeding 2%.

Ил. 1. Ref. 5.

В устройствах, рекомендованных стандартом [1], напряженность магнитного поля ферромагнитных материалов определяется законом полного тока

$$H = IW / l_{cp}, \quad (1)$$

где H — напряженность магнитного поля образца, А/м; I — намагничивающий ток, А; W — число витков намагничивающей обмотки; l_{cp} — средняя длина магнитной силовой линии, м.

Требуется произвести пересчет ϵ в зависимости от степени намагниченности, причем соответствующая точность измерения гарантируется при индукциях до 1,5 или 1,7 Тл, так как при более высоких значениях форма кривой магнитной индукции сильно искажается. Для однозначности результатов измерений магнитных параметров ферромагнитных материалов разработаны устройство, обеспечивающее синусоидальный режим перемагничивания [2-4], а также метрологически аттестованный магнитоизмерительный прибор Тт 2.739.009, где напряженность магнитного поля в локальных областях электротехнических сталей измеряется с помощью тангенциальных преобразователей Холла с погрешностью измерения 2 % при индукциях от 0,6...0,7 Тл до 2,1 Тл, с коэффициентом нелинейных искажений, не превышающих 2...5 %. При

этом магнитная индукция B по всему поперечному сечению S материала неизменна, поэтому магнитный поток определяется как

$$\Phi = BS \quad (2)$$

В воздушном пространстве напряженность магнитного поля и индукция связаны между собой [5]

$$B = \mu_0 H, \quad (3)$$

где μ_0 — магнитная постоянная, равная $4\pi 10^{-7}$ Гн/м.

Выражение (3) позволяет определить напряженность магнитного поля при перпендикулярном расположении тангенциального преобразователя Холла на поверхности испытуемого материала. Действительно, при перпендикулярном расположении полупроводниковой пластины (преобразователя Холла) в поле магнитной индукции B при рабочем токе I во вторичных выводах пластины возникает ЭДС

$$E_x = \frac{R_x B I_x}{d} = (I_x \cdot B) = (S_x \cdot B), \quad (4)$$

где R_x — постоянная Холла; d — толщина полупроводниковой пластины; S_x — чувствительность преобразователя Холла при номинальном токе I_x .

Напряженность магнитного поля из (3) и (4) равна

$$H(t) = \frac{B(t)}{\mu_0} = \frac{E_x(t)}{\mu_0 S_x} \quad (5)$$

Однако из-за малой входной чувствительности S_x преобразователя Холла выражение (4) не обеспечивает точного измерения напряженности магнитного поля при индукциях ниже 0,6...0,7 Тл. Поэтому весь диапазон измерения разбивается на два участка. Первый — это участок слабых полей, где намагничивающий ток еще не искажен и поле, созданное намагничивающим током, полностью замыкается через испытуемый образец. Во втором участке, где намагничивающий ток искажается, появляются высшие гармоники, и созданный магнитный поток не полностью замыкается через испытуемый материал.

Процесс осуществляется по блок-схеме (рис.). Намагничивание испытуемого ферромагнитного образца происходит по последовательно соединенной замкнутой цепочке, состоящей из задающего генератора 1, дифференциального усилителя 2, интегратора 3, усилителя мощности 4, резистора R , намагничивающей обмотки 5, П-образного магнитопровода 6, испытуемого образца 7 и измерительной обмотки 8. На входы дифференциального усилителя подается ЭДС $e(t)$ из задающего генератора 1 и $e_2(t)$ измерительной обмотки 8. При этом напряженность магнитного поля в испытуемом образце 7 определяется в виде [2]

$$H(t) = \frac{W_1 K}{R\tau} \int_0^t (e_1 - e) dt = \frac{W_1 K}{R\tau} \left[-W_2 SB(t) + W_2 SB(0) - \int_0^t e dt \right], \quad (6)$$

где K — коэффициент передачи усилителя мощности 4; τ — постоянная времени интегратора; l — средняя длина магнитной силовой линии; W_1, W_2 — количество витков намагничивающей и измерительной обмотки соответственно; S — поперечное сечение испытуемого материала.

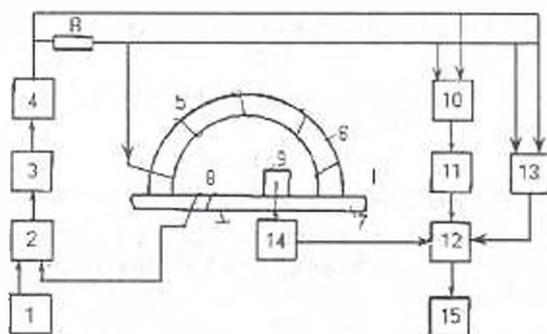


Рис.

Как видно из (6), имеет место отрицательная обратная связь, так как росту индукции соответствует уменьшение напряженности магнитного поля. Дифференцируя (6) по времени, с учетом

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dH}{dB} \frac{dB}{dt} = - \frac{e_2(t)}{\mu_0 \mu_d W_2 S}$$

получим

$$e_2(t) - e(t) = - \frac{l R \tau}{W_1 K \mu_0 \mu_d W_2 S} e_2(t). \quad (7)$$

Анализ (7) показывает, что для исключения влияния магнитной проницаемости материала необходимо осуществить условие

$$\frac{l R \tau}{W_1 W_2 K S \mu_0 \mu_{d \min}} \ll 1. \quad (8)$$

При этом ЭДС $e_2(t)$ на выводах измерительной обмотки будет стремиться к заданной ЭДС $e(t)$, т.е. для получения заданной формы кривой индукции в испытуемом материале ЭДС генератора должна быть равна

$$e(t) = - W_2 S \frac{dB}{dt}. \quad (9)$$

Таким образом, независимо от степени намагниченности в испытуемом образце обеспечивается заданная форма кривой магнитной индукции [2, 3].

При слабых магнитных полях чувствительность преобразователя 9 напряженности магнитного поля низка, форма кривой намагничивающего тока на выходе резистора R остается синусоидальной. При этом режективный фильтр 10 компенсирует первую гармонику намагничивающего напряжения, пропорционального намагничивающему току, и на выходах режективного фильтра 10 и усилителя 11 напряжение отсутствует. В таком состоянии блок управления 12 через согласующий блок 13 пропускает напряжение, пропорциональное намагничивающему току, в котором отсутствуют высшие гармоники (намагничивающий ток без потоков рассеяния, выпучивания и т.д. пропорционален напряженности магнитного поля в испытуемом ферромагнитном образце, где пропорциональность превращается в равенство благодаря согласующему блоку 13). При увеличении уровня намагниченности на входе режективного фильтра 10 образуется искаженное напряжение, содержащее высшие гармоники, которое можно представить рядом Фурье в виде

$$u_{11}(t) = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots + U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k). \quad (10)$$

В силу симметричности характеристик, что обеспечивается замкнутым контуром намагничивающей системы (1-8), практически получается напряжение, содержащее только нечетные гармоники:

$$u_{11}(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + U_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5) + \dots \quad (11)$$

Режективный фильтр не пропускает (заграждает) первую гармонику, а пропускает только высшие гармоники, и на входе усилителя 11 остается напряжение высших гармоник:

$$u_{11}^*(t) = U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + U_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5) + \dots \quad (12)$$

Очевидно, что в связи с повышением намагниченности испытуемого образца появляются потоки рассеяния, выпучивания и т.д., при этом изменяются как амплитудные значения гармоник U_{km} , так и их сдвиг фаз ψ_k . Естественно, что напряжение ряда, следовательно, и намагничивающий ток, не могут быть пропорциональны напряженности магнитного поля испытуемого материала. Поэтому искаженный сигнал $Ku_{11}^*(t)$ от выхода усилителя 11 подается на управляющий вход блока управления 12, который через согласующий блок 14 подключается к выходу преобразователя Холла 9, откуда напряжение, пропорциональное напряженности магнитного поля в испытуемом феррообразце, фиксируется блоком измерения напряженности магнитного поля 15.

Второй режим работы прибора подробно анализирован в [2-4], а первый режим работы полностью соответствует требованиям стандарта [1].

Таким образом, для точного измерения напряженности магнитного поля в локальных областях электротехнических сталей в широком динамическом режиме перематывания разработаны способ и прибор, где при слабых полях H измеряется по намагничивающему току, а при появлении высших гармоник - по эффекту Холла.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12119-80. Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 18 с.
2. Кардашян Ж.А. О возможности обеспечения синусоидальных режимов перематывания в локальных областях электротехнических сталей // Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1981. - № 6. - С. 67-72.
3. А.с. 635442 СССР, М. Кл.⁷. G 01 R 33/12. Устройство для измерения удельной магнитной энергии ферромагнитных материалов / Ж.А. Кардашян (СССР). - № 2508876/18-21; Заяв. 20.07.77; Оpubл. 30.11.78, Бюл. № 44.
4. Кардашян Ж.А., Маслов Ю.Н. Измерения удельных потерь ферромагнитных материалов при близких к насыщению индукциях // Измерительная техника. - 1980. - № 3. - С. 24-26.
5. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Часть 2. - М.: Энергия, 1970. - 232 с.

Г.Л. АРЕШЯН

АНАЛИЗ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ АСИМПТОТИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СИСТЕМ

Չնակերպված է բազմակապ համակարգերի էներգետիկական մատրիցների համարմունքային պայմանը: Առաջարկված է բազմակապ համակարգերի վերլուծության համար օգտագործել ասիմպտոտային համարժեք մատրիցներ: Տրվում են այդպիսի մատրիցների տարրերի հաշվարկի վերլուծական արտահայտություններ:

Сформулировано условие эквивалентности энергетических матриц многосвязных систем. Предложено использовать асимптотически эквивалентные матрицы для анализа многосвязных систем. Даются аналитические выражения для вычисления элементов таких матриц.

Библиогр.: 2 изв.

The condition of multilinkage system's energy matrices equivalence is formulated. It is proposed to use asymptotically equivalent matrices for the analysis of multivariable systems. Analytical formulae for calculation of the elements of such matrices are given.

Ref. 2

Анализ многосвязных систем с m входами и m выходами обычно проводится на базе квадратной $m \times m$ энергетической матрицы системы $E(\omega) = \{e_{ik}(\omega)\}$ ($i, k = 1, 2, \dots, m$). Используя $E(\omega)$, можно определить ряд критериев, проанализировать влияние межканальных связей на энергетические потоки в многосвязной системе, определить "удаленность" различных систем относительно базовой [1] и т.д. В настоящей работе предлагается провести анализ некоторых параметров многосвязной системы, заданной матрицей $E(\omega)$, с помощью системы, асимптотически эквивалентной заданной исходной системе.

Установим следующее необходимое и достаточное условие эквивалентности систем. Системы одинаковой размерности ($m \times m$) энергетически эквивалентны друг другу, если энергетические матрицы, описывающие их, подобны. Это означает, что у эквивалентных систем спектр (собственные значения) энергетических матриц одинаков.

Пусть диагональная матрица $D(\omega)$ подобна энергетической матрице $E(\omega)$. В этом случае диагональные элементы $d_i(\omega)$ матрицы $D(\omega)$ являются собственными значениями матрицы $E(\omega)$, а система, которая описывается матрицей $D(\omega)$, является "развязанной", в которой отсутствуют межканальные связи. В то же время она эквивалентна многосвязной системе, которой соответствует матрица $E(\omega)$. Собственные значения матрицы $E(\omega)$ определяются корнями характеристического уравнения m -й степени и при $m > 2$ могут быть определены только

численными методами. Однако известен аналитический метод построения асимптотически подобной матрицы $\hat{D}(\omega)$ для известной матрицы $E(\omega)$ [2]. Воспользуемся им для построения асимптотически эквивалентных систем.

Представим $E(\omega) = \{\ell_{ik}(\omega)\}$, $m \times m$ в виде суммы двух матриц $E(\omega) = \Lambda(\omega) + L(\omega)$. Диагональная матрица $\Lambda(\omega) = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ состоит из диагональных элементов матрицы $E(\omega)$ $\lambda_i = e_{ii}$. Квадратная матрица $L(\omega) = \{\ell_{ik}(\omega)\}$ $m \times m$ имеет диагональные элементы, равные нулю $\ell_{ii} = 0$, а остальные элементы равны соответствующим элементам матрицы $E(\omega)$: $\ell_{ik}(\omega) = c_{ik}(\omega)$, $i \neq k$. Матрица $\Lambda(\omega)$ соответствует многосвязной системе, в которой обрезаются (ликвидируются) все межканальные связи. Матрица $L(\omega)$ характеризует межканальные связи. При этом элементы диагональной матрицы $\hat{D}(\omega) = \text{diag}\{\hat{d}_1(\omega), \hat{d}_2(\omega), \dots, \hat{d}_m(\omega)\}$, которая асимптотически подобна матрице $E(\omega)$, будут равны с точностью до членов третьего порядка (случай равных друг другу корней λ_i не рассматривается):

$$\hat{d}_r = \lambda_r + \sum_{i \neq r}^m \frac{\ell_{ri} \ell_{ir}}{\lambda_r - \lambda_i} \quad (1)$$

Когда "развязанная" система, описываемая матрицей $\hat{D}(\omega)$, будет асимптотически эквивалентна многосвязной системе, которая задана матрицей $E(\omega)$. Полученные по уравнению (1) элементы асимптотически эквивалентной матрицы $\hat{D}(\omega)$ могут быть использованы в первую очередь для определения критерия удаленности многосвязной системы от своего "развязанного" состояния, который имеет вид

$$K_2(\omega) = \|\Lambda(\omega) - \hat{D}(\omega)\|_1 = \left(\sum_i |\lambda_i - \hat{d}_i|^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

Рассмотрим также использование матрицы $\hat{D}(\omega)$ для преобразования входных и выходных сигналов при переходе от исходной многосвязной к эквивалентной "развязанной" системе.

Известно, что квадратную матрицу всегда можно привести к диагональной, которая содержит собственные значения этой матрицы, т.е. является подобной. В случае энергетических матриц многосвязной системы имеем

$$E(\omega) = T^{-1}(\omega) D(\omega) T(\omega) \quad (3)$$

Столбцы квадратной матрицы $T^{-1}(\omega)$ являются собственными векторами матрицы $E(\omega)$ и легко определяются аналитически, если известны $\hat{d}_i(\omega)$ — собственные значения матрицы $E(\omega)$. Для вектор-столбцов входных и выходных спектральных плотностей сигналов имеем

$$\hat{S}_y(\omega) = E(\omega) \hat{S}_x(\omega) \quad (4)$$

Подставляя в (4) выражение (3), получим

$$T(\omega) \hat{S}_y(\omega) = D(\omega) \cdot T(\omega) \hat{S}_x(\omega) \quad (5)$$

Матрицу $T(\omega)$ можно рассматривать как матрицу преобразования сигналов. Новые сигналы имеют вид

$$\bar{S}'_x(\omega) = T(\omega)\bar{S}_x(\omega), \quad \bar{S}'_y(\omega) = T(\omega)\bar{S}_y(\omega). \quad (6)$$

На основе (5) и (6) получим

$$\bar{S}'_y(\omega) = D(\omega)\bar{S}'_x(\omega), \quad (7)$$

где $D(\omega) = \text{diag}\{d_1(\omega), d_2(\omega), \dots, d_m(\omega)\}$.

Уравнение (7) устанавливает связь между входными и выходными спектральными плотностями "развязанной" системы, которая эквивалентна исходной многосвязной системе.

Используя уравнение (1) и определяя $\bar{D}(\omega)$, получим асимптотики для матрицы преобразования $\bar{T}(\omega)$ и для преобразованных сигналов

$$\bar{S}'_x(\omega) = \bar{T}(\omega)\bar{S}_x(\omega), \quad \bar{S}'_y(\omega) = \bar{T}(\omega)\bar{S}_y(\omega), \quad (8)$$

которые действуют в "развязанной" асимптотически эквивалентной системе.

Полученные асимптотически эквивалентные матрицы рекомендуются для их использования при анализе многосвязных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арешян Г.Л. Энергетические матрицы многосвязных систем // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т. 49, № 1 - С. 32-36.
2. Восводян В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. - М.: Наука. 1984. - 318 с

ГИУА

10.11.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L. № 2, 1997, с. 114 - 119.

УДК 628.314

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

В.М. МОВСЕСЯН, Г.В. БАРЕГАМЯН, Н.Н. ПЕТРОСЯН,
А.Ш. АРУТЮНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ИСТОЧНИКАХ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Նետազոտվում են միջուկայ բարձր հաճախականային կերպափոխիչով երկրորդային սնման աղբյուրներում մագնիսական տարրերի (տրանսֆորմատորներ, դրոսելներ), էլեկտրամագնիսական ճառագայթումները: Նկարագրված են էլեկտրամագնիսական խանգարումների չափման եղանակները և միջոցները: Նետազոտված է էլեկտրամագնիսական ճառագայթումների ճնշման նպատակով տարբեր նյութերից պատրաստված էկրանային ծածկույթների օգտագործման արդյունավետությունը: Բերվում են երկրորդային էլեկտրասնուցման աղբյուրներում էլեկտրամագնիսական հաստատելիության ապահովման գործնական առաջարկություններ:

Исследуются электромагнитные излучения от магнитных компонентов (трансформаторы, дроссели) источников вторичного электропитания с промежуточным высокочастотным преобразователем. Описаны средства и методика проведения измерений электромагнитных помех. Исследована эффективность

применения экранных покрытий из магнитных и немагнитных материалов для подавления электромагнитного излучения. Приводятся практические рекомендации для обеспечения электромагнитной совместимости компонентов источников вторичного электропитания.

Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

Electromagnetic interferences caused by magnetic components (such as transformers, chokes) of secondary power supplies with an intermediate high frequency converter are explored. The means and methods of electromagnetic interference measurements are described. Efficiency of screen coating application involving magnetic and nonmagnetic materials for suppressing electromagnetic irradiations is investigated. Suggestions for providing electromagnetic compatibility with secondary power supply components are given.

1/1 4, Ref. 3.

Одним из актуальных направлений современной силовой электроники является создание эффективных и экономичных источников вторичного электропитания (ИВЭП), предназначенных для питания средств вычислительной техники и радиоэлектронных систем. В теории и проектировании ИВЭП вопросы исследования электромагнитной совместимости (ЭМС) отдельных его компонентов изучены недостаточно полно.

В данной работе ставится задача исследования ЭМС ИВЭП с целью выработки средств и методов эффективного снижения уровня электромагнитного излучения отдельных компонентов ИВЭП. Это дает возможность повысить надежность самих ИВЭП и улучшить электромагнитную обстановку окружающей среды.

Коммутационные процессы в узлах ИВЭП, наличие магнитных элементов в высокочастотных цепях вызывают в окружающей среде вестигационные и/или периодические импульсные электромагнитные поля помех, которые индусируют импульсные токи и напряжения в слабосигнальных цепях управления и могут являться причиной сбоев в работе ИВЭП. Для локализации действия электромагнитного поля, создаваемого источником поля, и защиты узлов ИВЭП от их влияния, применяются экраны. По принципу действия различают электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное экранирование [1-3]. Первые два, действующие по принципу замыкания соответствующих полей, вследствие повышенной электро- и магнитопроводимости материалов экранов эффективны лишь в области низких частот. Действие электромагнитных экранов может быть представлено как многократное отражение электромагнитных волн от поверхности экрана и затухание энергии в толще металлического экрана, которое обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи в металле.

Импульсные электромагнитные помехи оцениваются амплитудами напряженности электрического и магнитного полей, длительностью импульсов и их фронтах, вольт-секундной площадью и частотными спектрами. Для количественной оценки эффективности экранирования используется ряд параметров [3], основные из которых:

— коэффициент экранирования S , равный отношению амплитуды напряженности электрического поля E_1 (или магнитного H_1) в какой-либо точке пространства (вблизи экрана) к амплитуде напряженности E (или H) поля в этой же точке в случае, если бы экран отсутствовал, т.е.

$$S_e = E_1 / E, \quad S_H = H_1 / H \quad (1)$$

— экранированное затухание, которое определяется как величина, обратная коэффициенту экранирования. В логарифмическом масштабе оно определяется следующим образом:

$$S = 20 \lg(1/C). \quad (2)$$

Следует отметить, что электромагнитное поле воздействует на окружающую среду не само по себе, а в результате наведенных в цепях аппаратуры импульсных напряжений помех. Поэтому достаточно измерять напряжения, наведенные в некоторых регламентированных видах антенн.

Общая структурная схема измерителя электромагнитных помех в ИВЭП представлена на рис. 1. Основными элементами измерителя являются рамочная антенна A и регистрирующее устройство (осциллограф $Осц$ или цифровое регистрирующее устройство ЦРУ с преобразователем). ЭДС, наведенная электромагнитным полем в витках антенны, определяется следующим образом:

$$e = n\mu\mu_0 Q dH/dt, \quad (3)$$

где n — количество витков; Q — площадь витка; μ — магнитная проницаемость сердечника; μ_0 — магнитная постоянная.

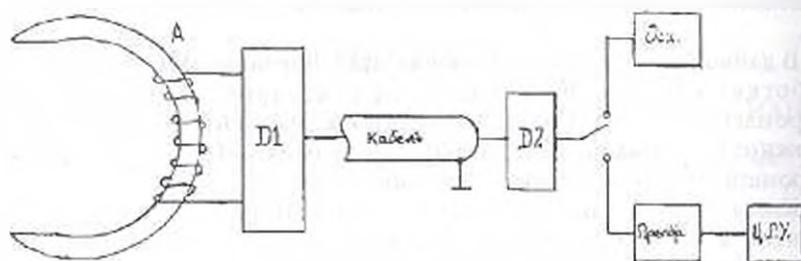


Рис. 1. Структурная схема измерительной цепи

Если индуктивное сопротивление антенны намного больше сопротивления нагрузки, то форма изменения во времени тока в витках антенны, а следовательно, и форма напряжения на нагрузке сравнима с формой приложенного импульсного магнитного поля $H(t)$:

$$i(t) = n\mu\mu_0 QH(t)/L_a, \quad (4)$$

где L_a — индуктивность антенны.

Делители $D1$ и $D2$ (рис. 1) служат для согласования выхода антенны с кабелем и кабеля со входом измерительного прибора. Достоверность результатов экспериментального измерения электромагнитных помех в ИВЭП в значительной степени зависит от стойкости измерительной аппаратуры к воздействиям электромагнитных полей. Для этого измерительная аппаратура размещается в экранированной камере или на некотором расстоянии от ИВЭП.

Экспериментальные исследования проводились на макете ИВЭП с высокочастотным резонансным инвертором, упрощенная схема которого представлена на рис. 2. В основном были исследованы электромагнитные излучения в выходных трансформаторах драйверов ($TU1$, $TU2$), сигналы которых имеют крутые фронты, являющиеся причиной высокочастотных составляющих в спектре электромагнитного излучения; дросселе $L3$, сигнал которого имеет форму кратковременных пиков с большой амплитудой;

дросселях L1, L2 и выходном силовом трансформаторе, сигналы которых имеют форму, близкую к синусоидальной. Измерения электромагнитных помех проводились с помощью датчиков (антенн) двух типов: катушка, намотанная на ферритовом кольце (М2000НМ1) с внешним диаметром 1 см и с зазором в сердечнике 0,5 мм; катушка без сердечника. Датчики первого типа использовались при исследовании излучений с малыми амплитудами, датчики второго типа — при исследовании излучений с большими амплитудами (при испытании дросселя L3). Измерения проводились с помощью осциллографа С1-102, имеющего частотную полосу до 10 МГц. Основная частота переключения силовых ключей инвертора составляла 66 КГц. Верхняя частота спектров сигналов оценивалась по фронтам импульсных сигналов и составляла 3 МГц. На экране осциллографа контролируются два сигнала: ток в испытуемом образце и сигнал от датчика (измерителя помех). Идентичность форм и временных параметров этих двух сигналов в случае испытания образца без экранного покрытия свидетельствует о корректности измерений.

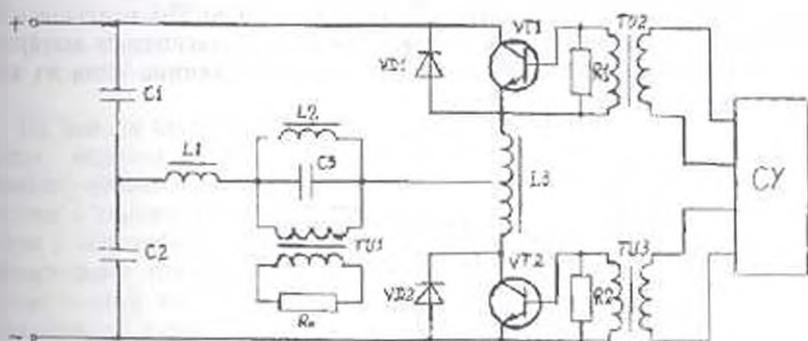


Рис. 2. Электрическая схема ИВЭП

Главная цель проведенных испытаний заключалась в оценке эффективности экранных покрытий из разных материалов (медь, никель, алюминий и их композиции); эффективности экранирования при различных толщинах экранного слоя; частотных свойствах электромагнитных помех и экранных покрытий.

Для цифровой обработки результатов измерений сигналы дискретизировались по времени с интервалом $\Delta t \geq 1/2F_{max}$, максимальная частота F_{max} в спектре сигнала оценивалась по минимальной длительности фронтов: $F_{max} = 1/t_{фронт}$. Расчет спектров производился по алгоритму быстрого преобразования Фурье (БПФ). По БПФ определялись оценки комплексного спектра сигнала $x(t)$: $S_x(jf) = \text{Re}(f) + j \cdot \text{Im}(f)$. Далее вычислялись оценки энергетического спектра: $S_{xx}(f) = \text{Re}^2(f) + \text{Im}^2(f)$ и амплитудного спектра: $A(f) = \sqrt{S_{xx}(f)}$, а также затухание на каждой частоте по формулам (1), (2).

Результаты экспериментальных исследований для дросселя L3 (рис. 1) с различными экранными покрытиями представлены на рис. 3, 4. Амплитудный спектр сигнала для случая без экранного покрытия представлен на рис. 3 (кривая 3). Из спектра видно, что сигнал содержит составляющие со значительными амплитудами на частотах до 1,5 МГц.

Широкополосность сигнала позволяет судить об эффективности экранов в разных диапазонах частот. На рис. 3 (кривая 1) показана зависимость экранного затухания от частоты в случае покрытия из меди толщиной 50 мкм. В диапазоне до 0,6...0,7 МГц затухание заметно растет вместе с частотой. Эта тенденция еще более заметна в случае экранного покрытия из алюминия (рис.3, кривая 2, толщина покрытия - 90 мкм). На рис. 4 (кривая 3) представлена зависимость затухания от расстояния до источника излучения. Зависимости затухания от толщины слоя экранного покрытия (рис. 4, кривая 1 - для меди, кривая 2 - для алюминия) показывают, что в рассмотренном частотном диапазоне затухание растет вместе с толщиной покрытия, однако с некоторого значения (например, для меди толщиной 50 мкм) дальнейшее увеличение толщины имеет незначительное влияние.

Были исследованы также экранные покрытия из никеля. Исследования показали, что применение никеля в качестве экранного покрытия для магнитных элементов ИВЭП неэффективно. Например, для выходных трансформаторов драйверов (ТУ2, ТУ3 на рис. 2) экранное покрытие из никеля толщиной в 50 мкм дает затухание в 4,86 дБ, тогда как медный экран такой же толщины дает затухание в 26 дБ. Исследовались также экраны с чередованием слоев из магнитных и немагнитных материалов: никель и медь. Исследования показали, что добавление слоя из никеля практически не влияет на затухание.

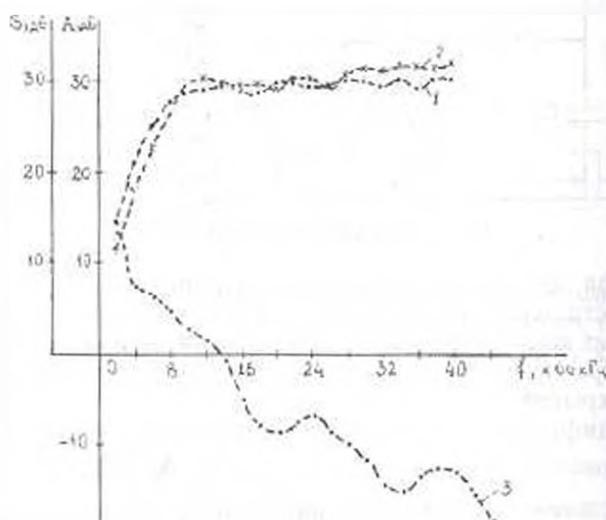


Рис. 3. Зависимости затухания S от частоты излучения (кривые 1 и 2) и частотный спектр излучения A (кривая 3)

Сравнение параметров затухания от расстояния датчика до источника электромагнитного излучения с затуханием от применения экранных покрытий (рис. 4) показывает, что удаление приемника от дросселя $L3$ на расстояние $l = 25...30$ мм эквивалентно применению экрана из меди толщиной 50 мкм. Следовательно, в случаях, когда плотность размещения элементов (т.е. габариты) ИВЭП не является определяющей, можно обеспечить ЭМС магнитных компонентов разумным удалением их друг от друга. В случаях плотного размещения компонентов единственным эффективным средством достижения ЭМС является применение экранных покрытий.

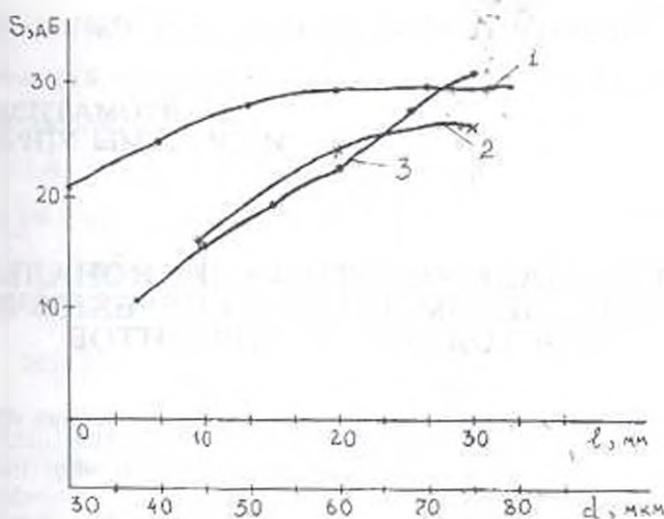


Рис. 4. Зависимости затухания S кривые 1 и 2 - от толщины экрана d ; кривая 3 - от расстояния l от источника излучения до измерителя

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы: экраны с большей удельной электропроводностью (медь, алюминий) намного эффективнее, чем экраны из магнитных материалов; затухание в экране растет в зависимости от толщины покрытия, однако, начиная с некоторого значения, дальнейшее увеличение толщины имеет незначительное влияние на затухание; для магнитных элементов ИВЭП с промежуточной частотой преобразования порядка 40...100 кГц можно рекомендовать экранные покрытия из меди или алюминия с толщиной примерно 50 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кравченко В.И., Болотол Е.А., Летунов Н.И. Радиозлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. - М.: Радио и связь, 1987. - 256 с.
- 2 Laloré D. Déparasitage à la source des convertisseurs de puissance // Revue générale d'Electricité. - 1986. - №2. - P. 23-28.
- 3 Источники электропитания радиозлектронной аппаратуры / Под ред. Г.С. Найвельта. - М.: Радио и связь, 1986. - 576 с.

ГИУА

14.10.1996

УДК 621.391.1:62.507

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Е.Ш. БОЗОЯН

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ С УЧЁТОМ ЧАСТОТЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СОСТОЯНИЙ ЕЁ ЭЛЕМЕНТОВ

Աշխատանքի հիմքում ընկած է մի սենսիվետ, ըստ որի գործառնական սխեմայի տարրի էլյուտ «պաշտահական սխալի» հավանականությունը համեմատական է սխեմայի գործառնության ընթացքում այդ էլրի վիճակի փոփոխման հաճախությանը: Դրա հիման վրա ստեղծում է տարրի ակտիվության հասկացությունը և ցույց է տրվում, որ սխեմայի հուսալիության բարձրացման համար բավական է բարձրացնել նրա առավել «ակտիվ» տարրերի հուսալիությունը:

В основе работы лежит точка зрения, согласно которой вероятность «случайной ошибки» на выходе элемента функциональной схемы пропорциональна частоте переключения состояния этого выхода при функционировании схемы. С учетом этого вводится понятие «активности» элемента. Показывается, что для повышения надежности схемы достаточно повысить надежность ее наиболее «активных» элементов.

На 1. Библиогр: 4 назв.

The viewpoint of this paper is to show the probability of «random error» on the element output of the functional scheme proportional to the state switching frequency of this output during functioning of the scheme. Moreover, a notion «activity» of the element has been introduced. It is also shown that in order to increase the reliability of the whole scheme, it is sufficient to increase the reliability of its most «active» elements.

Ref. 1. Ref. 4

Оценке надежности дискретных схем посвящено много работ [1-3] В них в процессе «формирования» ненадежности элементов, из которых «собрана» данная схема, учтено много физических и иных факторов (длительность работы, режимные условия и т.д.), способствующих ухудшению надежности работы этих элементов. Однако во всех этих работах не учитывался фактор частоты переключения состояний элементов в процессе функционирования схемы.

В основе данной работы лежит представление, согласно которому ненадежность элемента функциональной схемы существенным образом зависит от частоты переключения состояний его выхода при функционировании схемы. Реальность такого представления основана на том, что «случайные» ошибки на выходе элемента, которые составляют существенную часть среди всех типов ошибок, являются в основном последствием отклонений от допустимых пределов во временной диаграмме при переходе элемента из одного состояния к другому. Вероятность того, что на выходе элемента появляется «ошибочный» сигнал, при условии, что на входы поступают «правильные» сигналы, здесь принимается пропорциональной частоте переключения состояний на выходе.

1. Пусть $f(\bar{x}) = f(x_1, \dots, x_n)$ — произвольная булева функция, а x_i с вероятностью $p(x_i = \alpha_i)$ принимает значение α_i ($p(x_i = 1) + p(x_i = 0) = 1$, $i = \overline{1, n}$). Предположим также, что значения, принимаемые переменными x_i и x_j ($i, j \in \overline{1, n}$, $i \neq j$), статистически независимы. Вероятность события $f(\alpha_1, \dots, \alpha_n) = 1$ при случайном наборе $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ из нулей и единиц назовем нормой функции $f(x_1, \dots, x_n)$ и обозначим через $\|f(\bar{x})\|$. Эта вероятность вычисляется по формуле

$$\|f(\bar{x})\| = \sum_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in E^n} \left(f(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \prod_{i=1}^n p(x_i = \alpha_i) \right). \quad (1)$$

Норма обладает следующими легко проверяемыми свойствами:

1. $0 \leq \|f(\bar{x})\| \leq 1$.
2. $\|\bar{f}(\bar{x})\| = 1 - \|f(\bar{x})\|$.
3. $\|f_1(\bar{x}) \vee f_2(\bar{x})\| = \|f_1(\bar{x})\| + \|f_2(\bar{x})\| - \|f_1(\bar{x})f_2(\bar{x})\|$.
4. $\|f_1(\bar{x}) \oplus f_2(\bar{x})\| = \|f_1(\bar{x})\| + \|f_2(\bar{x})\| - 2\|f_1(\bar{x})f_2(\bar{x})\|$.
5. $\|f_1(x_1, \dots, x_k)f_2(x_{k+1}, \dots, x_n)\| = \|f_1(x_1, \dots, x_k)\| \|f_2(x_{k+1}, \dots, x_n)\|$.

Последнее свойство допускает следующее обобщение:

5'. Если $f(x_1, \dots, x_n) = g(h_1(\bar{x}_1), \dots, h_k(\bar{x}_k))$, где $\bar{x}_i \cap \bar{x}_j = \emptyset$, $i, j = \overline{1, k}$, $i \neq j$, $\bar{x}_1 \cup \dots \cup \bar{x}_k = \{x_1, \dots, x_n\}$, то

$$\|f(x_1, \dots, x_n)\| = \sum_{(\sigma_1, \dots, \sigma_k) \in E^k} g(\sigma_1, \dots, \sigma_k) \|h_1^{\sigma_1}(\bar{x}_1)\| \dots \|h_k^{\sigma_k}(\bar{x}_k)\|.$$

2. Пусть схема S имеет n входов и 1 выход, состоит из функциональных элементов $\mathcal{E}_1^{(n_1)}, \dots, \mathcal{E}_N^{(n_N)}$, где n_i — число входов элемента $\mathcal{E}_i^{(n_i)}$ ($i = \overline{1, N}$). Пусть элемент $\mathcal{E}_i^{(n_i)}$ при его безотказной работе реализует функцию $f_i(y_1^{(i)}, \dots, y_{n_i}^{(i)})$ ($i = \overline{1, n}$). Пусть входные сигналы $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ схемы S статистически независимы и появляются соответственно с вероятностями $p(x_1 = \alpha_1), \dots, p(x_n = \alpha_n)$. Предполагается также, что схема работает в "тактовом" режиме, т.е. в момент времени t ($t = 0, 1, 2, \dots$) на ее входы поступает набор входных сигналов $(\alpha_1(t), \dots, \alpha_n(t))$, и что события $x_i = \alpha_i(t_1)$ и $x_i = \alpha_i(t_2)$ ($i = \overline{1, n}$, $t_1 \neq t_2$) являются независимыми.

Пусть выход элемента $\mathcal{E}_i^{(n_i)}$ при безотказной работе всех элементов схемы относительно входов этой схемы реализует функцию $F_i(x_1, \dots, x_n)$ ($i = \overline{1, N}$). Заметим, в частности, что если $\mathcal{E}_N^{(n_N)}$ — "последний" элемент схемы (т.е. выход элемента $\mathcal{E}_N^{(n_N)}$ является выходом схемы), то схема будет

реализовывать функцию $F_i(x_1, \dots, x_n)$. Если в моменты времени t и $t+1$ на входы схемы поступают соответственно наборы $\bar{\alpha}(t)$ и $\bar{\alpha}(t+1)$, то событие $F_i(\bar{\alpha}(t)) \oplus F_i(\bar{\alpha}(t+1)) = 1$ называется "переключением" состояния элемента $\mathcal{E}_i^{(n)}$ ($i = \overline{1, N}$) в момент времени $t+1$. Вероятность этого события, которая не зависит от t , называется частотой переключения состояний этого элемента (обозначим ее через v_i) и вычисляется следующим образом:

$$v_i = \|F_i(\bar{x}(t)) \oplus F_i(\bar{x}(t+1))\| = \|F_i(\bar{x}(t))\| + \|F_i(\bar{x}(t+1))\| - 2\|F_i(\bar{x}(t))\| \|F_i(\bar{x}(t+1))\| = 2\|F_i(\bar{x})\| - 2\|F_i(\bar{x})\|^2 = 2\|F_i(\bar{x})\| \| \bar{F}_i(\bar{x}) \| \quad (2)$$

v_i принимает максимальное значение, если $\|F_i(\bar{x})\| = \| \bar{F}_i(\bar{x}) \| = 1/2$, т.е. $0 \leq v_i \leq 1/2$.

Впоследствии будем считать, что вероятность появления "ошибочного" сигнала на выходе элемента при условии, что на его входы поступают "правильные" сигналы, пропорциональна частоте переключения состояний выхода элемента. Назовём её вероятностью "ошибки" элемента.

Обозначив эту вероятность для элемента $\mathcal{E}_i^{(n)}$ через p_i , получим

$$p_i = \alpha_i v_i \quad (i = \overline{1, N}), \quad (3)$$

где α_i ($0 \leq \alpha_i \leq 1$) — постоянная, характеризующая технологический уровень производства той элементной базы, из которой собрана схема S .

Если все элементы схемы работают безотказно и на ее входы поступает набор сигналов $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, то на выходе схемы появляется "правильный" сигнал, который обозначим через (f_1, \dots, f_N) ($\alpha_1, \dots, \alpha_n$). Тогда вероятность того, что на выходе схемы S появляется "ошибочный" сигнал при условии, что элементы $\mathcal{E}_1^{(n)}, \dots, \mathcal{E}_k^{(n)}$ "ошибаются" (т.е. они соответственно реализуют функции $\bar{f}_1, \dots, \bar{f}_k$), а все остальные элементы функционируют безотказно, равна

$$P_S(i_1, \dots, i_k) = \sum_{\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\} \in B^n} \prod_{i=1}^k p(x_i = \alpha_i) \left((f_1, \dots, f_1, \bar{f}_2, \dots, \bar{f}_k, f_{k+1}, \dots, f_N)(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \oplus (f_1, \dots, f_1, \bar{f}_2, \dots, \bar{f}_k, f_{k+1}, \dots, f_N)(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \right).$$

Складывая все условные вероятности по формуле полной вероятности, получим вероятность появления "ошибочного" сигнала на выходе S :

$$P_S = \sum_{\{i_1, \dots, i_k\}} P_S(i_1, \dots, i_k) \prod_{i \in \{i_1, \dots, i_k\}} p_i \prod_{i \notin \{i_1, \dots, i_k\}} (1 - p_i), \quad (4)$$

где сумма берется по всем $2^n - 1$ наборам индексов (исключая пустой набор, для которого $k=0$), а запись $i \in \{i_1, \dots, i_k\}$ означает $i \in \{1, \dots, N\} \setminus \{i_1, \dots, i_k\}$. Обозначим

$$\Omega_S(i) = P_S(i) p_i. \quad (5)$$

$\Omega_S(i)$ назовём активностью элемента $\Xi_i^{(n)}$ в схеме S . Выделив линейную часть относительно p_i ($i = \overline{1, N}$), представим формулу (5) в виде

$$P_S = \sum_{i=1}^N \Omega_S(i) + \varphi_S, \quad (6)$$

где φ_S — нелинейная часть. Некоторыми несложными комбинаторными преобразованиями можно оценить φ_S : если $Np \leq 1$, где $p = \max p_i$, $i = \overline{1, N}$, то $|\varphi_S| \leq (Np)^2$. Таким образом,

$$\left| P_S - \sum_{i=1}^N \Omega_S(i) \right| \leq (Np)^2. \quad (7)$$

При достаточно малом значении правой части (7) можно воспользоваться приближенной формулой:

$$P_S \approx \sum_{i=1}^N \Omega_S(i). \quad (8)$$

Как видно, надежность схемы в целом существенным образом зависит от надежности её наиболее активных элементов, которые являются главными "источниками" ненадежности схемы. Предполагая, что для любого i ($1 \leq i \leq N$)

$$\sum_{i=1}^N P_S(i)(3p_i^2 - 2p_i^3) + (Np)^2 < \varepsilon, \quad (9)$$

$$P_S(i)(3p_i^2 - 2p_i^3) < P_S(j)p_j, \quad j = \overline{1, N}, \quad (10)$$

можно описать простой алгоритм получения верхней оценки числа элементов. Трехкратным дублированием и надежным "голосованием" выходов экземпляров этих элементов получается схема, работающая безотказно с вероятностью $1 - \varepsilon$.

3. Рассмотрим технику вычисления активностей и частот переключения состояний элементов. Поскольку в обоих случаях все трудности в основном сосредоточены в вычислениях нормы булевой функции, то мы будем рассматривать только технику вычисления частоты переключения. Здесь основным средством является язык строчного описания (записи) схемы из функциональных элементов, рассмотренный в [4].

Пусть схема S содержит k базисных элементов, которые обозначим через $1, 2, \dots, k$, а элемент i имеет n_i входов и при безотказной работе реализует функцию $g_i^{(n_i)}$ ($i = \overline{1, k}$). В записи схемы символы $i^{(n_i)}$ всюду заменим на $g_i^{(n_i)}$ ($i = \overline{1, k}$). К полученному выражению многократно, в любом порядке, до тех пор, пока их возможно применять, применим следующие две процедуры.

1. Отрезки вида $g_i^{(n_i)} u_1 \dots u_{n_i}$, где u_1, \dots, u_{n_i} — переменные или формулы, реализующие функции, заменить на $g_i^{(n_i)}(u_1, \dots, u_{n_i})$.

2. Отрезок вида $M_i^{(1)}u$, а также символы $M_i^{(0)}$ всюду заменить на u , где u - переменная или формула, реализующая функцию.

В результате получим формулу (функцию), которая реализуется подсхемой. Пользуясь формулой (2) и свойствами 2-5, 5' нормы, находим частоту переключения элемента, выход которого является выходом рассмотренной подсхемы.

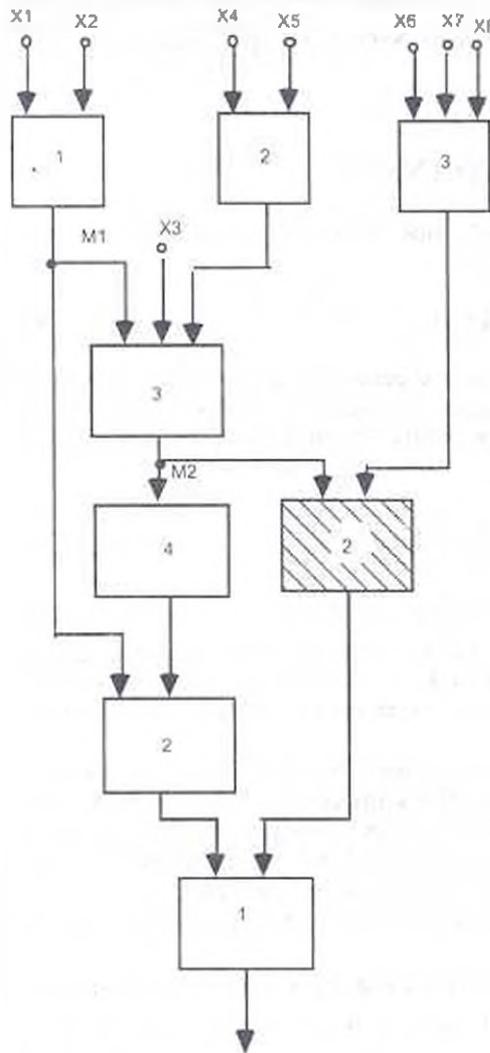


Рис.

Теперь для получения соответствующей функции многократно применим процедуру 1. Получим: $((x_1 x_2 \vee x_1) \oplus (x_4 \vee x_5)) \vee ((x_6 \vee x_7) \oplus x_8)$.

Обозначим эту функцию через $f(x_1, \dots, x_8)$. Она допускает следующую декомпозицию:

Пример. Рассмотрим схему с базисными элементами 1,2,3,4 (см. рис.), которые при их безотказной работе соответственно реализуют функции

$$g_1^{(2)}(y_1, y_2) = y_1 \cdot y_2,$$

$$g_2^{(2)}(y_1, y_2) = y_1 \vee y_2,$$

$$g_3^{(2)}(y_1, y_2, y_3) = (y_1 \vee y_2) \oplus y_3,$$

$$g_4^{(1)}(y) = \bar{y}.$$

Записью этой схемы является:

$$1^{(2)} 2^{(2)} M_1^{(1)} 1^{(2)} x_1 x_2 4^{(1)} M_2^{(1)} 3^{(2)} x_3$$

$$\times M_1^{(0)} x_4 2^{(2)} x_4 x_5 2^{(2)} M_2^{(0)} 3^{(3)} x_6 x_7 x_8.$$

Символы $1^{(2)}$, $2^{(2)}$, $3^{(2)}$, $4^{(1)}$ соответственно заменим на $g_1^{(2)}$, $g_2^{(2)}$,

$g_3^{(2)}$, $g_4^{(1)}$. Получим

$$g_1^{(2)} g_2^{(2)} M_1^{(1)} g_1^{(2)} x_1 x_2 g_4^{(1)} M_2^{(1)} g_3^{(2)} x_3$$

$$\times M_1^{(0)} x_4 g_2^{(2)} x_4 x_5 g_2^{(2)} M_2^{(0)} g_3^{(3)} x_6 x_7 x_8.$$

Из этого выражения выделим отрезок с весом -1, начало которого соответствует заштрихованному элементу 2. Этот отрезок будет

$$g_2^{(2)} M_1^{(0)} g_3^{(3)} x_6 x_7 x_8.$$

После удаления метки $M_1^{(0)}$ (применение процедуры 2) получим запись подсхемы, выход которой является выходом заштрихованного элемента:

$$g_2^{(2)} g_3^{(3)} g_1^{(2)} x_1 x_2 x_3 g_2^{(2)} x_4 x_5 g_3^{(3)} x_6 x_7 x_8.$$

$f = g(h_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5), h_2(x_6, x_7, x_8))$, где $h_1 = (x_1 x_2 \vee x_1) \oplus (x_4 \vee x_5)$,
 $h_2 = (x_6 \vee x_7) \oplus x_8$. В свою очередь, h_1 и h_2 также допускают
 декомпозицию $h_1 = h'_1 \oplus h''_1$, $h_2 = h'_2 \oplus h''_2$, где $h'_1 = x_1 x_2 \vee x_3$,
 $h''_1 = x_4 \vee x_5$, $h'_2 = x_6 \vee x_7$. Находим норму функции f , принимая
 $p(x_1 = 1) = p(x_2 = 1) = \frac{1}{4}$, $p(x_3 = 1) = \frac{1}{2}$, $p(x_4 = 1) = \dots = p(x_8 = 1) = \frac{3}{4}$.

Для этого заранее находим нормы функций h'_1 , h''_1 , h'_2 , h_1 и h_2 :

$$\|h'_1\| = \|x_1 x_2 \vee x_3\| = \|x_1 x_2\| + \|x_3\| - \|x_1 x_2 x_3\| = \frac{17}{32}$$

$$\|h''_1\| = \|x_4\| + \|x_5\| - \|x_4 x_5\| = \frac{15}{16}$$

$$\|h_1\| = \|h'_1\| + \|h''_1\| - 2\|h'_1 h''_1\| = \frac{121}{256}$$

$$\|h'_2\| = \|x_6\| + \|x_7\| - \|x_6 x_7\| = \frac{15}{16}$$

$$\|h_2\| = \|h'_2\| + \|x_8\| - 2\|h'_2 x_8\| = \frac{9}{32}$$

Итак, $\|f\| = \|g(h_1, h_2)\| = \|h_1 \vee h_2\| = \|h_1\| + \|h_2\| - \|h_1 h_2\| = \frac{5087}{8192}$

Таким образом, частота переключения заштрихованного элемента (рис.) схемы равна

$$v = 2 \cdot \frac{5087}{8192} \left(1 - \frac{5087}{8192} \right) \approx 0.44$$

Результаты работы могут быть применены в области автоматизации проектирования дискретных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // Автоматы: Сб. Ст. - М.: Изд-во ИЛ, 1956. - С. 68-139.
2. Бозоян Ш.Е. Построение надежных схем, реализующих конечный автомат, из ненадежных элементов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. - 1977. - № 2. - С. 100-108.
3. Бозоян Ш.Е. К построению надежных схем из ненадежных элементов // ДАН Арм ССР. - 1975. - Т. 50, № 2. - С. 70-75.
4. Бозоян Ш.Е. Язык описания функциональных схем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. - 1978. - № 6. - С. 158-166.

ГИУА

16.10.1995

УДК 681.3

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

В.Ш. МЕЛИКЯН, А.С. АВАКЯН

**ЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ
СХЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

Առաջարկված է որոշակի փոփոխություններից հետո ոչ հստակ բազմությունների տեսության տարրերի կիրառմամբ թվային սխեմաների մոդելավորման մեթոդիկա: Դա թույլ է տվել զգալիորեն մեծացնել սխեմայի հանգույցներում ազդանշանների տևարի վերարտադրման հստակությունը, պահպանելով սովորական տրամաբանական մոդելավորման արագությունը: Իրականացված են սխեմաների վերլուծության մշակված մեթոդիկայի կիրառության հարցերը արտաքին ապակայունաճող դործոնների փոփոխման այն սահմանների որոշման խնդրի համար. որոնց դեպքում մոդելավորվող սխեման պահպանում է իր աշխատունակությունը: Բերված է առաջարկված մեթոդիկայի էությունը և նրա արդյունավետությունը բազմախոտով հաշվարկի օրինակ:

Предложена методика моделирования цифровых схем с применением элементов теории нечетких множеств после их определенной модификации, что позволило значительно увеличить точность воспроизведения формы сигналах узлах схемы, сохраняя при этом скорость традиционного логического моделирования. Рассмотрены вопросы применения предложенной методики анализа схем для определения гранич изменения этих дестабилизирующих внешних факторов. Приведен пример расчета, выявляющий сущность и эффективность предложенной методики.

Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

A technique of digital circuit simulation with application of illegible set theory after their definite modification is offered. This permitted to increase significantly the signal form reproduction accuracy in circuit nodes preserving the traditional logic simulation rate. Problems of using this circuit analysis method for specifying limits of changing external destabilized factors preserving the serviceability of the simulated circuit are considered. The design example explaining the essence and efficiency of the proposed technique is given.

Ил. 4. Ref. 6.

В процессе проектирования существует много задач анализа функционирования цифровых схем, требующих сочетания скорости логического [1-4] и точности схемотехнического [5,6] моделирования. Примером является учет влияния внешнего воздействия при моделировании цифровых схем. Актуальность этой задачи связана с тем, что в настоящее время влияние внешних воздействий на состояния узлов схемы соизмеримо, а порой, и больше самого полезного сигнала. Поэтому пренебрежение этим влиянием во время моделирования цифровых БИС часто приводит к качественно неверным результатам. Например, при статическом режиме работы цифровой схемы, когда на входы поданы постоянные сигналы ("0" или "1"), во всех остальных узлах тоже должны получаться постоянные сигналы, при условии, что в схеме отсутствуют генераторы сигналов. Однако при наличии внешних воздействий наряду с их изменением начинают изменяться состояния узлов схемы. Существуют такие значения внешних воздействий, при которых состояния узлов настолько отличаются от

нормальных стационарных значений, что в схеме начинают происходить переключения, приводящие к необратимым процессам. Поэтому возникает задача нахождения этих критических значений внешних воздействий.

При решении указанной задачи необходимо, чтобы состояния узлов цифровой схемы были непрерывными, что исключает использование традиционных программ логического моделирования, базируемых на булевой алгебре. С другой стороны, представляется невозможным использование схемотехнического моделирования, так как с помощью таких программ при принятых ограничениях на время анализа реально можно анализировать лишь небольшие схемы. Можно привести и другие примеры практических задач проектирования цифровых схем, для решения которых необходимы отмеченные качества программы моделирования.

В настоящей статье для моделирования цифровых схем предлагается использовать аппарат теории нечетких множеств в нижеприведенной интерпретации. Это позволит, сохраняя быстроту логического моделирования, добиться непрерывности состояний узлов схемы и, тем самым, возможности учета влияния внешних воздействий.

При моделировании цифровых схем состояние каждого узла схемы i характеризуется переменной Q_i , которая показывает не стационарное состояние узла $Q_{i,ст}$ (которая может принимать значения "0" или "1"), как при обычном логическом моделировании, а степень отличия состояния узла i по отношению к стационарному при данном значении внешнего воздействия. Например, если в качестве базового стационарного значения принято "0" и $Q_1 = 0,3$ и $Q_2 = 0,5$, то это означает, что состояние узла Q_1 больше отличается от стационарного значения, чем состояние узла Q_2 при данном значении внешнего воздействия. При этом значение переменной Q_i может изменяться в пределах между 0 и 1. Так как для определения Q_i необходимо знать значения стационарных состояний узлов схемы Q_j ($j = 1, \dots, n$, n - количество узлов схемы), что зависит от логики работы схемы, а также величину внешнего воздействия, в логическую функцию каждого элемента, кроме обычных переменных (входов, выходов и внутренних узлов), вводятся также специальные переменные μ , которые определяют значения влияния внешнего воздействия на состояния каждого из узлов.

Иными словами, синхронная модель отдельного цифрового элемента представляется в виде

$$y = f(x, A, \mu), \quad A' = q(x, A, \mu), \quad (1)$$

где x , y , A и μ - векторы входных, выходных, внутренних и специальных переменных элемента; A' - новое значение вектора A .

Переменные вектора μ , учитывающие влияние внешнего воздействия, представляются в виде $\mu = F(B)$ (модели определения внешних воздействий). Так как переменные векторов x , A , μ имеют непрерывный характер, то для расчета функций f и q булева алгебра неприменима. При этом применяются соответствующие функции теории нечетких множеств. Например, логические функции И, ИЛИ, НЕ можно заменить функциями $\min(X_1, X_2, \dots, X_m)$, $\max(X_1, X_2, \dots, X_m)$ и $1 - X$.

Построение модели всей цепи из моделей отдельных элементов с учетом топологии схемы производится с использованием традиционных методов, используемых в обычных программах логического анализа [1-4].

Предлагается следующая методика моделирования цифровых схем с учетом влияния внешних воздействий в статическом режиме:

1. На входы цифровой схемы подается входная комбинация сигналов.
2. Значению внешнего воздействия V присваивается минимальное значение $V = V_{\min}$.
3. Для данного значения V вычисляются переменные вектора μ по моделям определения внешнего воздействия для каждого элемента схемы.
4. В результате использования модели всей цепи получаются значения состояний всех узлов схемы при текущем значении V .
5. Значение внешнего воздействия увеличивается на величину его шага: $V = V + \Delta V$. Если $V < V_{\max}$, то производится переход к пункту 3. В противном случае работа алгоритма завершается. Вопрос выбора величины шага ΔV можно решить аналогично [5, 6] при определении величины шага моделирования по времени для анализа переходных процессов, т. е. в зависимости от соотношения точности и скорости изменения процессов.

В результате получаются зависимости состояния каждого узла схемы от значения V в интервале $V_{\min} - V_{\max}$: $Q_i = Q_i(V)$ ($i=1, \dots, n$).

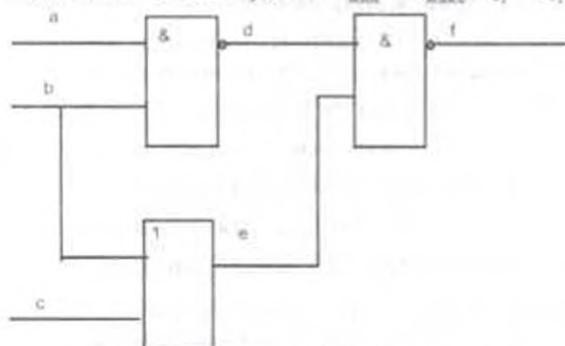


Рис. 1. Пример моделируемой схемы

При заданных допустимых пределах изменения состояний узлов Q_{\min} , Q_{\max} можно найти интервалы изменения V , при которых значения Q_i находятся в норме, а также значения V , при которых схема не работоспособна.

Работу приведенного алгоритма объясним на следующем примере (рис. 1).

Внешним воздействием является радиационный поток облучения, который изменяется во времени (рис. 2).

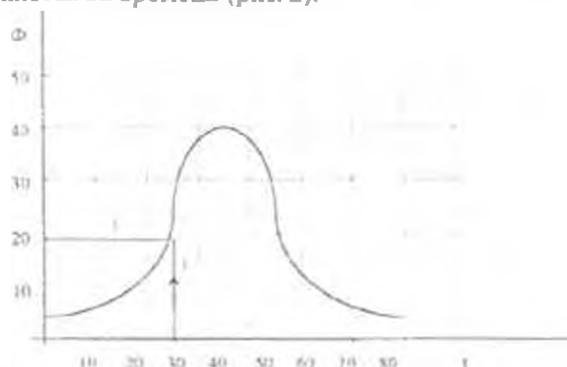


Рис. 2. Изменение радиационного потока облучения во времени

Экспериментально установлена зависимость состояния элемента ИНЕ, предварительно находящегося в состояниях "0", "1", от радиационного потока (рис. 3).

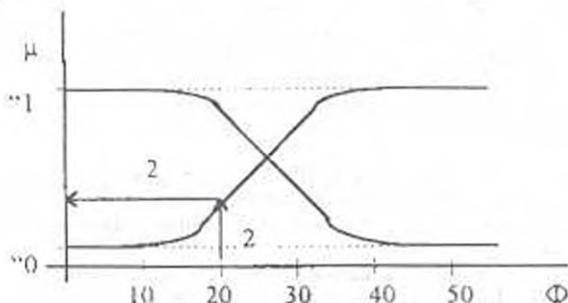


Рис. 3 Зависимость состояния элемента ИНЕ, предварительно находящегося в состояниях "0", "1", от радиационного потока облучения

Соответствующие зависимости $\mu = F(\Phi)$ для других базовых ячеек также считаются заданными.

Как видно из примера, входная комбинация abc равна 110. Без учета влияния внешнего воздействия состояние схемы def равно 011. На рис.4 приведены результаты работы предложенного алгоритма для приведенного примера, т. е. графики изменения состояний узлов схемы в результате внешнего воздействия. Для ясности стрелками показана очередность действий при нахождении значения состояния узла d в момент времени $t=23$ (см. стрелки 1, 2, 3 на рис.2, 3, 4). Таким же образом определяются состояния всех узлов схемы в каждый момент времени. Как видно из графиков рис. 4 состояния узлов d и f в течение некоторого промежутка времени заметно отличаются от стационарных значений, которые получаются при традиционном логическом моделировании.

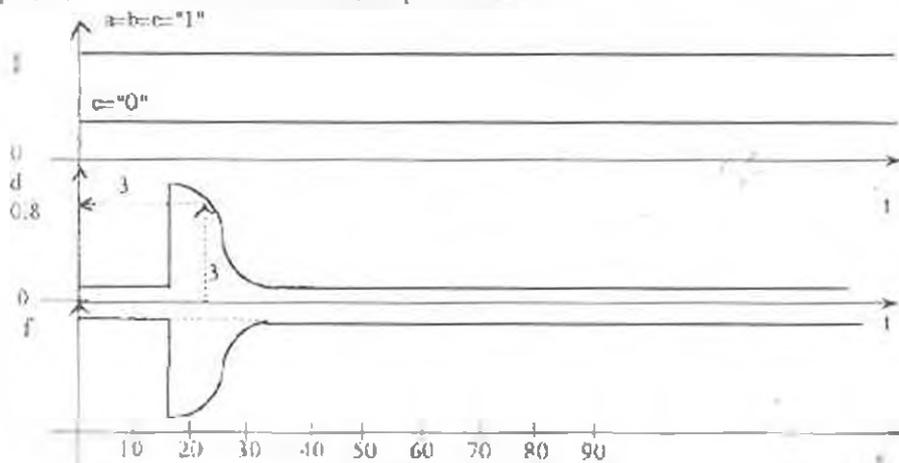


Рис. 4. Изменение состояний узлов в результате внешнего воздействия

На основе рассмотренной выше методики анализа цифровых схем в рамках программной системы моделирования электронных схем ЭЛАИС-11 создана подсистема СИПАИ, позволяющая моделировать функционирование цифровых схем с учетом влияния различных внешних факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eichelberger E.B. Hazard detection in Combinational and Sequential Switching Circuits//IBM Journal Res. Develop. - 1965. - №9 - P. 90 -99.
2. Брейер М. А. Последние достижения в автоматизации проектирования и анализа цифровых схем/ Автоматизация в проектировании. Под ред. Д.Калахана и др. - М.: Мир, 1972 - С 19-47.
3. Автоматизированное проектирование цифровых устройств /С.С.Бадулин, Ю.М. Барнаулов, В.А.Бердышев и др.; Под ред. С.С. Бадулина - М.: Радио и связь, 1981 - 240с.
4. Архангельский А.Я., Меликян В.Ш. Модели функционирования логических элементов в программе смешанного логико-электрического моделирования / Тел. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. "Автоматизация проектирования ЭВМ и систем", - Ереван, 1983. - С. 80-82.
5. Петренко А.И. Состояние и перспективы схемотехнического моделирования электронных схем на ЭВМ // Автоматизация проектирования в электронике: Сб. ст. - Киев. - 1980. - Вып. 22. - С. 15-22.
6. MOTIC-C: a new circuit simulation for digital circuits / S.P.Ean, H.Y.Hsueh, A.R.Newton et al. // In: Proc of IEEE International Symposium on Circuits - Boston. - 1997. - P. 700-703.

ГИУА

22.10.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. I, № 2, 1997, с. 130 - 133.

УДК 62-50

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Г.Э. СААКЯН, П.А. МАТЕВОСЯН, М.Г. МНАЦАКАНЯН

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С СУЩЕСТВЕННЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ

Ներկայացվում է կառավարման ոչ գծային համակարգի վերլուծման և համադրման մեթոդիկա, իրականացնում են հաշվի տեխնիկաների համադրող օգրագործման վրա: Քերվում է հետևող համակարգի մաթեմատիկական մոդելը, որի իրականացումն այս մեթոդիկայով թույլ է տալիս որոշել համակարգի անհրաժեշտ պարամետրերը, որոնք ապահովում են համակարգի աշխատանքը և հետևման արմատնչվող որակը:

Излагается методика анализа и синтеза нелинейных систем управления, основанная на совместном использовании вычислительной и аналоговой техники. Приводится математическая модель системы слежения, реализация которой с помощью этой методики позволила установить необходимые параметры, позволяющие обеспечить устойчивую работу системы и требуемое качество слежения.

Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

A method of analysis and synthesis of nonlinear control system based on joint digital and analogue computers is given. The mathematical model for the tracing system is described and the realization of this method enabled to find the necessary parameters of the system providing its stable performance and desirable tracing quality.

Ил. 1. Ref. 5.

На практике имеет место значительное число систем управления с существенными нелинейностями типа произведение люфт.

тригонометрические функции и др. [1 и др.]. Проблеме решения задачи синтеза нелинейных систем посвящен целый ряд работ [2-4 и др.]. Однако известные методы в основном сводятся к линеаризации нелинейных систем с целью их реализации методами теории автоматического управления. Решение задач анализа и синтеза нелинейных систем управления осуществляется также и с помощью средств аналоговой техники (АВМ). Однако это требует значительных затрат машинного времени.

В настоящей статье предлагается комбинированный метод решения задач синтеза нелинейных систем, основанный на предварительном решении задачи для линеаризованной системы с помощью ЦВМ с целью нахождения допустимой области возможных решений. Последующая реализация задачи с помощью АВМ позволяет определить в установленных ранее узких границах значения параметров, при которых обеспечиваются устойчивость и требуемое качество управления.

В отличие от известных методов, которые сводятся к установлению передаточной функции компенсаторов, согласно предлагаемой методике, при решении задач синтеза нелинейных систем управления ставится задача установления параметров отдельных элементов системы управления без синтеза корректирующего устройства, при которых обеспечиваются требуемое качество и устойчивость управления.

Для осуществления первого этапа решения был разработан алгоритм для реализации линеаризованной системы, суть которого состоит в следующем. Определяется передаточная функция линеаризованной системы и задаются возможные области изменения варьируемых параметров исследуемой системы. Для исследования устойчивости системы используется критерий Найквиста. Задавая значения параметров в области их возможных изменений, строится годограф Найквиста и проверяется выполнение требований по устойчивости. В результате устанавливаются области значений варьируемых параметров, при которых система устойчива.

Программа составлена на модернизированном алгоритмическом языке СИ. Поиск рациональных решений осуществляется при изменении ω от $-\infty$ до $+\infty$. Число варьируемых параметров составляет 2, число точек поиска в допустимой области - не более 100. Поиск осуществляется при задании одному параметру конкретного значения с построением годографа с изменением второго параметра. С целью сокращения машинного времени программой предусмотрена выдача результатов расчета без выдачи на экран промежуточных решений в виде годографа Найквиста.

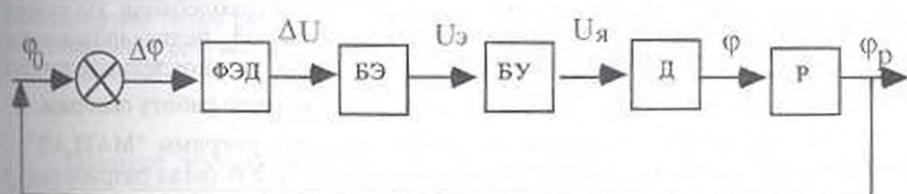


Рис. Функциональная схема СС: ФЭД — фотоэлектрический датчик; БЭ — блок электроники; БУ — блок управления; Д — двигатель; Р — редуктор

Рассмотренная выше методика применена для синтеза следящей системы (СС) слежения за Солнцем [5], функциональная схема которой представлена на рис. Согласно функциональной схеме, в математическую модель системы входят нелинейные уравнения вида

$$\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi_p; \Delta U = K_d \Delta\varphi; U_s = F(\Delta U), U_s = \beta E;$$

$$U_s = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + d_E i_B \frac{d\varphi}{dt};$$

$$U_B = R_B i_B + L_B \frac{di_B}{dt}; J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = d_M i_B i_a - M_H;$$

$$\varphi_p = \Phi(\varphi),$$

(1)

где $\varphi_0, \varphi_1, \varphi, \Delta\varphi$ — углы смещения луча Солнца, поворота вала редуктора, г.е. оптической оси ФЭД, якоря электродвигателя и рассогласования; ΔU — выходной сигнал ФЭД; K_d — передаточный коэффициент усиления датчика ($K_d = 34,5$ В/рад); U_s, U_a — выходные напряжения блоков электроники и управления; E — номинальное напряжение обмотки якоря; β — коэффициент (при $U_s < \delta$ $\beta = 0$, а при $U_s > \delta$ $\beta = 1$); δ — регулируемое напряжение на выходе БЭ, определяемое требуемой точностью слежения; i_a, i_B — токи в цепях якоря электродвигателя и возбуждения; $R_a, R_B, L_a, L_B, d_E, d_M$ — коэффициенты уравнений электродвигателя; J — момент инерции якоря электродвигателя; M_H — момент сил сопротивления.

С целью расчета параметров СС для обеспечения устойчивости и качества слежения была предварительно составлена и исследована с помощью ЭВМ линеаризованная модель следящей системы:

$$\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi_p; \Delta U = K_d \Delta\varphi; U_s = K_u \Delta U;$$

$$U_s = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + C_E \frac{d\varphi}{dt};$$

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = C_M i_a - M_H; \varphi_p = K_p \varphi.$$

(2)

В результате решения задачи синтеза математической модели (2) установлены границы изменения коэффициента передачи редуктора и момента сил торможения $K_p = 2800 \dots 3300$, $M_H = 200 \dots 500$ Н·мм, при которых обеспечивается устойчивое решение без автоколебаний. На втором этапе задача синтеза реализовывалась на базе нелинеаризованных уравнений (1) на АВМ типа МН-7. В результате установлены величины $K_p = 3024$, $M_H = 400$ Н·мм, обеспечивающие устойчивую работу системы.

Программа включена в пакет прикладных программ "MATLAB" с использованием выполненных расчетов на ОЭЗ ГИУА была разработана и изготовлена конструкция следящей системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М. Наука, 1966. - 992 с.
2. Попов Е.П., Пальтов И.П. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. М. Физматгиз, 1960. - 792 с.

3. Карслян Э.В. Современные методы теории автоматического управления. Цветотипные методы анализа и синтеза многосвязных САУ: Уч. пос. / ЕрПИИ. - Ереван, 1991. - 123 с.

4. Atherton D.P. Stability of nonlinear systems. - Chichester: Wiley, 1981. - 243 p.

5. Матевосян П.А., Саркисян М.А., Мнацаканян М.Г., Абгарян С.В. Автоматическое устройство наведения и слежения // Элементы и технические средства систем управления: Межв. сб. научн. тр. / ЕрПИИ. - Ереван, 1989. - С. 6-9.

ГИУА

11.03.1997

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 1, № 2, 1997, с. 133 - 141.

УДК 519.8 (401.7)

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А.Г. НИКОГОСЯН

К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

Կատարված է արդյունաբերական տարրերի ստեղծման վերլուծությունը: Նշանակման և որակի ցուցանիշների ձևավորման գործընթացում դիտարկված են մշակման, արտադրության և շահագործման փուլերն իրենց վերլուծական և կարագրուսեր և գրաֆիկական պատկերացումը: Էլեկտրամագնիսական ռելեի օրինակով առաջարկված է արտադրության գործընթացի ձևական ներկայացումը, որը թույլ է տալիս ընդգծել կառուցվածքի տարրերի և պատրաստման գործողությունների պատճառահետևանքային կապերը:

Проведен анализ создания промышленных изделий. Рассмотрены этапы разработки, производства и эксплуатации с аналитическим описанием и графическим представлением процесса формирования показателей назначения и качества. Предложено формализованное представление процесса производства на примере электромагнитных реле, позволяющее выделить причинно-следственные связи элементов конструкции и операций изготовления.

Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

An analysis for producing manufactured products with their characteristics is performed. Stages of development, production and manufacture with analytical description and graphic representation of the forming process for purpose and quality indices are considered. Formal representation of production process is proposed with electromagnetic relays permitting to separate reason-consequence communication of construction elements and operation—making.

Ил. 4. Ref. 5.

Процесс удовлетворения технических потребностей общества начинается с прогнозирования и основывается на гипотезах, являющихся результатом:

— экстраполяции факторов текущего состояния объектов, подлежащих проектированию;

— выводов, сформированных на основе комплекса критериев, отвечающих прогнозированию будущего, рассматриваемого как результат критической оценки существующего состояния;

— потребностей общества.

Представленная схема указывает на важную роль этапов технического и рабочего проектирования, подчеркивая при этом неразрывную связь их с другими этапами и необходимость разработки конструкции изделия без отрыва от потребностей, требований производства и эксплуатации.

Сущность изделия определяется номенклатурой различных групп показателей, которые необходимо обеспечить на каждом этапе жизненного цикла. Для характеристики качества изделия одними из важнейших являются показатели назначения и надежности. При этом показатели назначения являются определяющими, а показатели надежности задаются относительно количественных характеристик показателей назначения и их изменения во времени.

При формировании требований, предъявляемых к проектированию изделий, используются следующие показатели качества:

- **функционирования**, характеризующие полезный эффект от использования изделия по назначению и область их применения;
- **надежности**, определяющие свойство изделия сохранять предъявляемые к ним требования назначения во времени;
- **технологичности**, характеризующие эффективность конструкторско-технологических решений для обеспечения высокой производительности труда при изготовлении и ремонте изделий;
- **эргономические**, характеризующие систему "человек — изделие — среда" и учитывающие комплекс гигиенических, антропологических, физиологических, психофизиологических и психических свойств человека, проявляющихся в производственных и бытовых условиях;
- **эстетические**, характеризующие внешние свойства изделия: выразительность, оригинальность, гармоничность, целостность, соответствующие среде и стилю;
- **стандартизации и унификации**, характеризующие степень использования в изделии стандартизованных узлов и уровень унификации составных частей изделия;
- **патентно-правовые**, отражающие степень патентной защиты конструкторских решений в изделии и ее патентную чистоту;
- **экономические**, характеризующие затраты на разработку, изготовление, эксплуатацию изделия и, как конечный итог, прибыль от производства и эксплуатации изделия.

На процесс формирования любого реального изделия влияют особенности этапов жизненного цикла изделия, начиная с замысла его создания и кончая завершением его эксплуатации. Наиболее существенным здесь является накопление необратимых изменений в изделиях при прохождении этапов, которые оказывают влияние на их свойства. Другими словами, последующие этапы наследуют свойства, привнесенные в изделие на предыдущих этапах.

Поскольку источниками необратимых изменений, влияющих на качество изделий, могут являться неконтролируемые возмущения, обусловленные воздействием различного рода факторов, жизненный цикл описывается как стохастический процесс и представлен в виде обобщенной схемы на рис. 1а. При этом аналитически жизненный цикл можно описать выражением

$$p(a_p, t^*) = B(u, w, t^*) A_u(a_u), \quad (1)$$

где $A_p(a_p, t^*)$ — реальное изделие со своими параметрами $a_p = (a_{p1}, a_{p2}, \dots)$;

$B(u, w, t^*)$ — оператор жизненного цикла; $A_u(a_u)$ — идеальное изделие со своим обобщающим показателем параметров назначения согласно замыслу.

то есть в данный момент времени t^* , как результат управляющих воздействий u и неконтролируемых возмущений w , накопленных им с момента замысла, то есть разработки технического задания (ТЗ) на создание изделия до рассматриваемого момента t^* ; $a_u = (a_{u1}, a_{u2}, \dots)$.

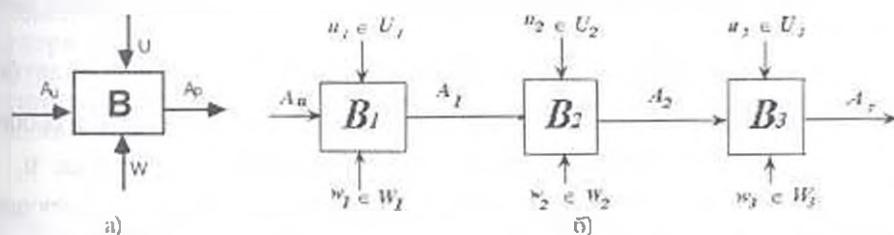


Рис. 1: а - обобщенная схема жизненного цикла изделия; б - структурная схема жизненного цикла изделия

Полезными входами схемы жизненного цикла являются состояние изделия согласно замыслу A_u и управляющие воздействия u . При этом надо различать два вида управляющих воздействий:

- неслучайные, фиксированные;
- случайные, вызванные паразитным входом неконтролируемых возмущений w .

Выходом схемы является реальное изделие, рассматриваемое в момент t^* . Этим моментом для примера могут быть как начало эксплуатации изделия, так и момент списания в связи с истечением срока эксплуатации. Для анализа необратимых изменений, влияющих на качество изделий на этапах жизненного цикла изделия, рассмотрим укрупненную последовательность этапов:

- разработка изделия, включающая, как правило, научно-исследовательскую работу (НИР) и опытно-конструкторскую работу (ОКР);
- производство изделия;
- эксплуатация изделия.

Согласно укрупненной последовательности этапов, оператор жизненного цикла выражения (1) может быть представлен как

$$B(u, w, t^*) = B_1(u_1, w_1)B_2(u_2, w_2)B_3(u_3, w_3), \quad (2)$$

где $B_1(\bullet)$, $B_2(\bullet)$, $B_3(\bullet)$ — соответственно операторы этапов разработки, производства и эксплуатации изделий; u_1, u_2, u_3 — управляющие воздействия на этих этапах; w_1, w_2, w_3 — неконтролируемые возмущения, возникающие в соответствующих этапах; t^* — фиксированный момент времени, отсчитываемый от начала эксплуатации, при котором оценивается полная совокупность необратимых изменений качества.

Тогда состояние изделий по этапам определяется в виде

$$A_1(a_1) = B_1(u_1, w_1)A_u(a_u),$$

$$A_2(a_2) = B_2(u_2, w_2)A_1(a_1), \quad (3)$$

$$A_1(a_1) = B_1(u_1, w_1)A_2(a_2) = A_p(a_p, t^*),$$

где $A_1(a_1)$, $A_2(a_2)$ — состояние изделия со своими объединяющими показателями параметров a_i на выходах этапов разработки и производства соответственно.

Таким образом, структурную схему этапов жизненного цикла изделия можно изобразить согласно схеме, представленной на рис. 16.

Оператор B с учетом этапов жизненного цикла изделия может быть представлен как

$$B(u, w) = B_1(u_1, w_1) \dots B_s(u_s, w_s), \quad (4)$$

где $B_i(u_i, w_i)$, $i = \overline{1, s}$ — оператор этапа жизненного цикла изделия; s — число, соответствующее количеству рассматриваемых этапов; u_i и w_i — управляющие воздействия и неконтролируемые возмущения, имеющие место на i -ом этапе.

При этом $u_i \in U_i$ — множество допустимых и недопустимых управляющих воздействий $u_i = (u_{i1}, \dots, u_{ij})$, $j = \overline{1, s}$ на i -ом этапе. Таким же образом $w_i \in W_i$ — множество возможных неконтролируемых возмущений $w_i = (w_{i0}, w_{i1}, \dots, w_{ij})$, $j = \overline{0, s}$ i -го этапа. Тогда текущее состояние изделия определяется как

$$A_i(a_i) = B_i(u_i, w_i)A_{i-1}(a_{i-1}), \quad i = \overline{1, s}, \quad (5)$$

где $A_i(a_i)$ и $A_{i-1}(a_{i-1})$ — текущие состояния изделия на выходе и входе i -го этапа соответственно; a_i и a_{i-1} — структура и совокупность параметров изделия на выходе и входе i -го этапа соответственно; $a_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$, $j = \overline{1, n}$, где a_{ij} — текущее значение конкретного j -го параметра.

Если рассматривать выражения (5) функционально, то $A_{i-1}(a_{i-1})$ является операндом, $B_i(u_i, w_i)$ — оператором, $A_i(a_i)$ — результатом операции. Учитывая рекуррентность выражения (5), можно написать

$$A_i(a_i) = B_i(u_i, w_i)A_0, \quad i = \overline{1, s}, \quad (6)$$

Причем $A_0 = A_0(a_0) = A_u$ — начальное состояние (идеальное по замыслу); $A_s(a_s) = A_p(a_p)$ — конечное состояние изделия (реальное изделие в момент времени t^*).

Выражения (1)-(6) описывают состояние изделия, как функцию последовательных преобразований на различных этапах жизненного цикла.

Текущее состояние структуры и параметров a_i однозначно связано с управляющими воздействиями u и неконтролируемыми возмущениями w , имеющими место на всех этапах: от 1-го до i -го включительно. В конечном итоге, совокупность управляющих воздействий определяет степень

соответствия a_{ij} с a_{j0} , где a_{j0} — начальное значение определенного j -го параметра. При этом возможно, что $a_{ij} = a_{pi}$, а $a_{j0} = a_{p0}$.

На этапе производства $A_2(a_2)$ решается главная задача материального воплощения разработанного на предшествующих этапах изделия.

Для решения вопросов создания системы управления процессами разработки изделия возникает необходимость формализации процессов изготовления, в частности, морфологического описания изделия как технической подсистемы, состоящей из взаимосвязанных элементов конструкции, представленной в виде графов с конечным множеством упорядоченных связей, задающих логику последовательности функционирования подсистемы. Такая формализация требует описания структуры и конструкторско-технологических свойств изделия, являющихся адекватным отображением нормативно-технической документации.

Представим модель производства в виде $A_i = B(u, w)D$, где A_i — реальное готовое изделие при $i = 0$; B — оператор производства, определяющий совокупность технологических операций в соответствии с принятым технологическим процессом; u, w — соответственно управляющие воздействия и неконтролируемые возмущения на этапе производства; D — полная совокупность комплектующих изделий, материалов, сырья, деталей, узлов, идущих на изготовление изделия.

В свою очередь, оператор B представляется в виде объединения (произведения) операторов:

$$B(u, w) = B_1(u_1, w_1) B_2(u_2, w_2) \dots B_k(u_k, w_k),$$

где B_1 — оператор сборки и изготовления; B_2 — оператор, характеризующий технологические процессы, стабилизирующие функциональные параметры, а с ними и показатели надежности и качества (наработка, регулировка, стабилизация и прочее); B_k — оператор контрольных операций.

Учитывая иерархический характер структуры изделия, как объекта сборки, и представляя D как совокупность $1, \dots, j, \dots, q$ реальных комплектующих изделий, узлов, деталей, материалов соответствующего уровня, заданных на этапе разработки, $D_i = \{A_{p_{i1}}, \dots, A_{p_{ij}}, \dots, A_{p_{iq}}\}$, $i = \overline{0, q}$, получим

$$A_{p_{i-1}} = B_{k(i-1)}(u_{k(i-1)}, w_{k(i-1)}) B_{k(i-1)}(u_{k(i-1)}, w_{k(i-1)}) \left[B_{c(i-1)}(u_{c(i-1)}, w_{c(i-1)}) A_{p_{ij}} \right],$$

где $A_{p_{i-1}}$ — реальное изделие (сборочная единица) $(i-1)$ -го уровня иерархии, учитывая, что готовое изделие соответствует верхнему (нулевому) уровню иерархии; $A_{p_{ij}}$ — реальная j -я единица сборки $(i-1)$ -го уровня.

Синтез функциональной структуры изделия с помощью построения многоуровневой структуры изделия и процесса производства, определяющей функциональные и конструктивные связи между элементами на разных уровнях разбиения, приведен на рис. 2.

Разбиение задачи на части на основе результатов функционального анализа изделия выполняется в два этапа:

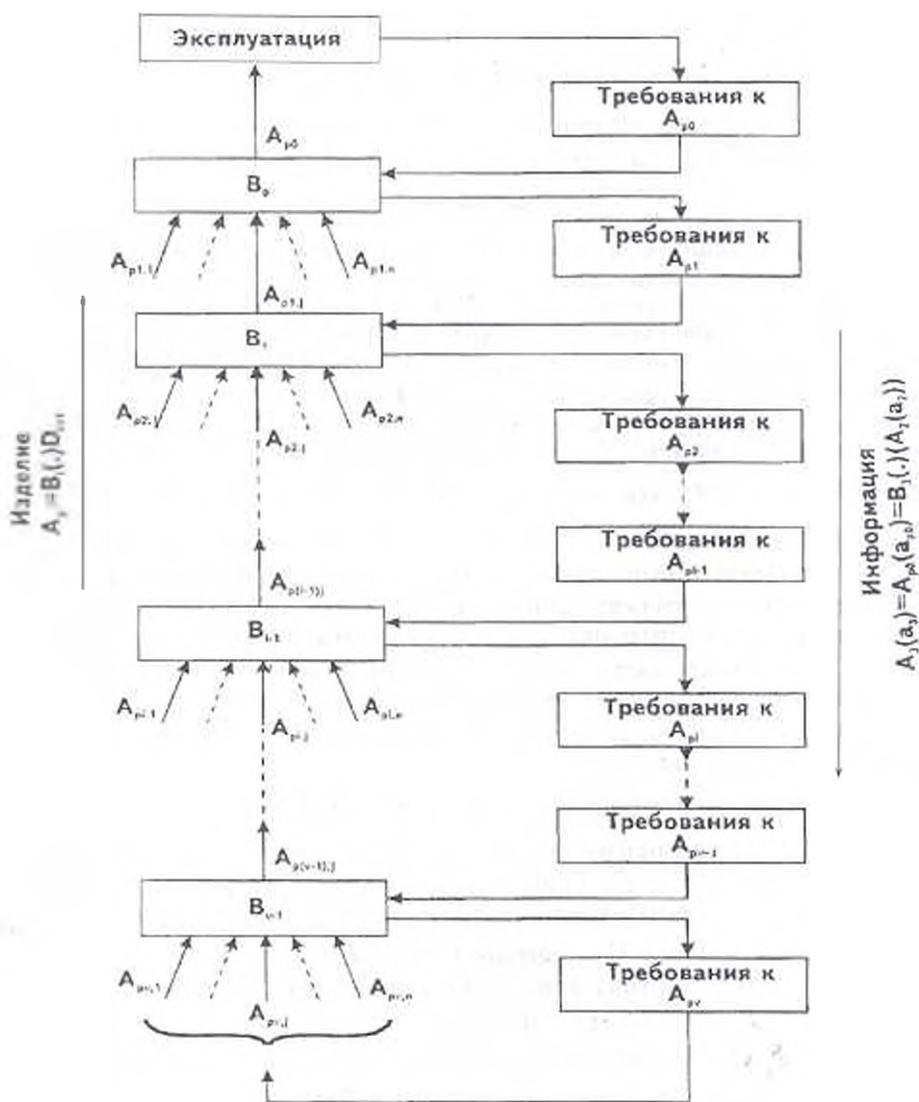


Рис. 2. Структура иерархической системы производства

- 1) выполнение многоуровневой структуры построения объектов проектирования;
- 2) выявление частных задач и их формулировка.

На примере слаботочных электромагнитных реле рассмотрим иерархическую структуру построения изделия, изображенную на рис.3, которая формируется на основе функционально-конструктивных и технологических связей взаимодействия элементов изделия на различных уровнях его разбиения.

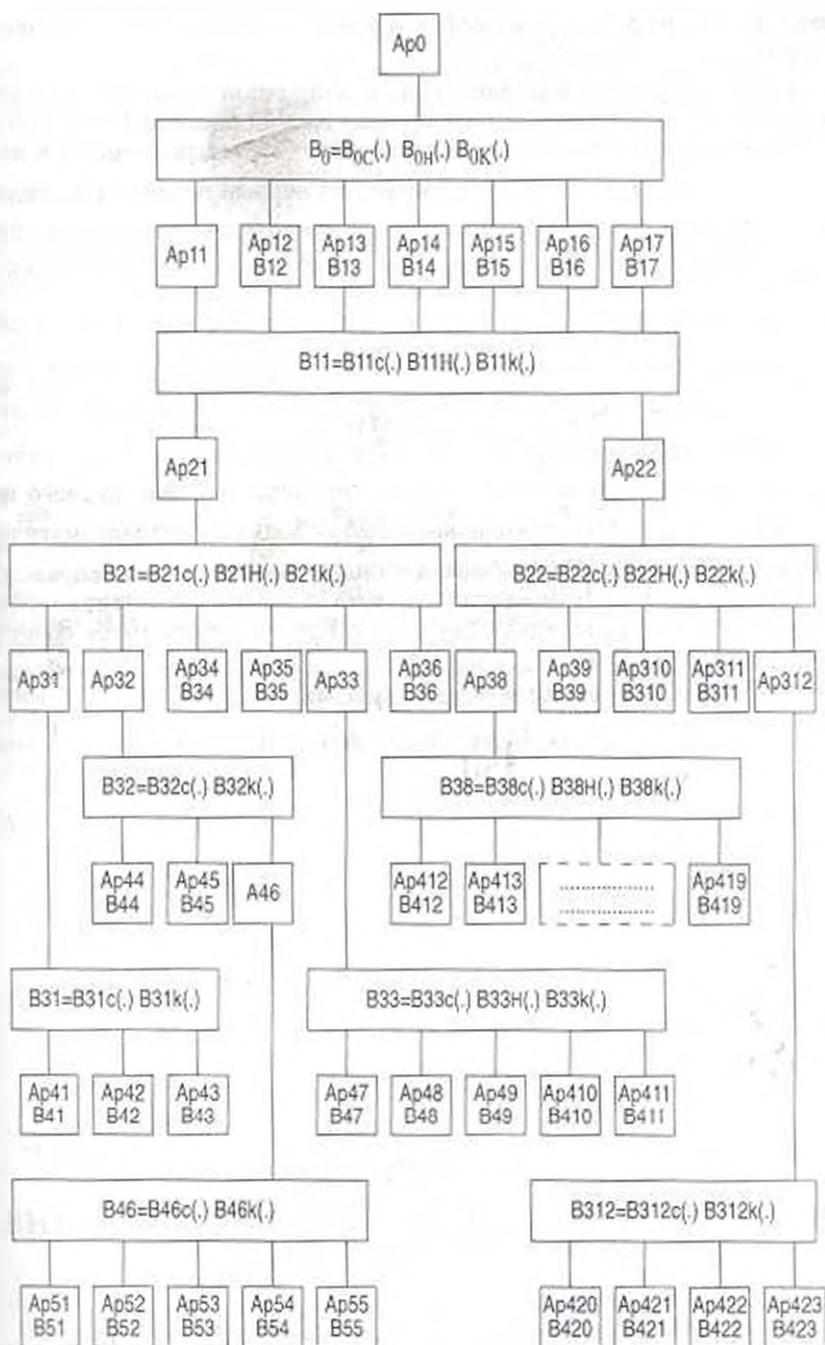


Рис. 3. Иерархическая структура построения электромагнитных реле поворотно-го типа

Введем описание структуры реле, как объекта сборки A_x , на основе графа $G_A(D, S)$, где D — элементарные объекты сборки (ЭОС); S —

ребра (дуги) графа, отражающие реальные связи между элементами конструкции.

Реле как готовое изделие назовем сборочной единицей 1-го уровня сложности. Тогда совокупность сборочных единиц располагается от 0-го до q -го уровня сложности. Введем нумерацию сборочных элементов из двух индексов с учетом иерархии, имея в виду, что первый индекс (i) определяет уровень иерархии, второй (j) - порядковый номер элемента для выделенного уровня иерархии. Для A_{pi} 1-го уровня сложности может быть выделено множество элементов $\{A_{pij}\}$, где $j = \overline{1, n}$, $i = \overline{0, q}$, входящих в состав декомпозиционного множества элементов, определяющих структурный состав элемента A_{pi} , где $i \in J_{ii}(q)$ задает множество индексов, определяющих состав элементов A_{pij} . Тогда описание структуры реле, как объекта сборки, в общем случае можно определять в виде единого графа $G_A = G_{A_0} = G_A(D, S)$, что одновременно можно считать математической моделью структуры реле как объекта сборки и по сути схемой сборки.

Представим процедуру формализации процесса сборки электромагнитного реле поворотного типа РЭС-49 на примере сборочной единицы верхнего уровня.

A_{p0} - готовое реальное изделие (рис. 4а)

	A_{p11}	A_{p12}	A_{p13}	A_{p14}	A_{p15}	A_{p16}	A_{p17}	
$G_{A_{p0}} =$	0	1	1	1	1	1	1	A_{p11}
	1	0	1	1	1	1	1	A_{p12}
	1	1	0	0	0	0	0	A_{p13}
	1	1	0	0	0	0	1	A_{p14}
	1	1	0	0	0	0	0	A_{p15}
	1	1	0	0	0	0	0	A_{p16}
	1	1	0	1	0	0	0	A_{p17}

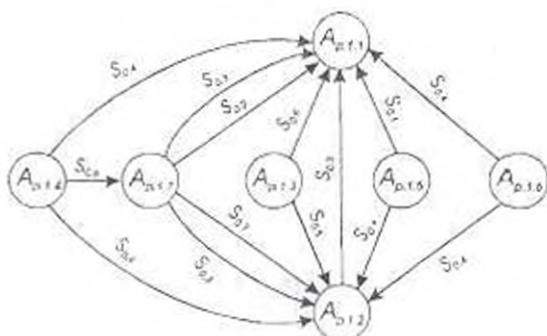


Рис. 4. Матрица и граф процесса сборки реле верхнего уровня

$A_{p0} = B_{0c}(\cdot) \{A_{p11}, A_{p12}, \dots, A_{p17}\} B_{0n}(\cdot) B_{0c}(\cdot)$, где $B_{0c}(\cdot)$, как оператор сборки и изготовления, содержит следующие операции (действия): S_{01} — промывка; S_{02} — лужение; S_{03} — пайка; S_{04} — заполнение очищенным воздухом; S_{05} — маркировка; S_{06} — лакировка, которые одновременно определяются как дуги S графа D_A , $i = 0, n = 7$, отражающие взаимосвязь совокупности элементов $\{A_{p11}, A_{p12}, \dots, A_{p17}\}$, при этом цифра 1 в матрице обозначает наличие, а 0 — отсутствие связей между вершинами графа.

Используя приведенный принцип формализации на примере оператора B , можно провести аналогичную процедуру и получить графы с матрицами процессов стабилизации и контроля (операторы B_{Π} и B).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровников Г.Н., Клебанов А.И. Прогнозирование в управлении техническим уровнем и качеством продукции. - М.: Из-во стандартов, 1984. - 232с.
2. Вятенберг М.И. Расчет электромагнитных реле. - М.: Энергия, 1975. - 414с.
3. Меткин Н.П., Щеглов В.А. Математические основы технологической подготовки гибких производственных систем. - М.: Из-во стандартов, 1985. - 255с.
4. Ройзен В.З. Электромагнитные малогабаритные реле. Л.: Энергоатомиздат, 1986. - 252с.
5. Рудык А.О., Любинский Д.Л. Технология миниатюрных реле. Л.: Энергоиздат, 1982. - 264с.

ГИУА

27.03.1997

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. L, № 2, 1997, с. 141 -147.

УДК 62-50

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А.С. ТАДЕВОСЯН

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

Արտաքին տնտեսական կապերը կարևոր նշանակություն ունեն «ՏՏ ազգային տնտեսության համակարգի ձևավորման գործում: Այս առումով իրական է դառնում տնտեսության սեփ այդ ենթահամակարգի դինամիկայի և նրա կայունության որոշման համաձայնահարությունը: Առաջարկվում է այդ խնդիրները լուծել համապատասխան տնտեսավիճակագրական ռեգրեսիայի մոդելների և էնթրոպիական մոդելավորման արարատի միջոցով: Բերվում է հստակարևի փաստագրի օրինակ:

Внешнеэкономические связи имеют важное значение в формировании национальной экономической системы в Армении. В связи с этим приобретает

значимость изучение динамики этой подсистемы хозяйства и определение ее устойчивости. Предлагается решение этих задач на основе экономико-статистических регрессионных моделей и аппарата энтропийного моделирования. Приводятся конкретные примеры расчета.

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

The international economic relations are mostly important in the process of formation of national economy in the Republic of Armenia. Regarding this the significance of this subsystem dynamics investigation and determination of its stability arises. It is proposed to solve these problems based on relevant economic-regressional models and by means of simulation entropy. An example of actual calculations is given.

Ил. 5. Табл. 2. Ref. 7.

Վիճակագրական հետազոտության ընթացքում պատճառահետեւանքային կապերի շնորհիվ բացահայտվում եւ պարզվում են երեւութների առնչությունները, որը հնարավորություն է ընձեռում վերլուծական եղանակով բացատրելու եւ պարզելու սոցիալ-տնտեսական երեւութների միջեւ գործող կապերը: Այդ իրականացվում է երեք փուլով:

Առաջին փուլում կատարվում է հիմնական պատճառահետեւանքների արտածումը եւ երկրորդականներից դրանց զատումը, այսինքն իրականացվում է բանակական վերլուծություն: Երկրորդ փուլը մաթեմատիկական եւ վիճակագրական ընդհանուր թեորեմների վրա հիմնված մոդելի կառուցումն է (բաշխում, խմբավորում եւ այլն) իսկ երրորդ փուլը արդյունքների մեկնաբանությունը [1]:

Արտաքին տնտեսական կապերի վիճակի զարգացման անհրաժեշտ ինֆորմացիայի ապահովումից բացի, վիճակագրության խնդիրների մեջ է մտնում նաեւ մեթոդների եւ տարբեր փոխկապակցված ցուցանիշների հետազոտումը, որոնք բնութագրում են ընդհանուր ԱՏԿ-ի դինամիկան եւ կառուցվածքային գործոնները: ԱՏԿ-ի վիճակագրությունը համարվում է տնտեսական վիճակագրության մի մասը, որի հիմնական նպատակն է ուսումնասիրել զանգվածային տնտեսական երեւութների եւ գործընթացների բանակական կողմը որակականի հետ սերտ կապի մեջ [2]: Այս բնագավառի հետազոտությունները բազմաթիվ են, սակայն ԳՂ նորաստեղծ ԱՏԳ-ի համար դրանք նոր են: Վիճակագրության խնդիրն է նաեւ որոշակի տնտեսական կատեգորիաների արտահայտումը փաստացի բանակական ցուցանիշներով: Այդ ցուցանիշներից են միջազգային կապերում երկրի մասնակցության չափը, արտահանման չափը ազգային եեւմտի կամ համախառն ազգային արդյունքում, կամ էլ դրա քանակական սահմանափակումը, ճկունության գործակիցը, միջազգային առեւտրում երկրի տեսակարար կշիռը եւ այլն:

ԳՂ անկախացումից հետո վիճակագրական վերլուծությունը ԱՏԳ-ի համար անհրաժեշտ բնույթ է կրում: Այս նոր ստեղծված համակարգը պահանջում է առաջադրված խնդիրների զիտական մոտեցում: Անցումային շրջանը ինչպես ԱՏԳ-ի, այնպես էլ տնտեսության այլ բնագավառների վրա բացասաբար ազդեց. նախկին ավանդական շուկաների կորուստը, ոչ մրցունակ ու անորակ ապրանքատեսականիով հագեցած նոր շուկաների հայտնաբերումը սկզբնական շրջանում պահանջում են այս ուղղության հավասարակշռված եւ խելացի կառավարում: Անհրաժեշտ է ամբողջովին ուսումնասիրել բնագավառը եւ ընդհանուր համակարգը, զտնել համակարգի վրա դրականորեն կամ բացասականորեն ազդող ցուցանիշները:

Երկա աշխատությանը փորձ է արվում հետազոտել անցումային շրջանում (1988-1995թթ.) տարեկան եւ 1993-1995թթ. եռամսյակային արտահանման, ներմուծման եւ զուտ արտահանման (սալդոյի) դինամիկան, եւ մոտակա տարիների համար (մինչեւ 1998 թվ.) տալ դրանց զարգացման կանխագուշակումը: Խնդրի լուծումը կատարվում է դինամիկայի շարքերի միջոցով [4.5].

Առաջադրված խնդիրները լուծելիս օգտագործվել են գծային եւ պարաբոլային հավասարեցումները, որոնք ունեն հետեւյալ տեսքերը

$$Y = A_0 + A_1 T \text{ եւ } Y = A_0 + A_1 T + A_2 T^2. \quad (1)$$

որտեղ T -ն ժամանակի պայմանական նշանակությունն է, իսկ A_0 -ն ցույց է տալիս արդյունավետ հատկությունների վրա միջինացված ազդեցությունը հաշվի չառնված գործոնների կողմից: A_1 -ը ռեգրեսիայի գործակիցն է, որը ցույց է տալիս, թե ինչքան է փոփոխվում արդյունավետ հատկությունը միջինում, եթե գործոնայինն ավելանում է մեկ միավորով: Վերլուծությունից երևում է, որ պարաբոլային հավասարեցումն ավելի մոտ է փաստայինին, քան գծայինը: Երեւութների միջեւ ոչ գծային առնչության դեպքում կապի խտությունը հաշվելու համար օգտագործվում է կոռելյացիոն հարաբերությունը [3].

$$\eta = \sqrt{\delta^2 / \sigma^2}. \quad (2)$$

որտեղ δ^2 -ն միջխմբային ցրվածությունն է պայմանավորված մեկ պատճառով (մեր օրինակում արտահանում, ներմուծում եւ զուտ արտահանում) եւ որոշվում է հետևյալ կերպ

$$\delta^2 = \sigma^2 - \bar{\sigma}^2. \quad (3)$$

իսկ (2) հատկանիշների ցրումը մյուս գործոնների հաշվին (առանց T -ի)

$$\bar{\sigma}^2 = \sum (Y - \bar{Y})^2 / (N - 1). \quad (4)$$

(4) -ում Y -ը փաստացի տվյալներն են, \bar{Y} -ը նրանց միջինն է, իսկ N -ը տվյալների քանակը:

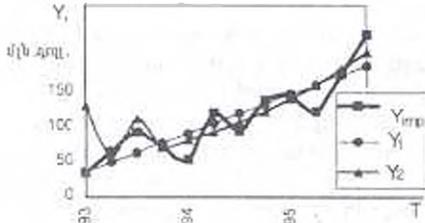
Որպեսզի բնութագրենք համախմբության համասեռությունը, միջին կայունությունը եւ այլ վիճակագրական գնահատականներ, օգտվենք փոփոխակալին գործակիցից

$$V = \sigma / \bar{V}. \quad (5)$$

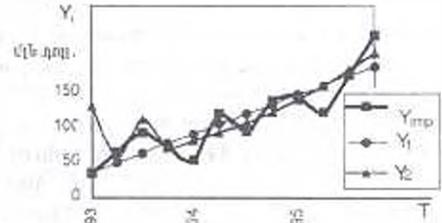
Ըստ ստացված արդյունքների $\eta_{\text{exp}} = 0.32$, $\eta_{\text{imp}} = 0.32$ եւ $\eta_{\text{total}} = 0.42$, այսինքն 1989-1995թթ. տարեկան վերլուծության դեպքում կապը թույլ է երաշխիքը գածոր, եւ հետագա կանխագուշակումը կարելի է անհիմաստ համարել: Եռամսյակայինի դեպքում արդյունքները հետևյալն են $\eta_{\text{exp}} = 0.90$, $\eta_{\text{imp}} = 0.59$, $\eta_{\text{total}} = 0.59$: Այստեղ արդեն ցուցանիշները անհամեմատ տարբերվում են տարեկան արդյունքներից (մկ. 1-5)

Սոաջին տարեկան արդյունքների դեպքում $V_{\text{exp}} = 0.91$, $V_{\text{imp}} = 1.01$ եւ $V_{\text{total}} = 0.68$: Ընդումները բավականին մեծ են, ինչը պատճառաբանվում է անցումային շրջանով եւ 37-ում 1992թ սկսված բարեփոխումներով: Այս պարագայում դրական կարող է համարվել միայն սալդոյի ցուցանիշը: Պատկերը միանգամայն այլ է եռամսյակայինի դեպքում $V_{\text{exp}} = 0.40$, $V_{\text{imp}} = 0.49$ եւ $V_{\text{total}} = 0.79$: Այստեղ դրական են արտահանման եւ ներմուծման արդյունքները, սակայն սալդոն մնում է վատ վիճակում: Այսինքն տարեկան տեսակարար կշիռի միջին ցուցանիշները համասեռ են, եւ կարճ ժամանակահատվածի միջակայքում ցրման աստիճանը ցածր է:

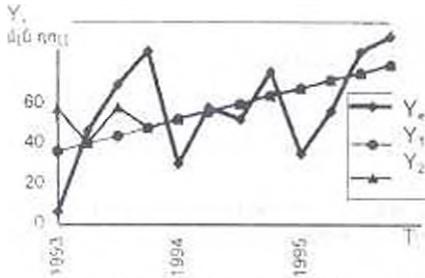
Պինամիկայի շարքի մակարդակների կայունության չափանիշ կարող է ծառայել հետևյալ մեծությունը $\mu = 1 - V$ [4]: Սեր օրինակում տարեկան արդյունքների դեպքում ստացվում է $\mu_{\text{exp}} = 0.10$, $\mu_{\text{imp}} = 0$, $\mu_{\text{total}} = 0.32$, իսկ կիսամյակայինի դեպքում $\mu_{\text{exp}} = 0.60$, $\mu_{\text{imp}} = 0.51$, $\mu_{\text{total}} = 0.21$: Ինչքան մոտ է այս ցուցանիշը 1-ին, այնքան այդ շարքի կայունության աստիճանը բարձր է:



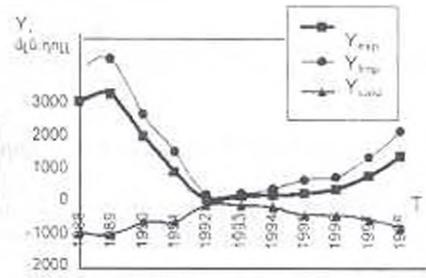
Նկ 1. Եռամսյակային ներմուծում. Y_{imp} -ն արտահանման ծավալների բեկյալն է. Y_1 -ը զծային հավասարեցման ուղիղն է և Y_2 -ը 2-րդ կարգի հավասարեցման կորը



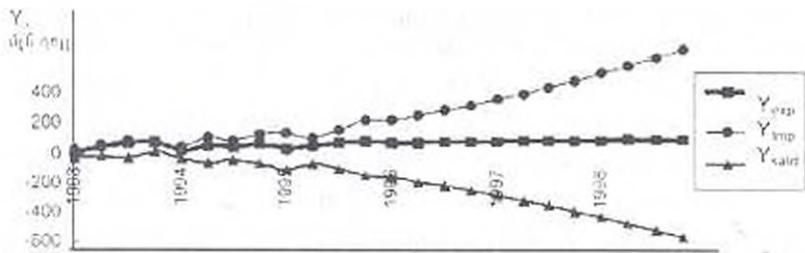
Նկ 2. Եռամսյակային սալդո (նշանակումները նման են նկ 1-ին)



Նկ 3. Եռամսյակային արտահանում (նշանակումները նման են նկ 1-ին)



Նկ 4. Տարեկան կանխագուշակում մինչև 1998 թ. (նշանակումները նման են նկ 1-ին)



Նկ 5. Եռամսյակային կանխագուշակում մինչև 1998 թ. (նշանակումները նման են նկ 1-ին)

Ուսումնասիրված մոտեցումը դինամիկայի վերլուծության համար համապիտանի համակարգ է. Այն իրականացնում է տնտեսադինամիկական վերլուծության միայն մեկ տեսակետ թափի եւ համամասնության: Բնական է, որ ընդհանուր դինամիկայի տնտեսական վերլուծության համար այն պետք է լրացվի արտաքին տնտեսական համակարգի վրա ազդող գործոնների եւ ընդհանուր համակարգի կայունության վերլուծություններով. Կանգ առնենք ուսումնասիրվող համակարգի կայունության զննահատման հնարավոր տարբերակի բնութագրման վրա:

Տրամաբանական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ այս խնդիրը հնարավոր է լուծել տարբեր եղանակներով: Առավել հեռանկարային մեթոդ է համարվում էնթրոպիական զննահատականների օգտագործման հնարավորությունը: Այդպիսի ընտրությունը կանխորոշում է մի կողմից օբյեկտիվ ամորոշության գործոնների հաշվի առնելու հնարավորությունը, իսկ մյուս կողմից հաշվարկային ապարատի գործնական իրականացման պարզագույն ձևը:

Մինչև ստացված արդյունքների վերլուծությունը նպատակահարմար է կանգ առնել ապարատի հիմնական հասկացությունների վրա:

Էնթրոպիա հասկացությունը համապատասխանեցված է անորոշության հետ՝ Այն առաջացել է 50-ական թվականներին: Անորոշությունը համարվում է կազմակերպվածության, հաջորդականության, համակարգվածության հակադրությունը. սրանք էլ իրենց հերթին համարվում են ցանկցած զորոտղ համակարգի անբաժանելի մասերը: Էնթրոպիան լայն կիրառում է ստացել տարբեր համակարգերի ուսումնասիրման եւ հետազոտման գործընթացներում: Առավել հետաքրքիր են տնտեսական համակարգերին վերաբերող էնթրոպիայի գնահատականները: Ներկայումս տնտեսական համակարգեր հանդիսացող ձեռնարկությունները եւ ֆիրմաները գնահատվում են մեծաքանակ ցուցանիշներով՝ Երբ այս ցուցանիշներն ունենում են նույն մեծությունները եւ զարգանում են մեկ ուղղությամբ, գնահատել այդ համակարգը բավականին դյուրին է: Երբ դրանք տարբեր են եւ ունեն հակադարձ մեծություններ կամ դինամիկա, ապա հնարավոր է այդ համակարգի կայունությունը, առանձին տարրերի եւ ցուցանիշների միջեւ եղած կապերի ամրությունը գնահատել միմիայն էնթրոպիայի միջոցով:

Վերլուծելով էնթրոպիայի եւ համակարգի կազմակերպվածության միջեւ որակական կապերի առկայությունը այնուհետեւ կարելի է անցնել էկոնոմիկամաթեմատիկական մոդելի եւ հետեւել նրա վրա ազդող համակարգի առանձնահատուկ գծերին: Հայտնի է, որ համակարգի անորոշությունը բնութագրվում է ոչ միայն նրա հնարավոր վիճակների թվով, այլ նաեւ այդ վիճակների հավանականությամբ: Եթե ունենք մի X համակարգ, ապա այն կարող է գտնվել $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ վիճակներում. համապատասխան $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$

հավանականություններով: Ակնհայտ է, որ $\sum_{k=1}^N P_k = 1$: Որպես համակարգի

անորոշության գնահատման միջոց հանդես է գալիս էնթրոպիան. որը համաձայն [7]-ի

$$H = - \sum_{k=1}^N P_k \log P_k \quad (6)$$

(6)-ում P_k մեծությունն այն հավանականությունն է, որ ինֆորմացիայից պարամետրը կընդունի արժեք k միջակայքի K տեղամասից:

Սիավորված համակարգերի էնթրոպիան արտահայտվում է հետեւյալ բանաձեւով

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_N = \sum_{i=1}^N H_i \quad (7)$$

Նպատակահարմար է դառնում որոշել հաշվարկային էնթրոպիայի եւ իր առավելագույն արժեքի հարաբերական տարբերությունը

$$\Delta_1 = \left| \frac{(H_{\max} - H_1)}{H_{\max}} \right| \cdot 100\% \quad (8)$$

Հաշվի առնելով էնթրոպիայի զուսմարելիության հատկությունը կարելի է որոշել ընդհանուր համակարգի էնթրոպիան

$$H_{\text{սոր}} = \sum_{i=1}^N H_{i, \text{սոր}} \quad (9)$$

$$\Delta_{\text{սոր}} = \left| \frac{(H_{\text{սոր max}} - H_{\text{սոր}})}{H_{\text{սոր max}}} \right| \cdot 100\% \quad (10)$$

Ունենալով նախկին արտահանման (y_1), ներմուծման (y_2) եւ ազգային եկամտի (y_3) ցուցանիշները էնթրոպիայի միջոցով կատարվել է ընդհանուր համակարգի եւ նրա տարրերի միջեւ կապերի կայունության հաշվարկ [5, 6] (աղ. 1-4)

USA-ի վրա ազդող տարեկան ցուցանիշների դինամիկան

Տարի	Y1.	Y2.	Y3.	Շեղումը միջինից, %		
	մլն դոլլար	մլն դոլլար	մլն դոլլար	a	b	c
1988	3045.1	4010.5	10138.7	1.5	1.3	1.4
1989	3266.5	4334.4	11153.2	1.6	1.5	1.6
1990	2001.5	2644.8	8720.7	0.6	0.5	1.0
1991	896.1	1517	2303.2	0.3	0.1	0.5
1992	82.9	205.9	255.2	0.9	0.9	0.9
1993	156.2	254.2	307	0.9	0.9	0.9
1994	215.2	393.8	548.3	0.8	0.8	0.9
1995	270.9	673.9	911.9	0.8	0.6	0.8

Էնթրոպիան որոշելու հաշվարկային գուցանիշներ

Սիջակայքեր	Սիջակայքի մեջ ընկնելու a հաճախ.			Սիջակայքի մեջ ընկնելու b հաճախ.			Սիջակայքի մեջ ընկնելու c հաճախ.		
	P_i	$\lg P_i$		P_j	$\lg P_j$		P_k	$\lg P_k$	
0,10-0,29	0	0	-	1	0,13	-0,90	0	0	-
0,29-0,40	1	0,13	-0,90	0	0	-	0	0	-
0,48-0,60	1	0,13	-0,90	2	0,25	-0,60	1	0,13	-0,90
0,67-0,80	2	0,25	-0,60	1	0,13	-0,90	1	0,13	-0,90
0,86-1,00	2	0,25	-0,60	2	0,25	-0,60	4	0,5	-0,30
1,06-1,20	0	0	-	0	0	-	0	0	-
1,25-1,40	0	0	-	1	0,13	-0,90	1	0,13	-0,90
1,44-1,60	2	0,25	-0,60	1	0,13	-0,90	1	0,13	-0,90

Նույնը կատարենք եռամսյակային ցուցանիշների համար: Այնուհետև հաշվարկելով ստանում ենք էնթրոպիայի հետևյալ մեծությունները

	H_1	H_2	H_3	H_{max}
տարեկան (year)	0,677,	0,752,	0,602	1,000,
եռամսյակային (quarter.)	0,709,	0,79,	0,85,	1,000:

Համեմատելով այս ցուցանիշները կարելի է պնդել, որ տարեկանի դեպքում առավել էնթրոպիա ունի մերմուծումը ($H_2 = 0,752$): Չետեաքար արտաքին տնտեսական զործունեության համակարգում այս ցուցանիշն ունի ամենափոքր կայունությունը: Եվ հակառակը ազգային եկամուտը ($H_3 = 0,602$) համակարգում ունի ամենամեծ կայունությունը. իսկ արտահանումը ($H_1 = 0,677$) հանդես է գալիս որպես միջանկյալ ցուցանիշ:

Եռամսյակայինի դեպքում համակարգի ամրության վրա բացասաբար է ազդում ազգային եկամտի ցուցանիշը. իսկ դրական $H_1 = 0,709$ ցուցանիշը: Ըստ այս ցուցանիշների կարելի է հանգել հետևյալ եզրակացությունների. առավել մեծ էնթրոպիան որոշվում է հավասար հավանականություններով, այսինքն համակարգի

կայունությունը տատանվում է որովհետև ցուցանիշները տարբեր են: Ինչքան մեծ է տարբերությունը H_{max} -ից, այնքան բարձր է համակարգի կայունությունը:

Հարաբերական տարբերությունների արդյունքներն են

	Δ_1	Δ_2	Δ_3
տարեկան (year)	32,26,	24,77,	39,77,
եռամսյակային (quatr.)	29,10,	20,96,	14,07:

Ընդհանուր համակարգի էնթրոպիան մեր դեպքում

$H_{sum\ max} = 3,00$, $H_{sum\ year} = 2,03$ եւ $H_{sum\ quatr} = 2,35$, իսկ $\Delta_{sum\ year} = 32,3\%$ եւ

$\Delta_{sum\ quatr} = 21,4\%$:

Անձ էնթրոպիան նշանակում է որ տարեկան կտրվածքով առկա են արտահանման եւ ներմուծման ցուցանիշների տատանումներ, ինչը բնութագրում է ընդհանուր համակարգի աշխատանքի բացասական արդյունքները: Բացասական արդյունքների հետեւանք է նաեւ այդ համակարգի նոր ձեւավորման գործընթացը:

ՀՀ մուտքը միջազգային շուկա բարդ գործընթաց է, որը տասնամյակներ կտեւի: Սակայն ներկա պահին եզրակացությունը միակն է ՀՀ ԱՏԿ-ն կայացել է եւ անցել հաջորդ փուլ դեպի զարգացում: Վերջինիս դինամիկան իր հերթին պահանջում է արտահանման առավել կարգավորված գործընթաց պետության անմիջական միջամտությամբ, որը եւ կփոխհատուցի արտասահմանյան մեծ վարկերով պայմանավորված ներմուծման բացասական ազդեցությունը [6]:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Елиссеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. - М.: Наука, 1996. - 368 с.
2. Эддоус М., Стенофилд Р. Методы принятия решений - М.: Банки и Биржи, 1977. - 590 с.
3. Овсиенко В.Е., Голованова Н.Б. и др. Сборник задач по общей теории статистики. - М.: Статистика, 1986. - 191 с.
4. Пасхажер И.С., Яблоник А.Л. Общая теория статистики. - М.: Финансы и статистика, 1983. - 426 с.
5. Հայաստանի վիճակագրական տարեգրքեր, 1991, 1992, 1993, 1996 թթ. - Երևան, 1997.
6. Путеводитель иностранного инвестора / Министерство экономики РА. - Ереван, 1996. - 107 с.
7. Цыгычко В.Н. Руководителю - о принятии решений. - М.: Финансы и статистика, 1991. - 240 с.

ГИУА

23.01.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 2, 1997, с. 147 - 151.

УДК 621.382.1

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

С.Х. ХУДАВЕРДЯН, Г.Э. ГРИГОРЯН, В.В. ГРИГОРЯН, К.Б. ГАРИБЯН

СТРУКТУРА М-П/П-М С ИНВЕРСИЕЙ ЗНАКА ФОТОТОКА

Մշակված են Մ-ԿԿ-Մ ֆոտոդիսկոնիչային կառուցվածքներ, ոլտոցում կիսահաղորդիչը լազերային վերադրոնեղացումից բարակ շերտ է: Ստացված է ֆոտոդիոսանքի նշանակության փորձնական կոր, որը տեսանկարեն հիմնավորված է: Տրված է երևույթի ֆիզիկական բացատրությունը:

Разработаны фотоприемные структуры М-П/П-М с лазерно-рекристаллизованной тонкой полупроводниковой базой. Экспериментально получена и теоретически обоснована смена знака фототока на спектральной характеристике. Дана физическое объяснение явления.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

M-SC-M photoreceiving structures with laser recrystallized thin semiconductor base are elaborated. Inversion of photocurrent symbols based on the spectral description is experimentally proved and theoretically stated. The effect was explained physically.

Fig. 2. Ref. 3.

В области развития трехмерных интегральных схем (ТМИС) важное место занимает формирование многофункциональных активных элементов, в частности, датчиков электромагнитного излучения во втором и последующих рекристаллизованных слоях. Эти датчики, наряду с высокой эффективностью регистрации излучения, должны обладать высоким быстродействием, поскольку рекристаллизованная базовая область узкая (≤ 1 мкм) и обеспечивает малые времена пролетов носителей заряда через эту базу ($\approx 10^{-11}$ с). Были проведены успешные попытки создания фотодиодов во втором слое с мелким р-п-переходом, у которых токи утечки не превышали 10^{-13} А/мм² [1]. Сведения о формировании рекристаллизованного слоя на металлической пленке в известной нам литературе отсутствуют. Между тем, если на металлической пленке провести рекристаллизацию тонкого слоя поликремния, то в процессе может образоваться тыловой барьер Шоттки и становится возможным получение структуры М-П/П-М с двумя противоположно направленными барьерами Шоттки, которые оказывают влияние на фотоотклик прибора.

Работа посвящена разработке фотоприемных структур М-П/П-М с лазерно-рекристаллизованной базой, а также анализу и расчету влияния двух барьеров Шоттки по обе стороны базы на процесс регистрации фотосигнала. Метод рекристаллизации лазерным лучом удобен для изготовления ТМИС, поскольку он позволяет в процессе рекристаллизации поддерживать температуру пластины на достаточно низком уровне, чтобы не разрушить или существенно не изменить параметры уже сформированных нижних слоев приборов.

В экспериментах был применен метод рекристаллизации, описываемый в [2]. Подверглась рекристаллизации пленка n-Si толщиной ~ 1 мкм, полученная вакуумным напылением на подложке со структурой Si-SiO₂-Ti (рис. 1а). Пленка титана была получена катодным распылением. В процессе рекристаллизации для снятия механических напряжений подложка нагревалась до 600°С. При этом одновременно были образованы силициды титана (TiSi₂) и прочный барьер Шоттки Si-TiSi₂ высотой $\sim 0,6$ мВ. Энергия лазерного пучка и скорость сканирования поверхности пластины выбраны таким образом, чтобы пленка поликремния плавилась по всей толщине и рекристаллизация шла из сплава. При этом получались полностью монокристаллические зерна кремния площадью несколько тысяч квадратных микрометров. Сложность выращивания зерен большей площади связана с тем, что кристаллизация начинается по краям зерен, которые охлаждаются быстрее, чем другие участки.

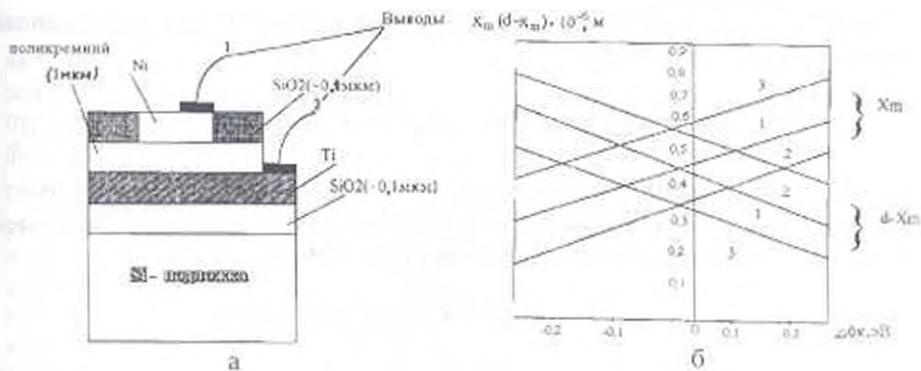


Рис. 1. а - структура образца; б - зависимость $X_m = f(\Delta\phi_k)$ при 1 - $qV=0$ эВ; 2 - $qV=-0,2$ эВ; 3 - $qV=0,2$ эВ

Вторым барьером Шоттки служит полупрозрачный слой никеля, нанесенный вакуумным напылением. Высота барьера, оцененная из данных С-V-метрии, составляет 0,5 эВ. Таким образом, образуется структура М-П/П-М с двумя противоположно направленными барьерами Шоттки. База между ними из кремния n-типа ($n \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$) узкая ($d \leq 1 \text{ мкм}$) и вся перекрыта объемными зарядами двух барьеров. Минимум энергетического потенциала находится на x_m (рис. 2а) и зависит от высот двух барьеров и от приложенного внешнего напряжения. Считая, что x_m - ширина области объемного заряда первого, а $(d - x_m)$ - второго барьерных переходов, и учитывая также влияние внешнего напряжения [3], можно записать

$$(x_m) = 2\epsilon\epsilon_0(\phi_{k1} \pm qV_1)/q^2n; (d - x_m) = 2\epsilon\epsilon_0(\phi_{k2} \mp qV_2)/q^2n,$$

где V_1 и V_2 - значения падающего напряжения на первый и второй барьеры.

Из решения этих уравнений получим следующее выражение для x_m :

$$x_m = 0,5d + 2\epsilon\epsilon_0(\phi_k \pm qV)/q^2nd. \quad (1)$$

где $\Delta\phi_k = \phi_{k1} - \phi_{k2}$ - разница высот двух барьеров Шоттки, а $V = V_1 + V_2$ - приложенное внешнее напряжение. При отрицательном напряжении первый барьер смещен в прямом направлении, а второй - в обратном. При положительном - наоборот. Для $d - x_m$ получим

$$d - x_m = 0,5d - 2\epsilon\epsilon_0(\phi_k \pm qV)/q^2nd. \quad (2)$$

На рис. 1 б показаны характеристики зависимостей $x_m = f(\Delta\phi_k)$ при разных значениях напряжения смещения. Видно, что при одинаковых высотах барьеров ($\Delta\phi_k, V = 0$) $x_m = 0,5d$, а при их отличии друг от друга x_m смещается в сторону барьера меньшей высоты.

При вычислении фототоков первого и второго барьеров мы можем не учитывать рекомбинацию носителей в области объемного заряда, а также диффузионный ток, что вполне оправданно, так как база узкая и полностью перекрыта объемными зарядами двух переходов, где основную роль играет дрейф носителей. Учитывая, что поглощение света, а следовательно, и число фотогенерированных пар, по глубине от поверхности подчиняются экспоненциальному закону Бугера-Ламперта, и принимая, что в области $0 < x \leq x_m$ генерированные носители разделяются первым барьером, а в

области $x_m < x < d$ - вторым, можно для числа фотоносителей, разделенных первым переходом, написать

$$P_1 = S \int_0^{x_m} P_0 e^{-\alpha x} dx = P_0 S (1 - e^{-\alpha x_m}) / \alpha,$$

где P_0 - концентрация фотоносителей у поверхности; S - светочувствительная площадь. α - коэффициент поглощения. А для числа носителей заряда, разделенных вторым барьерным переходом, имеем

$$P_2 = S \int_{x_m}^d P_0 e^{-\alpha x} dx = P_0 S (e^{-\alpha x_m} - e^{-\alpha d}) / \alpha.$$

Тогда фототок первого перехода будет равен

$$I_{\phi 1} = q S P_0 (1 - e^{-\alpha x_m}) / \tau_p \alpha, \quad (3)$$

а второго перехода

$$I_{\phi 2} = q S P_0 (e^{-\alpha x_m} - e^{-\alpha d}) / \tau_p \alpha, \quad (4)$$

где q - заряд электрона; τ_p - время жизни неосновных носителей в базе.

Результирующий фототок есть разница этих двух фототоков:

$$I_0 = q S P_0 [(1 - e^{-\alpha x_m}) - (e^{-\alpha x_m} - e^{-\alpha d})] / \tau_p \alpha. \quad (5)$$

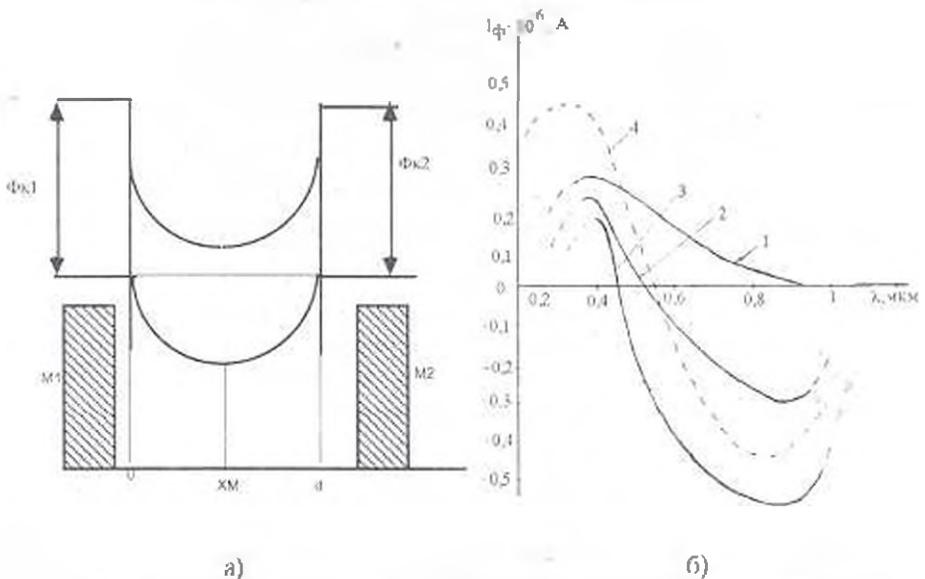


Рис. 2: а - энергетическая зонная диаграмма структуры; б - спектральная зависимость фототока структур М-П/И-М при x_m и Φ_k : 1 - 0,5 мкм и 0 эВ; 2 - 0,4 мкм и 0,15 эВ; 3 - 0,3 мкм и -0,3 эВ; 4 - 0,42 мкм и -0,1 эВ

На рис. 2 представлены спектральные характеристики: теоретическая по формуле (5) (рис. 2, кр. 1-3) и экспериментальная - для структур Ni-p-Si-Ti (кр. 4), приведенные для одинакового числа квантов. По разнице высот барьеров ($\Delta\Phi_k$) кривые 4 и 2 близки друг другу, однако максимумы длинноволнового и коротковолнового фототоков на экспериментальной кривой получаются больше. Это объясняется тем, что "хвостовая часть"

квантов, поглощенных на глубине от $x = d$, не учитывалась (в формуле (4) интегрирование проводилось от x_m до d), между тем эксперименты показывают, что часть квантов не проходит через тыловой контакт титана, а отражается от него во внутрь кремния, где генерируют дополнительные фотоносители, которые разделяются как первым, так и вторым барьерами, увеличивая их фототок. Как видно из рис. 2, с уменьшением $|\Delta\phi_x|$ уменьшается максимум отрицательного фототока и увеличивается положительный фототок, при этом точка инверсии (точка нуля) смещается в длинноволновую сторону. Это очевидно, поскольку с уменьшением разницы высот барьеров, из-за экспоненциального закона поглощения квантов электромагнитного излучения, доля фототока тылового барьера уменьшается. Этому уменьшению препятствует увеличение длины волны падающего излучения (глубины поглощения). При $\Delta\phi_x = \phi_{x1} - \phi_{x2} \geq 0$ на всех длинах волн доминирует положительный фототок (рис. 2, кр. 1).

Таким образом, структуры М-П/П-М с двумя барьерами Шоттки с рекристаллизованной тонкой базой имеют ярко выраженную коротковолновую чувствительность, и в них проявляется эффект смены знака фототока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксака Я. Тенденции развития трехмерных интегральных схем // ТИИЭР. - 1986. - Т. 74, № 12. - С. 120-132.
2. Авагян А.Х., Дохолян Ж.Г., Худавердян С.Х. Метод лазерной рекристаллизации тонких поликристаллических слоев // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1991. - Т. XLIV, № 5-6. - С. 222-226.
3. Բունիաթյան Վ.Վ., Հարությունյան Վ.Ս. ԳԻՏ կիսահաղորդչային սարքեր. Երևան, 1996. Մ. 1. - 224 էջ:

ГИУА

24.02.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L, № 2, 1997, с. 151-154

УДК 532.5.072.12

ГИДРАВЛИКА

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОМОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ РЕК

Դիտարկվում է լեռնային գետերի հիդրոակազիական պարամետրերի որոշման խնդիրը՝ ըստ չափողականության տեսության և նմանության չափանիշների: Գերաբարձրական կարվածքով հունների համար դինամիկական կայունության դեպքում ստացվել են հաշվային բանաձևեր գլանոց լայնության, խորության և միջին արագության որոշման համար: Նաատասուել է չափանիշ, որով բնորոշվում է գետերի և ջրանցքների ուղղաձգային տեղահաստի դինամիկական կայունության պահպանման և խախտման պայմանը:

Рассмотрены решения задачи по определению гидроморфометрических параметров горных рек с применением теории размерности и критериев подобия. Получены расчетные формулы для ширины, глубины и средней скорости на вертикали в случаях сохранения их динамической устойчивости. Установлены

критерии, при которых сохраняется и нарушается динамическая устойчивость для прямолинейных участков рек и каналов.

Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

Hydromorphometric parameter specification problem solving is viewed using dimensional theory and similarity criteria. For new channels with a parabolic section design formulas are obtained for their width, depth and average speed vertically preserving dynamic stability. Criteria are formulated when dynamic stability is preserved and disturbed for straight line parts of rivers and channels.

[66.1]. Ref.6.

В результате длительного взаимодействия двухфазного потока и русла обнаруживается взаимосвязь между шириной, глубиной, геометрическим уклоном, крупностью русловых отложений, радиусом искривления и др. параметрами, получившими название морфометрических. Морфометрические соотношения объединяют элементы, характеризующие поперечные и продольные плановые формы русла.

В отличие от морфометрических, гидроморфометрические зависимости содержат не только геометрические, но и гидравлические элементы руслового потока (расход воды, скорость течения, гидравлический уклон, коэффициент шероховатости и др.). Эти соотношения ввиду сложности руслового процесса и отсутствия теоретически обоснованных гидромеханических связей широко используются при практических расчетах устойчивых участков рек, их искусственном регулировании и г.д.

Выделяются 4 группы зависимостей морфометрического и гидроморфометрического типа на прямолинейных участках рек: 1 - эмпирические, 2 - полученные на основе уравнений регрессии и неразрывности, 3 - полученные на основе принципа размерностей и уравнений неразрывности, 4 - полученные на основе уравнений Шези, неразрывности, а также дополнительных условий. В [1-3 и др.] предложены простые соотношения между шириной и глубиной, шириной и расходом рек, средним диаметром русловых отклонений и уклоном рек, а также между радиусом искривления, расходом и уклоном рек и г.д. Так как указанные соотношения недостаточно полно отражают гидроморфометрические характеристики русловых процессов, то возникает необходимость уточнения параметров, необходимых при регулировании русел, водоприеме, создании бьефов и других проектных и эксплуатационных работах.

Целью работы является выявление взаимосвязи между руслообразующим расходом Q , шириной по урезу B , средней глубиной потока H и средней скоростью сечения V с использованием законов динамики руслового процесса, речной гидравлики, гидрологии, а также результатов натуральных и лабораторных исследований.

Рассмотрим задачи определения гидроморфометрических характеристик, когда речной поток находится в состоянии равновесия, при котором воздействие потока и русла принимается квазиравновесным [4.5] и параметры связаны с показателем степени параболы m , схватывающей русло реки, и котангенсом угла внутреннего трения грунта m_0 . Применяя теорию размерности, имеем

$$\begin{aligned} B &= K_1 Q^{X_1} (g_i)^{Y_1} (H_i)^{Z_1}, \\ H &= K_2 Q^{X_2} (g_i)^{Y_2} (H_i)^{Z_2}. \end{aligned} \quad (1)$$

$$V = K_1 Q^{X_1} (gl)^{Y_1} (Hl)^{Z_1},$$

где $X_1, Y_1, Z_1, j=1,2,3$ – неизвестные показатели, значения которых определяются по теории размерности; K_1 – безразмерный коэффициент пропорциональности. При этом

$$B = K_1 Q^{0.4} (gl)^{-0.2}, \quad H = K_1 Q^{0.4} (gl)^{-0.2}, \quad V = K_1 Q^{0.2} (gl)^{0.2}. \quad (2)$$

С другой стороны, для параболического сечения русла имеем

$$B = 2m_0 H_{\max} \cdot \omega = \frac{KB}{K+1} H_{\max}, \quad H = \frac{K}{K+1} H_{\max}. \quad (3)$$

где ω – площадь сечения русла; K – неизвестный коэффициент.

Принимая $a=2K$, определяя из третьего уравнения системы (3)

$H_{\max} = H(a+2)/2$, а также используя уравнение Шези $Q = \omega c \sqrt{HL}$, получим

$$B = \frac{[(a+2)m_0]^{0.6} Q^{0.4}}{c^{0.4} i^{0.2}}, \quad H = \frac{Q^{0.4}}{[(a+2)m_0]^{0.4} c^{0.4} i^{0.2}}. \quad (4)$$

$$V = \frac{Q^{0.2} c^{0.8} i^{0.4}}{[(a+2)m_0]^{0.2}}, \quad B/H = (a+2)m_0,$$

где c – коэффициент Шези.

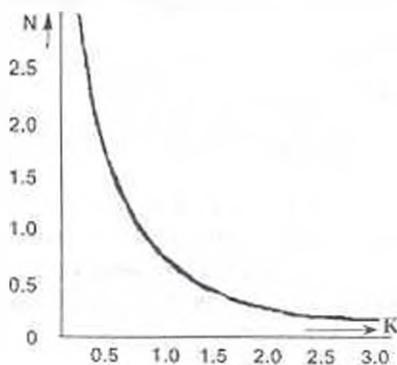


Рис. График $K=f(N)$

Путем совместного решения (4) и (2) получим

$$K_1 = \frac{[(a+2)m_0]^{0.6} q^{0.2}}{c^{0.4}}, \quad K_2 = \frac{q^{0.2}}{[(a+2)m_0]^{0.4} c^{0.4}}, \quad K_3 = \frac{c^{0.2}}{[(a+2)m_0]^{0.2} q^{0.4}}. \quad (5)$$

С учетом (5) система (2) принимает вид

$$H = \frac{Q^{0.4}}{(6m_0)^{0.2} c^{0.4} i^{0.2}}, \quad B = \frac{(6m_0)^{0.6} Q^{0.4}}{c^{0.4} i^{0.2}}, \quad V = \frac{Q^{0.2} c^{0.8} i^{0.4}}{(6m_0)^{0.2}}, \quad (6)$$

где условие $B/H = (a+2)m_0 = 6m_0$ вытекает из принятых критериев статистического равновесия русла [1, 5].

Используя критерии $\Gamma = Q^2/gBH$ [6] и $K = BV^{0.5}i^{0.25}Q^{0.5}$ [1], а также вводя $n = \left[c \left(\sqrt{2g(a+2)m_0} \right)^{-1} \right]^{0.5}$ и $N = \Gamma^{-0.25}$, получим $NPK = 1$, которые называются критериальными параметрами.

Используя данные гидрометеослужбы, для рек Республики Армения можно построить кривую зависимости $N = \varphi(k)$, где k с учетом преобразований представлено в виде $Z_k = (B/H)^{0.5}i^{0.5}$ (рис.)

Учитывая взаимосвязь между критериальными параметрами, получим

$$\begin{aligned} H &= \frac{g\Pi^{1/6}Q^{0.4}}{c^{1/2}i^{0.2}} = \frac{c^{0.4}N^{1.6}Q^{0.4}i^{0.2}}{g^{0.4}} = \frac{Q^{0.4}}{c^{0.1}k^{0.8}}, \\ B &= \frac{c^{0.8}Q^{0.4}}{g^{0.6}\Pi^{2.6}i^{0.2}} = \frac{g^{0.6}Q^{0.4}}{c^{1.6}N^{2.4}i^{0.6}} = \frac{k^{1/2}Q^{0.4}}{c^{0.4}i^{0.2}}, \\ V &= c^{0.4}\Pi^{0.8}g^{0.2}Q^{0.2}i^{0.4} = \frac{c^{1/2}N^{0.8}Q^{0.2}i^{0.6}}{g^{0.2}} = \frac{c^{0.8}Q^{0.2}i^{0.5}}{k^{0.4}}, \\ \frac{B}{H} &= \frac{c^2}{g\Pi^2} = \frac{g}{c^2N^4i} = \frac{k^2}{i^{0.5}}. \end{aligned} \quad (7)$$

С учетом критерия [5] $M = (gB)^{0.2}NQ^{-0.25} = 0.92 \pm 0.12 = const$, получим $N=M=K$, $M^2\Pi=1$.

Следовательно,

$$H = \frac{Q^{0.4}i^{1/5}}{(gc)^{2/5}}, \quad B = \frac{q^{0.2}Q^{0.4}}{c^{0.8}i^{0.6}}, \quad V = c^{14/15}i^{8/15}Q^{0.2}, \quad \frac{B}{H} = \frac{q^{1/3}}{c^{2/2}i^{3/5}}. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) могут применяться для прямолинейных участков рек и каналов при сохранении их динамических устойчивостей. При $N > K$ продолжает возрастать динамическая устойчивость русла, а при $N < K$ эта устойчивость нарушается, искривляется динамическая ось потока и начинаются новые русловые процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтунян С.Т. Регулирование русел. - М.: Сельхозгиз, 1956. - 338 с.
2. Егиазаров И.В. Движение неоднородной по крупности смеси наносов // Изв.АН АрмССР - Сер.ТН. - 1963. - Т. XVI, № 2-3. - С. 18-26.
3. Великанов М.А. Русловый процесс. - М.: Физматгиз, 1958. - 417 с.
4. Леви И.И. Динамика русловых потоков. М.: - Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 237 с.
5. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов. - Л.: Гидрометеониздат, 1974. - 143 с.
6. Железняков Г.В. Теоретические основы гидрометрии. - Л.: Гидрометеониздат, 1968. - 296 с.

Р.М. ХАЧАГРЯН

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ
СТРОИТЕЛЬНОГО ВОДОСБРОСА**

Առաջիկա է շինարարական ջրհեռի վերջնամասում նախագծված հսկանակ բերանի սեղանակն լայնական կտրվածքով դիֆուզորի լավարկված արահանորդը որոշելու անկախություն Այն հնարավորություն է ընձեռում որոշ չափով փոքրացնելու վերին անոթային շինարարական ջրհեռ համակարգի լավարկված տարրերակի դիֆուզորի բազալայությունն դեպքում ստացված արժեքը

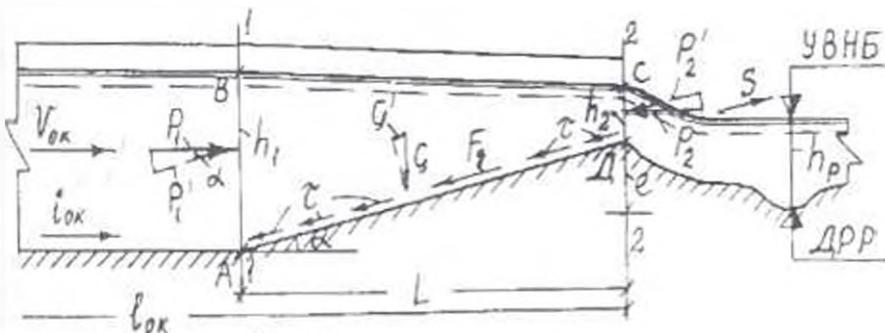
Получена аналитическая зависимость для определения оптимальных параметров диффузора трапециевидального поперечного сечения с обратным уклоном, запроектированного в конце строительного водосброса. Зависимость дает возможность несколько уменьшить стоимость оптимального варианта системы верховой перемычка - строительный водосброс, полученную при отсутствии диффузора

Ու. Յ. Բիպյուր 3 նախ.

An analytical dependence of determining optimum parameters of a diffuser with trapezoidal cross-section and reverse gradient projecting at the end of diversion spillway is obtained. It enables somewhat to reduce the cost of upstream cofferdam-diversion spillway - obtained due to the absence of the diffuser

U/ 3. Ref. 3.

Оптимальные параметры строительного водосброса с учетом выбранной формы поперечного сечения туннеля, подводящего и отводящего (без диффузора на конце) каналов, относительной глубины наполнения туннеля при пропуске максимального строительного расхода воды и выбранной отметки два концевое сечения отводящего канала можно определить по аналитической зависимости, полученной из условия минимума суммарной стоимости строительного водосброса и верхней перемычки [1].



Րիս. 1. Բաճարանային սխեմա դիֆուզորի

Наряду с этим рациональное проектирование концевой части строительного водосброса, в свою очередь, может привести к еще большему уменьшению стоимости водохранилищного гидроузла. В общем случае концевая часть отводящего канала строительного водосброса может быть запроектирована в виде диффузора трапециевидального поперечного сечения с обратным уклоном дна (рис. 1.3).

Решение рассматриваемой задачи с учетом выбранной отметки дна концевой сечения строительного водосброса (ВД) и прочих равных условий будет рациональным для варианта диффузора, при котором экономия капитальных вложений в системе верхняя перемычка строительный водосброс максимальна:

$$\Delta K = \Delta K_{\text{ВП}} - (\Delta K_{\text{T}} + \Delta K_{\text{ОК}} + K_{\text{диф}}) = \max. \quad (1)$$

где $\Delta K_{\text{ВП}}$ — экономия капитальных вложений верхней перемычки, ΔK_{T} , $\Delta K_{\text{ОК}}$ и $\Delta K_{\text{ОК}}$ — увеличение капитальных вложений, соответственно, туннеля, подводящего и отводящего каналов; $\Delta K_{\text{диф}}$ — капитальные вложения диффузора.

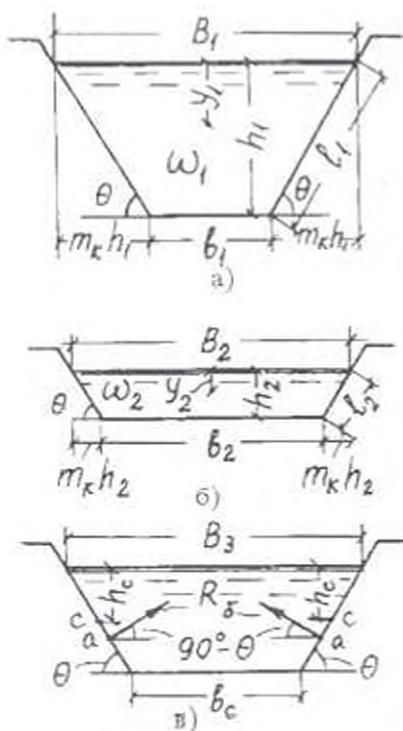


Рис. 2. Поперечные сечения диффузора: а - 1-1; б - 2-2; в - 3-3.

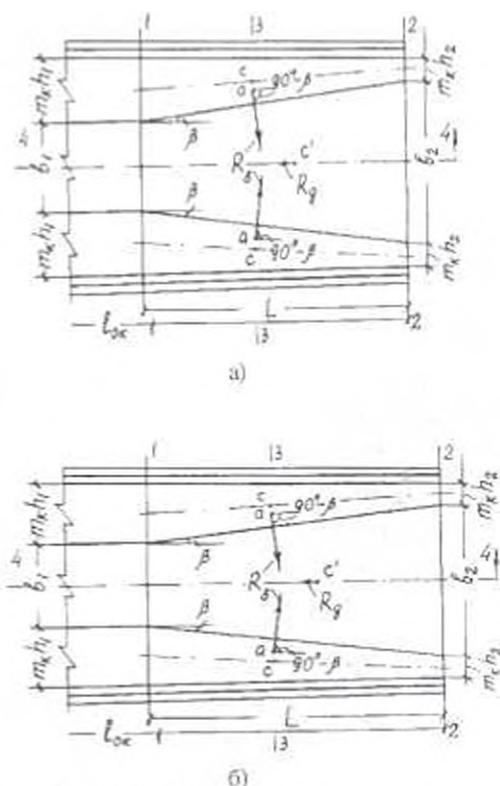


Рис. 3. План и продольное сечение диффузора: а - план; б - 4-4.

В медленно изменяющемся потоке жидкости мысленно выделим объем АБСД, заключенный между сечениями 1-1 и 2-2 (рис.1). Воспользуемся законом изменения количества движения в проекциях на ось S [2.3]:

$$M(\alpha_{02}v_2 - \alpha_{01}v_1)_S = \sum N_S, \quad (2)$$

где $M = \rho Q$ — масса жидкости, входящей через сечение 1-1 и выходящей через сечение 2-2 за единицу времени; ρ — плотности жидкости; Q — максимальный расход воды строительного водосброса; α_{01}, α_{02} и v_1, v_2 — корректив количества и средняя скорость движения жидкости для сечений 1-1 и 2-2; $\sum N_S$ — сумма проекций импульсов всех массовых и поверхностных сил, действующих на выделенный объем жидкости, на ось S , совпадающую с осью дна диффузора.

На выделенный объем жидкости действуют следующие силы:

1. Собственный вес выделенного объема жидкости:

$$G = \rho g W, \quad (3)$$

где g — ускорение силы тяжести; W — объем жидкости ABCD.

2. Силы гидродинамического давления в сечениях 1-1 и 2-2.

Принимая, что распределение давления в сечениях вдоль диффузора в условиях плавно изменяющегося движения жидкости подчиняется гидростатическому закону, имеем

$$P_1 = \rho g y_1 \omega_1, \quad P_2 = \rho g y_2 \omega_2, \quad (4)$$

где ω_1 и ω_2 — площадь живого сечения 1-1 и 2-2; y_1 и y_2 — глубина погружения центра тяжести площади живого сечения 1-1 и 2-2 от уровня свободной поверхности жидкости.

3. Силы трения, действующие на поверхностях соприкосновения жидкости с дном и бортами диффузора:

$$F_d = \tau \Omega_d, \quad F_b = \tau \Omega_b, \quad (5)$$

где τ — касательное напряжение на смоченной поверхности диффузора, Ω_d и Ω_b — площадь смоченной поверхности дна и борта диффузора.

4. Силы реакции дна и борта диффузора:

$$R_d = \rho g h_d \Omega_d, \quad R_b = \rho g h_b \Omega_b, \quad (6)$$

где h_d и h_b — глубина погружения центра тяжести дна и борта диффузора от свободной поверхности жидкости.

Проектируя все силы, действующие на выделенный объем жидкости ABCD, на ось S (рис. 1, 3), получим

$$\sum N_S = P'_1 - P'_2 - G' - (F_d + 2F_b \cos \beta) + 2R_b, \quad (7)$$

где $P'_1 = \rho g \omega_1 \cos \alpha$, $G' = 0.5 \rho g (\omega_1 + \omega_2) L \sin \alpha$, $P'_2 = \rho g \omega_2 \cos \alpha$, $R'_b = R_b \sin \theta \sin \beta \cos \alpha$.

Совместно решая (1), (7) и принимая $\alpha_{01} = \alpha_{02} = \alpha_0$, а также учитывая уравнение неразрывности движения жидкости, после простых преобразований получим

$$\frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_1} + y_1 \omega_1 = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_2} + y_2 \omega_2 + 0.5 (\omega_1 + \omega_2) L \sin \alpha + \frac{\tau}{\rho g} \frac{\Omega_d + 2 \Omega_b \cos \beta}{\cos \alpha} - 2 h_b \Omega_b \sin \beta. \quad (8)$$

Прежде чем воспользоваться уравнением (8), следует иметь в виду, что:

а) в конце диффузора устанавливается критическая глубина потока, соответствующая максимальному расходу воды строительного водосброса Q , ширине по дну b_2 и форме поперечного сечения;

б) отношение $\tau/\rho g$ можно определить как первое приближение, пользуясь основным уравнением равномерного движения жидкости с осредненными параметрами потока вдоль диффузора:

$$\tau/\rho g = Ri = V^2/C^2, \quad (9)$$

где V и C — соответственно, средняя скорость движения жидкости и среднее значение коэффициента Шези вдоль диффузора.

Уравнение (8) решается графо-аналитическим способом. Учитывая геометрические и гидравлические параметры отводящего канала b_1 , h_1 , m_1 , y_1 , ω_1 , V_1 , i_1 , соответствующие оптимальному варианту системы верховая перемычка-строительный водосброс (без диффузора на конце отводящего канала) при пропуске максимального расхода воды Q , и принимая значение угла растекания β в пределах, обеспечивающих безотрывное движение жидкости вдоль диффузора ($\beta = 6 \dots 10$), следует задаться рядом значений длины диффузора L , и для каждого ее значения и нескольких значений угла α в пределах $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ определить ширину b_2 и критическую глубину потока h_2 в конце диффузора. Далее определяются y_2 , ω_2 , V_2 , Ω_n , Ω_0 , h_c , V , C , $\tau/\rho g$, а затем левая $\varphi(h_1)$ и правая $\varphi(h_1, h_2)$ части уравнения (8). Искомое значение угла α для заданных значений β и L определяется абсциссой точки пересечения кривых $\varphi(h_1)$ и $\varphi(h_1, h_2)$.

Для каждой комбинации значений β , L и α можно легко определить отметки:

- дна начального сечения диффузора:

$$\nabla A = \nabla D - L \operatorname{tg} \alpha, \quad (10)$$

- дна выходного и входного порталов строительного туннеля:

$$\nabla \text{ДНП} = A + i_{ок}(\ell_{ок} - L), \quad (11)$$

$$\nabla \text{ДВП} = \nabla \text{ДНП} + i_r L_r, \quad (12)$$

где $i_{ок}$, $\ell_{ок}$ и i_r , L_r — уклон дна и длина отводящего и строительного каналов:

- дна начального сечения подводящего канала:

$$\nabla \text{ДПК} = \nabla \text{ДВП} + i_{пк} \ell_{пк}, \quad (13)$$

где $i_{пк}$ и $\ell_{пк}$ — уклон дна и длина подводящего канала;

- уровня воды верхнего бьефа при пропуске максимального расхода строительного водосброса:

$$\nabla \text{УВВБ} = \nabla \text{ДПК} + h_{пк} + z_{пк}, \quad (14)$$

где $h_{пк}$ и $z_{пк}$ — глубина воды в подводящем канале и перепад уровня воды у входа в подводящий канал:

$$z_{пк} = V_{ок}^2 / 2g\varphi^2 = V_r^2 / 2g, \quad (15)$$

$V_{\text{п}}$ и $V_{\text{р}}$ — средняя скорость движения воды в подводящем канале и в реке у входа в подводящий канал; φ — коэффициент скорости, величина которого в зависимости от формы входа в подводящий канал колеблется в пределах $\varphi = 0,85 \dots 0,95$:

- гребня верховой перемычки:

$$\nabla_{\text{ГВП}} = \nabla_{\text{УВВВ}} + a, \quad (16)$$

где a — нормативный запас высоты гребня верховой перемычки, который принимается в пределах $a = 1 \dots 1,5$ м в зависимости от класса капитальности основных сооружений и возможных последствий аварии верховой перемычки, вызванной переливом воды через ее гребень.

Выбирается такая комбинация значений β , L и α , при которой имеет место условие (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян Р.М. Об одном случае расчета параметров оптимального варианта строительного водосброса // Межвуз. сб. научн. тр. Сер. XII, вып. V / ЕрПИ. - Ереван, 1978. - С. 209-218.
2. Чертоусов М.Д. Гидравлика. - М.: - Л.: Госэнергоиздат, 1962. - 630 с.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика. - Л.: Энергия, 1971. - 552 с.

ЕрАСИ

8.10.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1, № 2, 1997, с. 159-161

УДК 669.35:621.74

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.А. КАРАПЕТЯН

ЛИНЕЙНАЯ УСАДКА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ МЕДИ

Ուսումնասիրվել է սակավ լեգիրող հավելանյութերի ազդեցությունը պղնձի ձուլման և մեխանիկական հատկությունների վրա: Որպես լեգիրող տարրեր օգտագործվել են ուղենը և քելուրը՝ մինչև 1,0 % առավելագույն պարունակությամբ: Նեոտագոսուման արդյունքների հիման վրա ընտրվել է բարձր էլեկտրահաղորդիչ սակավալեգիր պղնձի հաճախ առավել արդյունավետ լեգիրող տարրը և նրա պարունակության սահմանը:

Исследовано влияние малых легирующих добавок на литейные и механические свойства меди. В качестве легирующих элементов применены селен и теллур, максимальное содержание которых достигает 0,1 %. На основании результатов исследования выбран наиболее рациональный легирующий элемент (и предел его содержания) для высокоэлектропроводной низколегированной меди.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

The effect of low alloying additions on the linear and mechanical properties of copper is investigated. Selenium and tellurium with maximum percentage up to 1 % are used as doping elements. On the basis of investigation results the most rational doping element (and its content limit) is chosen for high conductive low doped copper.

Ил. 1. Ref. 3.

Исследуются вопросы выбора малых добавок для сплавов медной основы с целью улучшения их литейных и механических свойств. Определены характер и степень влияния селена и теллура на линейную усадку, предел прочности и на величину относительного удлинения меди. С каждым легирующим элементом выплавлялось по шесть составов сплавов. Максимальное содержание легирующих элементов не превышало 1,0 %. Сплавы по уровню легирования были разделены на три группы: с содержанием легирующей добавки до 0,05 %; 0,05...0,1 %; 0,1...1,0%.

На основании результатов испытаний были построены зависимости линейной усадки, предела прочности и относительного удлинения сплавов от степени легирования (рис.). Наличие селена для сплавов всех трех групп сохраняет сравнительно большую линейную усадку меди. При содержании теллура в интервале 0,04...0,1 % происходит увеличение линейной усадки, после чего она монотонно снижается.

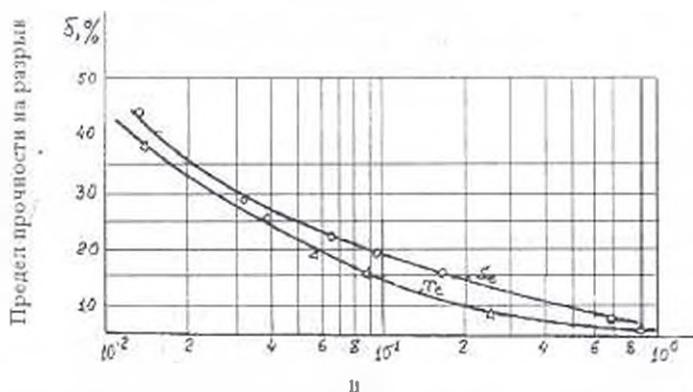
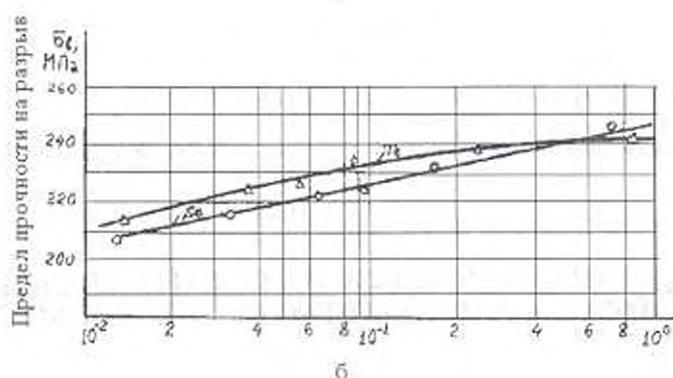
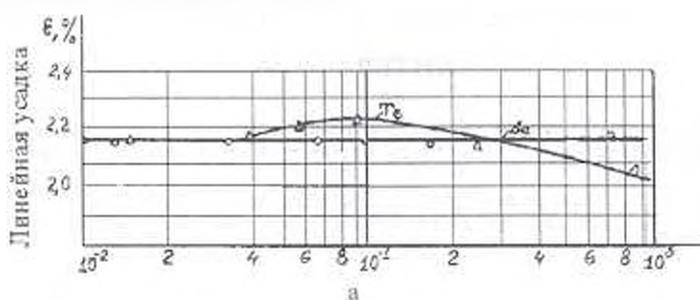


Рис. Влияние легирующих элементов на: а — линейную усадку меди; б — предел прочности меди; в — относительное удлинение меди

С целью определения механических свойств каждый сплав испытывался на разрыв не менее трех раз для цилиндрических образцов диаметром 6 мм и расчетной длиной 50 мм, отлитых в металлической форме. Из полученных результатов следует, что обе легирующие добавки всех трех групп увеличивают предел прочности медной основы. Однако теллур увеличивает предел прочности сплава только до содержания 0,7%, при дальнейшем увеличении содержания никаких изменений не происходит. У сплавов всех трех групп с увеличением легирующей добавки резко снижается относительное удлинение сплава.

Исследовано также совместное влияние селена и теллура на механические свойства меди. Из приведенных данных следует, что усадка меди не снижается, если к ней добавляются такие компоненты, которые не приводят к появлению значительного температурного интервала, т.е. образуют с медью сплавы, затвердевающие в коротком интервале температур. Анализ механических свойств сплавов с двумя легирующими добавками дает основание полагать, что уровень прочности сплавов определяется той добавкой, которая дает максимальное значение прочности при монолегировании.

Совокупный анализ полученных данных позволяет констатировать, что наиболее перспективной добавкой для включения в состав низколегированных высокоэлектропроводных медных сплавов является теллур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корольков А.Н. Литейные свойства металлов и сплавов. - М.: Наука, 1960. - 195 с.
2. Чурсин В.М. Плавка медных сплавов. - М.: Металлургия, 1982. - 152 с.
3. Сучков Д.И. Медь и ее сплавы. - М.: Металлургия, 1967. - 247 с.

ГИУА

14.06.1997

Գևորգյան Ս.Խ., Ուզունողլու Ն. Ոլորող ալիքների տարածումը բազալդրյալ ալիքաուսում	73
Բուդաղյան Ա.Ս., Ժամկոչյան Վ.Վ., Մեծ բեռնավորության ավտոտրանսպորտային միջոցների վառելիքային շահավետության և օգտագործման արդյունավետության լավացումը շահագործման որոշակի պայմանների դեպքում	76
Աղբալյան Ս.Գ., Օհանյան Ա.Ռ.Մյսման ժամանակ արդյունաբերական յուղերի փոխարեն պոլիմերների ջրային լուծույթների կիրառման հեռանկարները / Պոլիակրիլամիդի ջրային լուծույթով սխալման յուղերի վախճարինման հնարավորությունը	81
Հոփսեփյան Գ.Ս., Գալստյան Հ.Ժ., Ամբարյան Հ.Ա. Մետաղակերամիկայան նյութերի մշակելիության ուսումնասիրությունը	84
Խաչատրյան Վ.Ս., Իբրահիմ Ա.Բ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի ռեժիմի լավարկումը ռեակտիվ հզորության մաթեմատիկական ծրագրավորման ուղղակի մեթոդով. Երբ ցանցի վիճակը տրվում է Z տեսքով	89
Խաչատրյան Վ.Ս., Բաղդասյան Ն.Պ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի Z-Y հավասարումների լուծումը տրոհման մեթոդով	96
Ղազարյան Յու.Հ., Բեջանյան Գ.Դ., Հարությունով Մ.Ռ. Տարանցումային բնական գազի ներմուծման սակագների դրույթների հաշվարկի ավտոմատացում և մեթոդիկայի մշակում	103
Կարողայան Գ.Ա. Էլեկտրատեխնիկական պոլյպատների տեղային տիրույթներում մագնիսական դաշտի լարվածության չափման սահմանների լուծարանումը	108
Արեշյան Գ.Լ. Բազմակարգ համակարգերի վերլուծությունը ասինխրոտիկային համարժեք համակարգերի հիման վրա	112
Մովսիսյան Վ.Մ., Բարեղամյան Գ.Վ., Պետրոսյան Ն.Ն. Հարությունյան Ա.Շ. Երկրորդային էլեկտրասնուցման աղբյուրներում էլեկտրամագնիսական խանգարումների և էլեկտրամագնիսական համաստեղեկության հետազոտում	114
Բոզոյան Ե.Շ. Գործնական սխեմայի հուսալիության գնահատականը նրա սարքերի վիճակների փոփոխման հաճախակիությունը հաշվառմամբ	120
Մելիքյան Վ.Շ., Ավագյան Ա.Ս. Թվային սխեմաների սրամասշտիվական մոդելավորումը ոչ հստակ բազմությունների կիսան վրա	126
Մահակյան Հ.Է., Մաթևոսյան Պ.Ա., Մնացականյան Մ.Հ. Լական ոչ գծայնություններով կառավարման համակարգերի վերլուծությունը և համադրումը	130
Նիկողոսյան Ա.Գ. Պատրաստվածքի կյանքի տևողության մաթեմատիկական մոդելավորումը	133
Թադևոսյան Ա.Ս. Հայաստանի Հանրապետության արտաքին տնտեսական գործունեության համակարգի դինամիկայի և կայունության տնտեսական վերլուծություն	141
Խոսրովբերդյան Ս.Խ., Գրիգորյան Գ.Է., Գրիգորյան Վ.Վ. Ղարիբյան Կ.Բ. Ֆուտուրոսանքի նշանակությամբ ՄՀ/ՀՀ կառուցվածք	147
Ղազարյան Ս.Ս., Հայրապետյան Ա.Վ., Ղազարյան Ս.Ս. Լեռնային գետերի էկոբազիլացիայի բնութագրերի որոշումը	151
Խաչատրյան Ռ.Ս. Շինարարական ջրահավաքի վերջնասանի լավարկված պարամետրերի որոշման խնդրի վերաբերյալ	155
Կարապետյան Հ.Ա. Սակավայելգիրված պղնձի գծային կծկվածքը և մեխանիկական հասկությունները	159

СОДЕРЖАНИЕ

Геворкян С. Х., Узувоглу Н. Распространение крутильных волн в составном волноводе	73
Будагян А.С., Жамкочян В.В. Улучшение топливной экономичности и эффективности использования автотранспортных средств большой грузоподъемности при конкретных условиях эксплуатации	76
Агбалян С.Г., Оганян А.Р. Перспективы применения водных растворов полимеров взамен индустриальных масел при закалке	
1. Выявление возможности замены закалочных масел водным раствором полиакриламида	81
Овсепян Г.С., Галстян А.Ж., Амбарян Г.А. Исследование обрабатываемости металлокерамических материалов	84
Хачатрян В.С., Ибрахим Аль-Исса. Оптимизация режима электроэнергетической системы по реактивным мощностям прямым методом математического программирования при Z- форме задания состояния сети	89
Хачатрян В.С., Бадалян Н.П. Решение (Z-Y)-уравнения установившегося режима электроэнергетической системы методом декомпозиции	96
Казарян Ю.А., Беджавян Г.Ц., Арутюнов М.Р. Разработка методики и автоматизация расчета тарифных ставок за транзитные поставки природного газа	103
Кардашян Г.А. Расширение диапазона измерения напряженности магнитного поля в локальных областях электротехнических сталей	108
Арешян Г.Л. Анализ многосвязных систем на базе асимптотически эквивалентных систем	112
Мовсесян В.М., Барсегмян Г.В., Петросян Н.Н., Арутюнян А.Ш. Исследование электромагнитных помех и электромагнитной совместимости в источниках вторичного электропитания	114
Бозоян Е.Ш. Оценка надежности функциональной схемы с учетом частоты переключения состояний её элементов	120
Меликян В.Ш., Авакян А.С. Логическое моделирование цифровых схем на основе теории нечетких множеств	126
Саакян Г.Э., Матевосян П.А., Мнацаканян М.Г. Анализ и синтез систем управления с существенными нелинейностями	130
Никогосян А.Г. К математическому моделированию жизненного цикла изделия	133
Тадевосян А.С. Экономический анализ динамики и устойчивости системы внешнеэкономической деятельности Республика Армения	141
Худавердян С.Х., Григорян Г.Э., Григорян В.В., Гарибян К.Б. Структура М-П/П-М с пиверсией знака фототока	147
Казарян С.М., Айрапетян А.В., Казарян С.С. Определение гидроморфометрических характеристик горных рек	151
Хачатрян Р.М. К вопросу определения оптимальных параметров концевой части стропильного водосброса	155
Карапетян Г.А. Линейная усадка и механические свойства низколегированной меди	159

CONTENTS

Gevorgyan S.Kh., Uzunoglu N. Torsional Wave Propagation in the Composite Waveguide	73
Budaghyan A.S., Zhamkochyan V.V. Fuel Economy and Employing Efficiency Improvement for Using Heavy Vehicles in Particular Exploitation Conditions	76
Aghbalyan S.G., Ohanyan A.R. Perspectives of Polymer Solution Application Instead of Industrial Oils During Metal Hardening Process <i>1. Revealing Possibility for Substituting Quenching Oils by Polyacrylamide Water Solutions</i>	81
Hovsepyan G.S., Galoustyan A.Zh., Ghambaryan G.A. Investigation on Metallo-ceramic Material Investigation	84
Khachatryan V.S., Ibrahim A.I. Electric Power System Conditions Optimization Owing to Reactive Powers by Direct Method of Mathematical Programming in Z-form Network State	89
Khachatryan V.S., Badalyan N.P. Z-Y Equations for Steady-State Electric Energy System by Decomposition Method	96
Kazaryan Y.H., Bejanyan G.D., Arutynov M.R. The Creation of Methods and Tariff Rates Calculation Automation for Transit Deliveries of Natural Gas	103
Kardashyan G.A. Range expansion of magnetic field intensity measurement in local domains of laminated sheet steel	108
Areshyan G.L. Analysis of Multilinkage System on the Basis of Asymptotically Equivalent Systems	112
Movsessyan W.M., Baregamyanyan G.V., Petrossyan N.N., Haroutunyan A.Sh. Exploration of electromagnetic interferences and electromagnetic compatibility in secondary power supplies.	114
Bozoyan E.Sh. Functional Scheme Reliability Estimate With Switching Frequency of its Element State	120
Melikyan V.Sh., Avagyan A.S. Digital Circuit Logic Simulation on the Basis of Fuzzy Logic Theory	126
Sahakyan H.E., Matevosssyan P.A., Mnatsakanyan M.H. Control System Analysis and Synthesis with Significant Nonlinearities	130
Nikogossyan A.H. Mathematical Simulation of Product Life-Cycle	133
Tadevosssyan A.S. The Economical Analysis of Dynamics and Determination of Armenian Foreign Economy Relation System.	141
Khudaverdyan S.Kh., Grigoryan G.E., Grigoryan V.V., Gharibyan K.B. Metal-Semiconductor / Metal Structure with Inversion of Photocurrent Symbols	147
Ghazaryan S.M., Hairapetyan A.V., Ghazaryan S.S. Mountain River Hydromorphometric Characteristics Specification	151
Khachatryan R.M. Optimum Parameter Specification of Terminal Diversion Spillway	155
Karapetyan H.A. Linear Shrinkage and Mechanical Properties of Low Doped Copper	159