

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 6 раз в год

Կ Ր Ա Ս Տ Ր Ա Ն ՈՒ Կ Ա Լ Ե Դ ՈՒ Ն

Ի. Մ. Ստեփանյան (գլխավորմամբ խմբագիր), Վ. Վ. Աբխաթյան,
Բ. Վ. Արսյան, Բ. Ս. Հովհաննիսյան, Ս. Ս. Հովհաննիսյան, Ս. Վ. Կոչարյան,
Ա. Շ. Կոչարյան, Յու. Լ. Ստեփանյան, Խ. Գ. Ստեփանյան (պատմ. խմբ. տեղ. խմբ.),
Ս. Կ. Ստեփանյան (գլխավորմամբ խմբագիր), Վ. Ս. Կարամյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ի. Մ. Մարտիրոսյան (ответственный редактор), В. В. Ахсентьев,
Р. В. Атоян, Р. А. Казарян, С. М. Казарян, М. В. Касьян,
А. О. Ситкин, К. Л. Саргисян, М. Г. Стакин (зам. ответ. редактора),
З. Н. Степанян (ответственный секретарь), Я. С. Хачатурян

УДК 621.01

Р. П. ДЖАВАХЯН, З. А. АКОПДЖАНЫН, К. В. ГАСПАРЯН

УНИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К СИЛОВОМУ АНАЛИЗУ ОДНОПОДВИЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКОВ, МОДЕЛИРУЕМЫХ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПЬЮ ЦСЦЦ

Предлагаемый унифицированный подход к силовому анализу пространственных четырехзвенников, моделируемых кинематической цепью ЦСЦЦ, основан на замене цилиндрических кинематических пар цепи условными (У) сферами, имеющими все составляющие главного вектора и главного момента сил реакции по трем взаимно перпендикулярным осям. Полученная после замены цепи УЦЦЦ разбивается на входящее звено типа УС и аналог типа СУУ, для которых выводятся уравнения равновесия, из которых подстановкой соответствующего набора значений коэффициентов K_j ($j = 1 \dots 10$) получаются уравнения равновесия входящего в состав рассматриваемого механизма звена и входного звена. Последовательным или совместным решением двух систем из 12 и 6 линейных уравнений определяются значения неизвестных реакций в кинематических парах рассматриваемого четырехзвенника, а также движущей силы или движущего момента.

Назв. 2, Табл. 3, Библиогр. 2 назв.

Առաջարկվում է համապարտանքի մոտեցում ԳՄԳԳ կինեմատիկ շղթայից մոդելավորվող տարածական քառազանգ մեխանիզմների ուժային հաշվարկին, երբ հիմնված է դրանական կինեմատիկ զուգորդի պայմանական (Պ) կոլյուբրով փոխադրվելու վրա, որոնց հակազդման ուժերի զրոյացումը վերաբերում է զգնադրող մոմենտին ունենալ քառազանգները և բաղադրիչները և բաղադրիչները վրա Փոխադրվելուց ստացվում ԳՄԳԳ շղթան բաժանվում է ՊՄ տիպի մուտքի և ՍՍԳ տիպի խմբի, նրանք համար դուրս են բերվում համապարտակշիռության համապարտմանը, որոնցից էլ K_j ($j = 1 \dots 10$) գործակիցների համապարտության համաքառուի տեղադրմամբ ստացվում է քննարկվող մեխանիզմի կազմի մեջ մտնող մուտքի ազակի և խմբի համապարտակշիռության համապարտմանը, 12 և 6 համապարտմանից բաղկացած համապարտողների առանձին կամ համատեղ լուծմամբ որոշվում է քննարկվող բաղադրիչի կինեմատիկական զուգորդում առկա հակազդումների ինչպես նաև շարժիչ ուժի կամ շարժիչ մոմենտի արժեքները:

Одним из путей повышения эффективности автоматизированного исследования пространственных механизмов различной структуры является применение подхода, позволяющего вывести выражения взаимосвязи между искомыми и известными параметрами механизма на базе соответствующих выражений обобщающей кинематической цепи. В работе [1] представлена методика получения функций положения пространственных четырехзвенников, моделируемых кинематической цепью ЦСЦЦ. Та же методика применена для определения инерционных нагрузок упомянутых четырехзвенников [2]. В настоящей статье представлен унифицированный подход к силовому анализу одноподвижных пространственных четырехзвенников, моделируемых кинематической цепью ЦСЦЦ.

Для получения обобщающих выражений силового исследования введем понятие «условной» кинематической пары ($У$), отличающейся от других тем, что главный вектор и главный момент сил реакций в этой паре имеют все составляющие по трем взаимно перпендикулярным осям. Такое допущение позволит из системы сил в условной паре легко получить системы сил в цилиндрической, поступательной и вращательной кинематических парах. Заменяя цилиндрические пары цепи ЦСНЦ условной, получим условную цепь УСУУ, которая содержит входное звено типа УС и диаду типа СУУ.

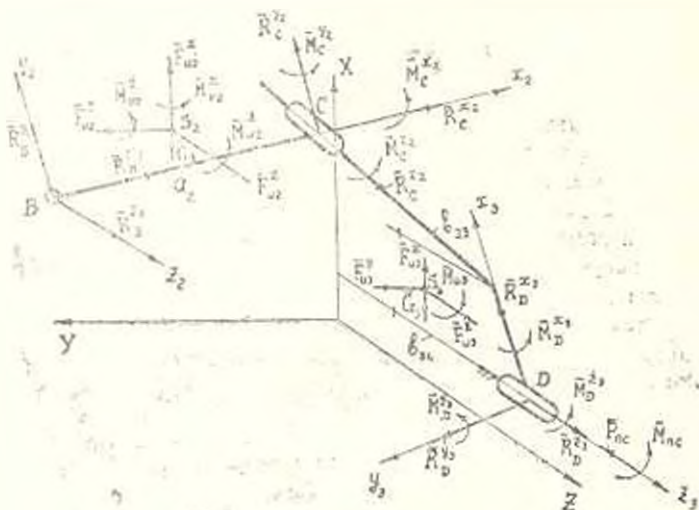


Рис. 1

Уравнения равновесия диады СУУ (рис. 1) приведены в табл. 1, а значения входящих в эти уравнения сил и моментов инерции шатуна $\bar{F}_{u2}$, $\bar{M}_{u2}$ и коромысла $\bar{F}_{c3}$, $\bar{M}_{c3}$, а также направляющих косинусов α_i , β_i и γ_i ($i = 2, 3$, $j = 1, 2, 3$) могут быть установлены по формулам, приведенным в [2]. В табл. 1 приняты следующие обозначения: X_B , Y_B , Z_B и X_D , Z_D — координаты центров шарнира B и условной пары D в неподвижной системе OXYZ; X_{S_2} , Y_{S_2} , Z_{S_2} и X_{S_3} , Y_{S_3} , Z_{S_3} — координаты центра масс S_2 шатуна и S_3 коромысла в неподвижной системе координат; $\bar{G}_2$ и $\bar{G}_3$ — силы тяжести шатуна и коромысла. Коэффициенты K_j ($j = 5 \dots 10$) могут принимать значения 0 или 1 в зависимости от типа кинематической пары в рассматриваемом механизме.

Уравнения равновесия входного звена типа УС (рис. 2) приведены в табл. 2, а значения входящих в эти уравнения проекций сил инерции входного звена $\bar{F}_{u1}$ и направляющих косинусов α_{ij} , β_{ij} и γ_{ij} ($i = 1$, $j = 1, 2, 3$) могут быть установлены по формулам [2]. В табл. 2 приняты следующие обозначения: X_A , Y_A , Z_A — координаты центра условной пары A в неподвижной системе OXYZ; X_{S_1} , Y_{S_1} , Z_{S_1} —

координаты центра масс S_1 входного звена в неподвижной системе координат; $\bar{G}_1$ — сила тяжести входного звена. Коэффициенты K_j ($j = 1 \dots 4$), как и в случае диады СУУ, могут принимать значения 0 или 1 в зависимости от типа входной кинематической пары A исследуемого механизма и наличия в действующей на входное звено системе сил движущей силы или движущего момента.

Таблица 1

Уравнения равновесия диады типа СУУ

$$\begin{aligned}
 & R_B^{x_0} a_{21} + R_B^{x_{22}} + R_B^{x_1} \gamma_{21} + R_C^{x_1} \gamma_{21} + R_C^{x_2} \gamma_{21} + K_4 R_C^{x_2} \gamma_{21} + F_{n2}^X - G_2 = 0, \\
 & R_B^{y_0} \beta_{21} + R_B^{y_{22}} + R_B^{y_1} \gamma_{21} + R_C^{y_1} \gamma_{21} + R_C^{y_2} \gamma_{21} + K_5 R_C^{y_2} \gamma_{21} + F_{n2}^Y = 0, \\
 & R_B^{z_0} \gamma_{21} + R_B^{z_{22}} + R_B^{z_1} \gamma_{21} + R_C^{z_1} \gamma_{21} + R_C^{z_2} \gamma_{21} + K_4 R_C^{z_2} \gamma_{21} + F_{n2}^Z = 0, \\
 & R_B^{x_0} (z_{21} Z_B - \gamma_{21} Y_B) + R_B^{x_{22}} (z_{22} Z_B - \gamma_{22} Y_B) + R_B^{x_1} (z_{21} Z_B - \gamma_{21} Y_B) + \\
 & + R_C^{x_1} (z_{21} Z_C - \gamma_{21} Y_C) + R_C^{x_2} (z_{22} Z_C - \gamma_{22} Y_C) + K_4 R_C^{x_2} (z_{22} Z_C - \gamma_{22} Y_C) + \\
 & + F_{n2}^X Z_{S_1} - F_{n2}^Y Y_{S_1} - M_{n2}^X - M_C^{x_0} \gamma_{21} - M_C^{x_1} \gamma_{21} + K_5 M_C^{x_2} \gamma_{21} = 0, \\
 & R_B^{y_0} (\gamma_{21} X_B - z_{21} Z_B) + R_B^{y_{22}} (\gamma_{22} X_B - z_{22} Z_B) + R_B^{y_1} (\gamma_{21} X_B - z_{21} Z_B) + \\
 & + R_C^{y_1} (\gamma_{21} X_C - z_{21} Z_C) + R_C^{y_2} (\gamma_{22} X_C - z_{22} Z_C) + K_5 R_C^{y_2} (\gamma_{22} X_C - z_{22} Z_C) + \\
 & + F_{n2}^Y X_{S_1} - F_{n2}^X Z_{S_1} - M_{n2}^Y - G_2 Z_{S_1} - M_C^{y_0} \gamma_{21} + M_C^{y_1} \gamma_{21} - K_5 M_C^{y_2} \gamma_{21} = 0, \\
 & R_B^{z_0} (z_{21} Y_B - \gamma_{21} X_B) + R_B^{z_{22}} (z_{22} Y_B - \gamma_{22} X_B) + R_B^{z_1} (z_{21} Y_B - \gamma_{21} X_B) + \\
 & + R_C^{z_1} (z_{21} Y_C - \gamma_{21} X_C) + R_C^{z_2} (z_{22} Y_C - \gamma_{22} X_C) + K_5 R_C^{z_2} (z_{22} Y_C - \gamma_{22} X_C) + \\
 & + F_{n2}^Z Y_{S_1} - F_{n2}^Y X_{S_1} - G_2 Y_{S_1} - M_{n2}^Z + M_C^{z_0} \gamma_{21} - M_C^{z_1} \gamma_{21} - K_5 M_C^{z_2} \gamma_{21} = 0, \\
 & R_D^{x_0} a_{31} + R_D^{x_{32}} + R_C^{x_1} \gamma_{31} + R_C^{x_2} \gamma_{31} + K_5 R_C^{x_2} \gamma_{31} + F_{n3}^X - G_3 = 0, \\
 & R_D^{y_0} \beta_{31} + R_D^{y_{32}} + R_C^{y_1} \gamma_{31} + R_C^{y_2} \gamma_{31} + K_4 R_C^{y_2} \gamma_{31} + F_{n3}^Y = 0, \\
 & K_7 R_D^{z_0} + R_C^{z_1} \gamma_{31} + R_C^{z_2} \gamma_{31} + K_4 R_C^{z_2} \gamma_{31} + F_{n3}^Z - K_6 P_{n3} = 0, \\
 & R_D^{x_0} (z_{31} Z_D + R_D^{x_{32}} Z_D - R_C^{x_1} (z_{31} Z_D - \gamma_{31} Y_D) - R_C^{x_2} (z_{32} Z_D - \gamma_{32} Y_D) - \\
 & - K_5 R_C^{x_2} (z_{32} Z_D - \gamma_{32} Y_D) + M_{n3}^X \gamma_{31} + M_D^{x_0} \gamma_{31} - M_C^{x_1} \gamma_{31} - M_C^{x_2} \gamma_{31} - K_6 M_C^{x_2} \gamma_{31} + \\
 & + F_{n3}^X Z_{S_1} - F_{n3}^Y Y_{S_1} = 0, \\
 & K_1 R_D^{y_0} X_D - R_D^{y_{32}} X_D - R_C^{y_1} \gamma_{32} X_D - R_C^{y_2} \gamma_{32} X_C - z_{21} Z_C) - R_C^{y_1} (\gamma_{32} X_C - z_{22} Z_C) - \\
 & - K_5 R_C^{y_2} (z_{22} X_C - z_{22} Z_C) + M_{n3}^Y \gamma_{31} + M_D^{y_0} \gamma_{31} - M_C^{y_1} \gamma_{31} - M_C^{y_2} \gamma_{31} - \\
 & - K_6 M_C^{y_2} \gamma_{31} - K_6 P_{n3} Z_D + F_{n3}^Y X_{S_1} - F_{n3}^X Z_{S_1} + G_2 Z_{S_1} = 0, \\
 & R_D^{z_0} \beta_{31} X_D - R_D^{z_{32}} X_D - R_C^{z_1} (z_{21} Y_C - \gamma_{21} X_C) - R_C^{z_2} (z_{22} Y_C - \gamma_{22} X_C) - \\
 & - K_5 R_C^{z_2} (z_{22} Y_C - \gamma_{22} X_C) - K_6 M_D^{z_0} - M_C^{z_1} \gamma_{31} - M_C^{z_2} \gamma_{31} - K_6 M_C^{z_2} \gamma_{31} + \\
 & + F_{n3}^Z Y_{S_1} - F_{n3}^X X_{S_1} - G_2 X_{S_1} - M_{n3}^Z + K_{10} M_{n3} = 0.
 \end{aligned}$$

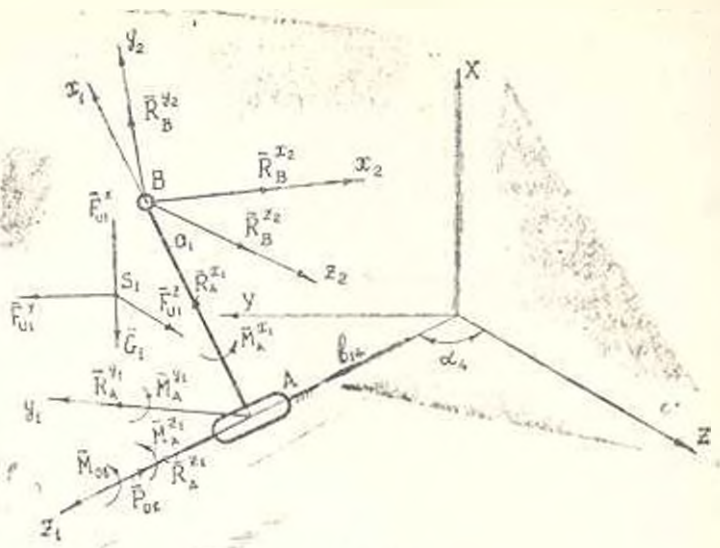


Рис. 2

Таблица 2

Уравнения равновесия в одного звена типа УС

$$\begin{aligned}
 & R_A^{x1} a_{11} + R_A^{y1} a_{12} - R_B^{x1} a_{21} - R_B^{y1} a_{22} - R_B^{z1} a_{23} + F_{u1}^x - G_1 = 0, \\
 & R_A^{x1} a_{11} + R_A^{y1} a_{12} + K_1 R_A^{z1} a_{13} - R_B^{x1} a_{21} - R_B^{y1} a_{22} - R_B^{z1} a_{23} + F_{u1}^y - K_2 P_{30} \delta_{13} = 0, \\
 & R_A^{x1} a_{11} - R_A^{y1} a_{12} + K_2 R_A^{z1} a_{13} - R_B^{x1} a_{21} - R_B^{y1} a_{22} - R_B^{z1} a_{23} + F_{u1}^z - K_2 P_{30} \delta_{13} = 0, \\
 & R_A^{x1} (b_{11} Z_A - \gamma_{11} Y_A) + R_A^{y1} (b_{12} Z_A - \gamma_{12} Y_A) + K_1 R_A^{z1} (b_{13} Z_A - \gamma_{13} Y_A) + \\
 & + M_A^{x1} a_{11} - M_A^{y1} a_{12} - R_B^{x1} (b_{21} Z_B - \gamma_{21} Y_B) - R_B^{y1} (b_{22} Z_B - \gamma_{22} Y_B) - R_B^{z1} (b_{23} Z_B - \\
 & - \gamma_{23} Y_B) + F_{u1}^x Z_{S_1} - F_{u1}^y Y_{S_1} - K_2 P_{30} (b_{13} Z_A - \gamma_{13} Y_A) = 0, \\
 & R_A^{x1} (\gamma_{11} X_A - z_{11} Z_A) + R_A^{y1} (\gamma_{12} X_A - z_{12} Z_A) + K_1 R_A^{z1} (\gamma_{13} X_A - z_{13} Z_A) + \\
 & + M_A^{x1} b_{11} - M_A^{y1} b_{12} + K_2 M_A^{z1} a_{13} - R_B^{x1} (\gamma_{21} X_B - z_{21} Z_B) - R_B^{y1} (\gamma_{22} X_B - z_{22} Z_B) - \\
 & - R_B^{z1} (\gamma_{23} X_B - z_{23} Z_B) + F_{u1}^x X_{S_1} - F_{u1}^y Y_{S_1} + G_1 Z_{S_1} - K_2 P_{30} (\gamma_{13} X_A + K_1 M_{20} b_{13} = 0, \\
 & R_A^{x1} (z_{11} Y_A - b_{11} X_A) + R_A^{y1} (z_{12} Y_A - b_{12} X_A) - K_1 R_A^{z1} (z_{13} X_A + M_A^{x1} \gamma_{11} + M_A^{y1} \gamma_{12} + \\
 & + K_2 M_A^{z1} \gamma_{13} - R_B^{x1} (z_{21} Y_B - b_{21} X_B) - R_B^{y1} (z_{22} Y_B - b_{22} X_B) - R_B^{z1} (z_{23} Y_B - b_{23} X_B) + \\
 & + F_{u1}^x Y_{S_1} - F_{u1}^y X_{S_1} - G_1 Y_{S_1} + K_2 P_{30} b_{13} X_A + K_1 M_{20} \gamma_{13} = 0.
 \end{aligned}$$

Формирование алгоритма силового анализа одноподвижных пространственных четырехзвеников, моделируемых цепью ИСЦЦ, представлено в табл. 3. Для четырехзвеников 1-8 процедура силового анализа включает последовательное решение систем линейных уравнений (табл. 1 и 2) с учетом значений коэффициентов, приведенных в

табл. 3, а для четырехзвешников 9—16 задача сводится к решению системы 18 линейных уравнений (табл. 1 и 2) с учетом приведенных в табл. 3 значений коэффициентов.

Таблица 3

№	Наименование четырехзвешников	Входной параметр	Коэффициенты, значения которых равны нулю	Коэффициенты, значения которых равны нулю
1	ПСЦП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}$
2	ПСЦП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
3	ПСЦВ	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
4	ПСЦП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
5	ВСЦП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
6	ВСЦП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
7	ВЦВ	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
8	ВСВЦ	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
9	ЦСПП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
10	ЦСПП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
11	ЦСВВ	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
12	ЦВВ	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
13	ЦСВП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
14	ЦСВП	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
15	ЦСПВ	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$
16	ЦСВВ	b_{11}	$k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}$	$k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}, k_{25}, k_{26}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Саркисян Ю. Т. и др. Обобщенная задача в динамическом исследовании пространственных механизмов (руководство к решению) [Изв. АН АрмССР, Сер. ТН.—1986.—Т. XXXIX—№ 2.—С. 1—11].
2. Джавахян Р. Н., Акобджанян З. А., Гамбарян К. В. Унифицированный подход к определению инерционных нагрузок пространственных четырехзвешников [Изв. АН Армении, Сер. ТН].

ЕрПН

3. XI, 1991.

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVII, № 1—2, 1994, с. 7—11

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.9.013

Р. Е. АВАКЯН, Г. Б. БАГДАСАРЯН

ВЛИЯНИЕ СОЖ НА СИГЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Цель работы — установить оптимальные режимы резания при фрезеровании различных марок сталей с применением эмульсионно-охлаждающих жидкостей. В работе

ву методики оптимизации положен план факторного эксперимента типа 2^3 . Получены зависимости $P_s = f(V, S, t)$, которые при помощи линейного оператора и ряда ограничений превращаются в систему уравнений, решением которой на ЭВМ получены оптимальные режимы резания.

Табл. 3. Библиогр.: 2 назв.

Աշխատանքը նվիրված է կտրման հզորության իջեցման եղանակների ուսումնասիրությանը: Հետազոտության հիմքում ընկած է փորձերի պլանավորման 2^3 եղանակը: Ստացվել են $P_s = f(V, S, t)$ ֆունկցիաներ, որոնք զմային օպերատորի և մի շարք սահմանափակումների կիրառվածք փերափելի են հաճախարումների համակարգի, որի շտմումը էՀՄ-ով սղել է ևն-միմների օպտիմալ պարամետրերը:

В работе рассматриваются методы уменьшения составляющих силы резания, при помощи которых можно добиться уменьшения расхода электроэнергии (т. е. уменьшения мощности резания) при применении СОЖ в различных составах [1]. Задача исследования заключалась в следующем: найти оптимальное сочетание режимов резания с использованием СОЖ, при которых сила резания становится наименьшей.

Оптимизация режимов резания по составляющим силы резания является одним из ведущих принципов использования как универсального оборудования, так и станков с ЧПУ. В основу методики оптимизации положен план факторного эксперимента типа 2^3 [2]. Математическая модель для исследуемых выходных параметров имеет вид [2]

$$P_s = C_s V^{z_1} S^{z_2} t^{z_3}, \quad (1)$$

где C_s — коэффициент, зависящий от материала и СОЖ, а z_1, z_2, z_3 — показатели степеней.

Опыты проводились при фрезеровании фрезой из материала Р18 диаметром $D_\phi = 80$ мм, шириной $B = 80$ мм и числом зубьев $Z = 16$. При испытаниях геометрия фрезы была постоянной: передний угол $\gamma = 16^\circ$, задний угол $\alpha = 15^\circ$, угол подъема спирали $\beta = 30^\circ$. В качестве материала применялись стали 40Х и У8А, которые широко применяются в машиностроении и, в частности, в инструментальных цехах. При выборе СОЖ была поставлена задача: исследовать группу жидкостей, наиболее широко применяемых в производстве, совместно с комплексным изучением их влияния на процесс резания. По смазывающим и охлаждающим свойствам была рекомендована СОЖ, в состав которой входили [1]: эмульсия — 5%, вода — 95%. Для проведения экспериментов выбраны факторы V, S, t и интервалы их изменения (табл. 1).

В табл. 2 приведены план факторного эксперимента, а также данные эксперимента при применении СОЖ и без нее (в воздухе). Для определения показателей степеней z_1, z_2, z_3 , а также коэффициента C_s необходимо уравнение (1) записать в виде

$$Y = \ln P_s = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (2)$$

где $b_0, b_1, \dots, b_{123}$ — коэффициенты регрессии; X_1, X_2, X_3 — полиномы.

Таблица 1

Параметры	Уровни фактор в		Интервал варьирования
	-1 минимальное значение	+1 максимальное значение	
м. мин. X_1	5	60	32,5
мин. об. X_2	0,5	0,3	0,175
м.м. X_3	0,50	3,0	1,75

Таблица 2

План факторного эксперимента 2³

№	V, X_1	S, X_2	q, X_3	Вертикальная сила $P_v, Н$			
				сталь 40Х		сталь У8	
				СОЖ	на воздухе	СОЖ	на воздухе
1	5	0,05	0,5	389	480	320	420
2	60	0,05	0,5	210	300	170	260
3	5	0,30	0,5	520	610	450	570
4	60	0,30	0,5	410	520	340	460
5	5	0,05	3,0	500	600	450	550
6	60	0,05	3,0	400	490	340	461
7	5	0,30	3,0	550	650	500	600
8	60	0,30	3,0	500	610	450	560

Таблица 3

Матрица планирования

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Сталь 40Х		Сталь У8	
									Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	5,9870	6,1738	5,7684	6,0403
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	5,3939	5,7038	5,1358	6,5607
3	-1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	6,3007	6,4615	6,1093	6,357
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	6,0183	6,3107	5,8290	6,1313
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	6,2146	6,3970	6,1093	6,3591
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	6,0383	6,1944	5,8290	6,1313
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	6,3099	6,4770	6,2146	6,3970
8	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	6,2146	6,4135	6,1093	6,3280

Определение неизвестных уравнения (2) выполнено с помощью матрицы планирования, составленной на базе табл. 2, и их значения приведены в табл. 3. После обработки результатов получены следующие значения P_v :

а) для стали 40X —

$$\text{с СОЖ } P_o = \frac{e^{2,3} S^{0,7} f^{0,91}}{V^{0,73}}, \quad \text{на воздухе } P_o = \frac{e^{10,3} S^{0,7} f^{0,91}}{V^{0,73}} \quad (3)$$

б) для стали У8 —

$$\text{с СОЖ } P_o = \frac{e^{2,3} S^{0,7} f^{0,91}}{V^{0,73}}, \quad \text{на воздухе } P_o = \frac{e^{2,1} S^{0,73} f^{0,99}}{V^{0,73}} \quad (4)$$

Дисперсионный анализ [2] показал, что уравнения (3)—(4) адекватны при 3%-ой значимости и хорошо совпадают с результатами эксперимента. Анализируя полученные результаты, можно сказать, что при применении СОЖ составляющее силы резания уменьшется почти на 10...20%.

Оптимальные значения параметров резания для уравнения (3) и (4) получаем следующим линейным оператором (показан только для уравнения (3)):

$$\begin{aligned} Y = \ln V = 9,4 - 0,31 \ln V + 0,76 \ln S + 0,94 \ln f &\leq \ln 200, \\ \ln V &\geq \ln 5, \\ \ln V &\leq \ln 60, \\ \ln S &\geq \ln 0,05, \quad (5) \\ \ln S &\geq \ln 0,3, \\ \ln f &\geq \ln 0,5, \\ \ln f &\leq \ln 3. \end{aligned}$$

Решая систему неравенств (5), получаем следующие оптимальные значения: $V_{\text{опт}} = 60 \text{ м/мин}$, $S_{\text{опт}} = 0,05 \text{ мм/об}$, $f_{\text{опт}} = 1,5 \text{ м.м.}$

Аналогично для уравнения (4): $V_{\text{опт}} = 55 \text{ м/мин}$, $S_{\text{опт}} = 0,045 \text{ мм/мин}$, $f_{\text{опт}} = 0,75 \text{ м.м.}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян Р. Е. Вопросы качества обработанных деталей при фрезеровании в связи с применением СОЖ // Автореф. дис. канд. техн. наук — Ереван, 1967 — 16 с.
2. Катыш М. В., Инчабадзан Г. Б., Арутюнян Т. А. Оптимизация технологических факторов при резании методом многофакторного планирования эксперимента — Ереван: Айастан, 1990. — 161 с.

ЕрГН

2. V, 1991

УДК 621.391.1

В. Г. ГЕМИЛЯН, Л. М. ТАТИКЯН

ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

В соответствии с ранее предложенной методикой приведены расчетные формулы для оценки нелинейных искажений в трактах цифровой обработки сигналов при использовании эллиптических фильтров и их сравнение с Чебышевскими фильтрами.

Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

Հաշվարկային անալոգային ֆիլտրերի օգտագործմամբ, անալոգային ֆիլտրերի օգտագործմամբ և զգալի աղավաղումների դեպքերում համարվող ֆիլտրերի աղավաղումները բերված են հաշվարկային բանաձևեր և դրանք համեմատված են Չեբիշևի ֆիլտրերի հետ:

В работе [1] предложена методика оценки нелинейных искажений при цифровой обработке аналоговых сигналов в полосе частот. В настоящей работе выведены формулы оценки нелинейных искажений при использовании эллиптических фильтров (фильтры Кауэра-Зюлтарева) и по результатам расчетов нескольких примеров проведено сравнение с адекватными по подавлению в полосе пропускания и задерживания фильтрами Чебышева.

Сравнение коэффициентов нелинейных искажений [1] при применении фильтров Чебышева и эллиптических фильтров одного порядка должно проводиться при условии, что частоты срезов вышеуказанных фильтров определяются на основе следующего выражения, характеризующего эффективную (энергетическую, шумовую) полосу [2]:

$$\Delta\omega = \frac{\left| \int_0^{\omega_c} H(\omega) d\omega \right|^2}{\int_0^{\omega_c} H^2(\omega) d\omega} \quad (1)$$

где $H(\omega)$ — передаточная функция соответствующего фильтра. При определении $\Delta\omega_{эф}$ по формуле (1) возникают проблемы вычислительного характера, что затрудняет непосредственное ее применение. Для упрощения расчетов предлагается критерий сравнения фильтров, приводящий практически к тем же результатам, что и использование (1).

Для сравнения качества обработки сигналов при использовании эллиптических фильтров следует учесть, что частота среза фильтра

Чебышева определяется, исходя из неравномерности ε в полосе пропускания, а поведение передаточной функции в полосе заграждения однозначно определяется порядком N фильтра и параметром ε , в случае эллиптических фильтров необходимо задавать также и граничную частоту полосы заграждения. Фактически можно выбрать любые три из четырех параметров фильтра (порядок, ослабление в полосе пропускания, ослабление в полосе заграждения и граничная частота заграждения), и четвертый из них определится однозначно [3]. В связи с этим выбрано два подхода построения эллиптических фильтров, адекватных чебышевским фильтрам того же порядка. При первом подходе поведение эллиптического фильтра аналогично поведению чебышевского фильтра в полосе пропускания, а при втором — в полосе заграждения.

Известно, что квадрат модуля передаточной функции эллиптического фильтра имеет вид [4]

$$|H_2(j\omega)|^2 = 1/(1 + \varepsilon^2 R_N^2(\omega)), \quad (2)$$

где N — порядок фильтра, $\varepsilon = 10^{0.1 A_{\max}} - 1$, $A_{\max}$ — максимальная величина относительного затухания в полосе пропускания, выраженная в дБ, а $R_N(\omega)$ — рациональная функция, представляющая собой отношение двух полиномов N -го порядка.

При первом подходе рациональная функция $R_N(\omega)$ имеет следующий вид [4]:

а) когда N нечетно, а $k = (N-1)/2$ —

$$R_N(\omega) = \frac{\omega(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_2^2 - \omega^2) \cdots (\omega_k^2 - \omega^2)}{(1 - \omega_1^2 \omega^2)(1 - \omega_2^2 \omega^2) \cdots (1 - \omega_k^2 \omega^2)}, \quad (3)$$

б) когда N четно и $k = N/2$ — где $0 < \omega_i < 1$, $i = 1, 2, \dots, k$ — нули рациональной функции $R_N(\omega)$.

$$R_N(\omega) = \frac{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_2^2 - \omega^2) \cdots (\omega_k^2 - \omega^2)}{(1 - \omega_1^2 \omega^2)(1 - \omega_2^2 \omega^2) \cdots (1 - \omega_k^2 \omega^2)}, \quad (4)$$

Для того, чтобы поведение эллиптического фильтра в полосе пропускания было аналогично поведению чебышевского фильтра того же порядка, в качестве нулей рациональной функции $R_N(\omega)$ выбраны нули чебышевского полинома $C_N(\omega)$, т. е.

$$\omega_i = \cos \frac{\pi(2i-1)}{2N}, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (5)$$

При втором подходе поведение эллиптического фильтра аналогично поведению чебышевского фильтра в полосе заграждения. Если при первом подходе нули ω_i рациональной функции $R_N(\omega)$ (5) выбираются равными нулям соответствующего полинома Чебышева $C_N(\omega)$ и ослабление $1/\Delta^2$ в полосе заграждения определяется одно-

значно, то при втором подходе сначала определяется ослабление эллиптического фильтра в полосе заграждения адекватного ослабления чебышевского фильтра следующим образом:

$$1/A^2 = \left(\int_0^{5\omega_s + 1} (1/(1 + \epsilon^2 C_N^2(\omega))) d\omega \right) / 5\omega_s, \quad (6)$$

где ω_s — угловая частота дискретизации, а $1/(1 + \epsilon^2 C_N^2(\omega))$ — квадрат модуля передаточной функции фильтра Чебышева [4].

Поскольку расчеты проведены для ограниченной полосы частот, поэтому полоса задерживания ограничена величиной $5\omega_s + 1$ [1]. Как видно из рисунка, ослабление эллиптического фильтра $1/A^2$ выбирается равной высоте прямоугольника $PQST$, площадь которого равна площади криволинейной трапеции $PQVT$, характеризующей величину спектральной энергии чебышевского фильтра в полосе заграждения.

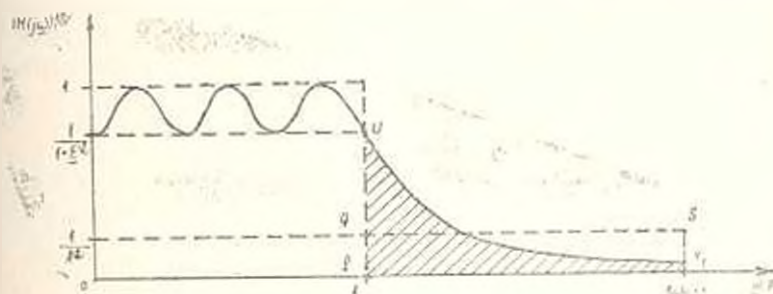


Рис. Определение ослабления в полосе заграждения эллиптического фильтра, адекватного ослаблению чебышевского фильтра того же порядка

При втором подходе рациональная функция из (1) записывается в виде [7]

$$R_N(\omega) = \prod_{i=1}^N \left[\frac{1 - k\omega_i}{1 - \omega_i} \right] \prod_{i=1}^N \left[\frac{\omega - \omega_i}{1 - k\omega_i\omega} \right], \quad (7)$$

где k — эллиптический параметр фильтра, а ω_i ($i = 1, 2, \dots, N$) — нули рациональной функции $R_N(\omega)$.

Эллиптический параметр k и нули ω_i ($i = 1, 2, \dots, N$) рассчитываются по формулам

$$k = \theta_2^2(0, h) / \theta_2^2(0, h), \quad (8)$$

$$\omega_i = \frac{1}{\sqrt{k}} \cdot \frac{\theta_2((2i-1)\pi/2N, h)}{\theta_2((2i-1)\pi/2N, h)}, \quad (9)$$

где θ_1, θ_2 — известные тета-функции Якоби [6], а h — известный эллиптический параметр [5].

Формула для оценки нелинейных искажений при использовании эллиптического фильтра записывается следующим образом [1]:

$$K_{\text{вз}} = V(\bar{E}_2 - E_1 + E_2)/E_1, \quad (10)$$

где

$$E_1 = \int_{-\omega_N/\omega_c}^{\omega_N/\omega_c} (1/(1 + \epsilon^2 R_N^2(\omega_n)))^2 \sin^2 c^2 D d\omega_n, \quad (11)$$

$$\text{sinc } D = \sin(-\omega_n/\omega_c) (\pi\omega_n/\omega_c),$$

$$E_2 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\omega_N/\omega_c + n\omega_c/\omega_c}^{\omega_N/\omega_c + n\omega_c/\omega_c} \left(\sum_{k=-\infty}^{\infty} (1/(1 + \epsilon^2 R_N^2(\omega_n + k\omega_c)))^2 \times \right. \\ \left. \cdot \sin^2 c^2 D/(1 + \epsilon^2 R_N^2(\omega_n)) \right) d\omega_n, \quad (12)$$

$$E_3 = 2\omega_N/\omega_c \cdot E_{12}, \quad \omega_{N1} = \omega_N/\omega_c, \quad \omega_c = \omega_{N1}/\omega_c,$$

ω — угловая частота сигнала, ω_N — угловая частота среза эллиптического фильтра, ω_c — угловая частота среза цифрового фильтра, ω_d — угловая частота дискретизации, N — порядок фильтра, $R_N(x)$ — рациональная функция эллиптического фильтра.

Расчеты, проведенные по формуле (10), позволяют сделать вывод, что с точки зрения нелинейных искажений в трактах цифровой обработки сигналов эллиптические фильтры ведут себя почти всегда хуже чебышевских фильтров, которые, в свою очередь, почти всегда хуже фильтров Баттерворта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян О. Ф., Гемилан Б. Г., Татикян Л. А. К вопросу выбора аналоговых фильтров при цифровой обработке сигналов // Техника средств связи. Сер. Техники радиосвязи. — 1991. — Вып. 1—С. 39—45.
2. Алмазов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. — М.: 1982.
3. Рабинер Б., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ. Под ред. Ю. Н. Александрога. — М.: Мир, 1978. — 848 с.
4. Лэн Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация / Пер. с англ. под ред. Н. Н. Теплюка. — М.: Мир, 1982. — 592 с.
5. Ахизер Н. И. Элементы теории эллиптических функций. — М.: Наука, 1970. — 304 с.
6. Уиттекер Э. Т., Ватсон Дж. Н. Курс современного анализа. Часть вторая. Трансцендентные функции / Пер. с англ. Под ред. Ф. В. Шарапова. — М.: Физматгиз, 1963. — 516 с.
7. Робач Дж. Д. Теория электрических фильтров. М.: Советское радио, 1980. — 240 с.

УДК 621.313.30

Н. Г. ШКНЯН

О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
ЗУБЧАТЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СЕРДЕЧНИКОВ ПРИ
НАМАГНИЧИВАНИИ ОСЕВЫМ ТОКОВОДОМ

Задача о распределении магнитного поля решена методом конечных элементов. По результатам расчета показано, что магнитным потоком в зубцовом слое по сравнению с полем в ядре и влиянием сдвига токовода на равномерность распределения поля в нем можно пренебречь. Такой способ достаточно точен для поперечного контроля в производстве.

Ил. 1. Библиогр. 1 назв.

Հանրահայտ հարցը բազմակի լուծվել է ինքնուրույն և փոխփոխ տարրերի կողմից: Այս արդյունքից ելք է առնել, որ առանձին շերտի մագնիսական հոսքը հարկ է առնել, երբ լուծվում է հարցը բազմակի միջին հասկերի շերտի մագնիսական հոսքի բաշխման խնդիրը: Այս փոխընդհանուր լուծումը և փոխընդհանուր լուծումը հարկ է առնել մեծ անոցի մեջ:

Одним из условий обеспечения заданного уровня качества электрических машин малой мощности в серийном производстве является пооперационный контроль, в частности, контроль магнитных свойств сердечников. В настоящее время известен высокопроизводительный способ контроля магнитных свойств кольцевых сердечников малых размеров при намагничивании их тоководом, проходящим сквозь отверстие сердечника. Способ применяется при разбраковке ферритовых сердечников для устройств магнитной памяти и является перспективным при контроле магнитных свойств кольцевых сердечников электрических машин. Однако применительно к последним возникают особенности, связанные с наличием зубцового слоя и большими размерами сердечников.

Для сердечников статоров асинхронных двигателей с высотой оси вращения (ВОВ) 50...80 мм (соответственно 60...2200 Вт) величина намагничивающего тока токоведущей шины находится в пределах 70...120 А. Необходимо обеспечить включение и отключение столь значительного тока в шине без возникновения электрической дуги. Эта задача решается выполнением коммутации в первичном контуре трансформатора (ток не более 5 А), питающего намагничивающий контур испытуемого сердечника.

Наличие зубцов статора приводит к тому, что магнитный поток замыкается не только по ядру, но и по зубцовому слою — поперек зубцов. Магнитная индукция в ядре определяется по величине ЭДС, наведенной в измерительном контуре, охватывающем испытуемый сердечник аналогично намагничивающему контуру. При этом магнитный поток в зубцовом слое оказывается отнесенным к потоку в ядре. Если магнитный поток в зубцовом слое составляет хотя бы несколь-

ко проентов потока в ярме, то это приводит к значительной погрешности намерения характеристики намагничивания ярма. Другая погрешность может возникнуть при смещении токоведущей шины с оси отверстия статора, если при этом нарушается равномерное распределение магнитного потока в ярме.

В данной статье приведены результаты расчетного исследования магнитного поля в сердечнике статора, когда токоведущая шина расположена по оси отверстия, а также при разных удалениях ее от оси. Задача о распределении магнитного поля решалась с помощью метода конечных элементов. Разбиение расчетной области (лист статора с сечением токоведущей шины, расположенной в отверстии) выполнялось с помощью ЭВМ по программе, разработанной в Рижском политехническом институте.

Усредненное значение индукции в сечении определялось по методике расчета среднелинейного значения функции в соответствующей области. При этом были рассчитаны интегральные значения нормальной B_n и тангенциальной B_{τ} составляющих индукции в выбранном секторе зубца, а также в секторе ярма B_n и B_{τ} , расположенном над пазом статора.

Объектом исследования служил сердечник статора двигателя 4АА63А2 (370 Вт, 2800 об/мин), собранный из термообработанных листов стали 2012 толщиной 0,5 мм. Расчеты были выполнены для намагничивающего тока $I=100$ А при четырех положениях токоведущей шины: а) по оси отверстия, б) при удалениях от оси на $\frac{5}{13}$, $\frac{10}{18}$ и $\frac{15}{18}$ R радиуса отверстия ($R=27$ мм, размеры поперечного сечения шины 2×20 мм).

Когда шина занимает центральное положение, то большая ось ее сечения расположена по диаметру отверстия, проходящему по зубцам 1 и 13. При этом среднее значение тангенциальной составляющей B_{τ} индукции в ярме составляет 1,259 Тл (рис.). Для оценки этой величины укажем, что расчетная индукция в ярме при номинальном напряжении и холостом ходе двигателя равна 1,389 Тл.

В сечениях ярма, примыкающих к зубцам с номерами $1 + \frac{Z}{2 \cdot 2p} k$ (Z — число зубцов, $2p$ — число полюсов, $k=1, 2, 3, \dots$), значения B_{τ} колеблются в пределах $\pm 0,24\%$ от среднего значения.

Тангенциальная составляющая индукции в зубцовом слое B_{τ} определяется по зубцам неравномерно, что объясняется, по-видимому, грубостью дискретизации зубцового слоя при расчетах (рис.). Максимальное значение B_{τ} не превосходит $0,29\%$, B_{τ} в среднем значение по зубцам — $0,25\%$. Нормальные составляющие индукции в зубцах B_n и ярме B_n на 2,3 и более порядков меньше соответствующих тангенциальных составляющих, поэтому ими можно пренебречь.

При максимальном удалении от оси шина приближена к зубцу 7. В прилегающем к нему сечении ярма B_{z1} возрастает на 0,56%, а в диаметрально противоположном сечении (прилегающем к зубцу 19) убывает на 0,16% по сравнению с центральным положением (рис.). Значения B_{z1} при этом не изменяются.

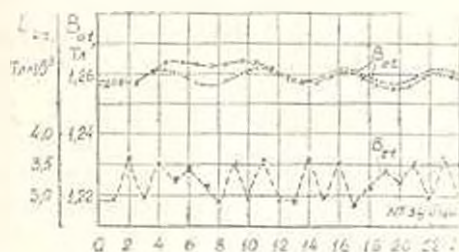


Рис. Распределение тангенциальных составляющих индукции в ярме B_{z1} и зубцовом слое B_{z2} при падающем токе $I = 100$ А. — — — ток в шине, удаленной от оси на $\frac{15}{18}$ радиуса отверстия. — — — ток в шине, удаленной от оси на $\frac{15}{18}$ радиуса отверстия. — — — ток в шине, удаленной от оси на $\frac{15}{18}$ радиуса отверстия.

шина удалена от оси на $\frac{15}{18}$ радиуса отверстия

Для промежуточных положений шины значения индукций находились в интервале между значениями, соответствующими положениям «а» и «б».

Таким образом, при центральном расположении токоведущей шины и при удалении ее от оси вплоть до $\frac{15}{18}$ магнитный поток в зубцовом слое можно принять равным нулю при изменении магнитных свойств с целью производственного контроля. При этом распределение индукции в сечениях ярма с достаточной точностью можно принять равномерным.

Отношение среднего радиуса зубцового слоя R_z к среднему радиусу ярма R_y для испытуемого сердечника двухполюсного двигателя составляет 0,732. Для четырехполюсного двигателя с той же ВОВ оно равно 0,788, поэтому можно допустить, что соотношение магнитных потоков в зубцовом слое и ярме для $2p=4$ будет практически таким же, как и при $2p=2$.

Описанный способ контроля обладает также достаточно высокой чувствительностью и позволяет обнаружить отклонения магнитных свойств от нормированных при нарушении режима термообработки [1].

Указанные выше достоинства позволяют рекомендовать рассмотренный способ к реализации в испытательных стендах для поперационного контроля кольцевых сердечников в серийном производстве электрических машин малой мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин Н. Г., Нондеи М. Е., Джанибеков Г. К. Контроль магнитных свойств сердечников электрических машин малой мощности // Изв. АН АрмССР. Сер. ГН. — 1989. — Г. XI. II, № 1. — С. 12—14.



УДК 535.34

А. Г. ГАСПАРЯН, С. М. СТЕПАНЯН, Х. С. БАГДАСАРОВ, С. О. ОГАНЕСЯН

К ВОПРОСУ О РЕАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВЫХ ГРАНАТОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ЦИРКОНИЯ

Проведен комплексное исследование неоднородностей в монокристаллах иттрий-алюминиевых гранатов, легированных ионами циркония. Изучены возможности контроля основной и нефундаментальных линий поглощения. Проведен концентрационный анализ микрогетерогенностей.

Ил. 2. Библиогр. 6 назв.

Համալրված է ցերկոնիումի իոններով լեզրված իտրիում-ալյումինիում նեոօքսիդի միաբյուրեղներում եղած անհամասեռությունների համալիր օսումնախորհրդունենք: Ստան-նախորդում են հիմնական և ոչ հիմնական կլանման դժերի վերաբերյալ հնարավորությու-նները: Անց է կացվում միկրոանհամասեռությունների կոնտակտան վերլուծություն:

Интерес к монокристаллам иттрий-алюминиевых гранатов с примесями и без них, как материалам для нелинейной оптики и квантовой электроники, довольно высокий [1, 2]. Ювелирная промышленность также остро нуждается в совершенных образцах с широкой цветовой гаммой, высокой прозрачностью и богатой игрой света. В настоящей работе приведены результаты исследования кристаллов иттрий-алюминиевых гранатов, легированных двуокисью циркония. Изучались кристаллы иттрий-алюминиевого граната, легированные ZrO_2 , 0,5, 1 и 2% вес. в шихте, полученные методом Бриджмена-Стокбаргера [3]. Спектрофотометрическое исследование кристаллов проводилось на спектрофотометре СФ-4 и приборе Perkin-Elmer при комнатной температуре. Концентрация и распределение легирующего и основных элементов определялись методом рентгеноспектрального микроанализа на растровом микроскопе-микроанализаторе JXA 5A. Нарушенные области предварительно выявлялись методом оптической микроскопии, а затем исследовались электронно-зондовым методом. Режим работы прибора JXA-5A: время счета — 10—20 с, ток — $0,65 \cdot 10^{-7}$ А, ускоряющее напряжение — $15 \cdot 10^3$ В. В качестве эталонов использовались нелегированные кристаллы $Y_3Al_5O_{12}$ для элементов Y и Al, а для Zr — двуокись циркония.

Активирование кристаллов иттрий-алюминиевого граната ионами циркония приводит к окрашиванию образцов в красный цвет. При этом густота окраски зависит от концентрации циркония, изменяясь от бледно-розового до густого красного цвета при изменении концентрации примеси в шихте от 0,1 до 2% вес. Добавление примеси циркония в матрицу иттрий-алюминиевого граната приводит к возникновению в спектрах поглощения иттрий-алюминиевых гранатов широкой

линии поглощения на длине волны $\lambda = 495 \cdot 10^{-9}$ м. Отжиг при температуре 1000°C на воздухе, в вакууме и в инертной среде (аргоне, водороде, смеси аргона и водорода) вызывает обесцвечивание кристалла и исчезновение линии поглощения $\lambda = 495 \cdot 10^{-9}$ м. Облучение γ — лучами Co^{60} при 300 K дозой 10^8 р не влияет на окраску кристалла и на линию поглощения $\lambda = 495 \cdot 10^{-9}$ м.

Проведено исследование изменения линии поглощения на $\lambda = 495 \cdot 10^{-9}$ м вдоль кристалла. На рис. 1 приведено изменение пропускания на этой длине вдоль оси роста. В области от 300 до 600 мкм помимо фундаментальной полосы $495 \cdot 10^{-9}$ м наблюдалась широкая, но слабая полоса на $\lambda = 340 \cdot 10^{-9}$ м. Она наблюдается и на чистых монокристаллах иттрий-алюминиевых гранатов, выращенных из той же шихты, что и легированные кристаллы $\text{Y}_2\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{ZrO}_2$. Эта линия может быть обусловлена гомогенизированной стехиометрией [2].

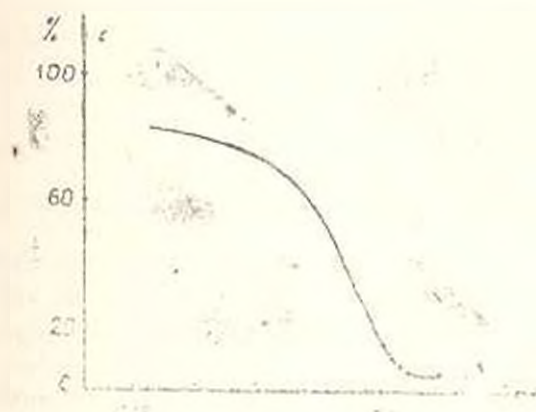


Рис. 1. Зависимость пропускания в кристаллах $\text{Y}_2\text{Al}_2\text{O}_3 : 2\text{O}$ на длине волны $\lambda = 495 \cdot 10^{-9}$ м вдоль направления к кристаллизации.

Спектральные исследования системы $\text{Y}_2\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{ZrO}_2$ позволили выделить помимо основной линии поглощения и нефундаментальные линии (рис. 2). Граничная ультрафиолетовая длина волны $\lambda = 280 \dots 290 \cdot 10^{-9}$ м. В области от 200 до $300 \cdot 10^{-9}$ м наблюдается большое число случайных линий поглощения, которые исчезают при переходе от образца к образцу или даже в пределах одного образца. Так, например, трехчасовой отжиг при температуре 1000°C на воздухе оказывается достаточным для уничтожения линии на длине волны $225 \cdot 10^{-9}$ м, тогда как отжиг в среде H_2 в тех же условиях ослабляет линию на 50%. Такая зависимость может быть обусловлена неконтролируемыми процессами.

Исследование распределения легирующего элемента циркония в кристаллах показало, что примесь входит в матрицу иттрий-алюминиевых гранатов в виде частиц второй фазы. Зарождение таких частиц, как правило, начинается у краев кристалла и затем охватывает весь объем.

Включения имеют неограниченную, округлую форму. Обогащение цирконием может происходить как за счет иттрия, так и алюминия. Был проведен количественный расчет состава частиц фазовых включений. При расчетах применяется метод трех поправок. Морфологические исследования показали, что области, обогащенные цирконием, могут быть приурочены к полостям. Свечения, возникающие при попадании пучка электронов в микроанализаторе на кристалл, в области, обогащенные цирконием, и в матрице, отличаются. В первом случае свечение зеленое, во втором — красное.



Рис. 2. Спектр поглощения кристаллов $Y_3Al_5O_{12}:ZrO_2$: 1 — до отжига, 2 — после отжига в вакууме, 3 — после отжига в H_2 .

Конечные части кристалла при росте покрываются поликристаллической массой, в которой примесь циркония входит как и в кристаллической матрице — в виде областей, обогащенных цирконием.

Таким образом, в системе $Y_3Al_5O_{12}:ZrO_2$ примесь циркония Zr, ответственная за линию поглощения на длине волны $\lambda = 495 \cdot 10^{-9}$ м, входит в матрицу в виде частиц второй фазы. Неограниченность, округлость форм таких нарушенных областей указывает на то, что они могут быть захвачены в процессе роста из расплава, который как расплавы сложных окисных соединений [4, 5] состоит из комплексов. Диссоциация таких конгломератов может происходить при выдержке расплава при более высоких температурах.

Адекватное вхождение примеси Zr в кристаллическую матрицу и поликристаллическую «шубу» свидетельствует о том, что кристаллическая структура не является причиной образования фазы, обогащенной цирконием, а запрограммирована расплавом.

В литературе известны несколько возможных механизмов образования пузырей [6]. Захват пузырь-фаза в системе $Y_3Al_5O_{12}:ZrO_2$ может происходить либо непосредственно из расплава, либо включением примесно обогащенной области с последующим ее сжатием и образованием пузырей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багдасаров Х. С. Выращивание крупных высокодиородных монокристаллов окисных соединений // Тез. VI Всесоюз. конф. по росту кристаллов. — Ереван, 1985. — Т. 1. 2. — С. 1—2.

2. Асатрян П. А., Кистов Е. Ф., Лы. Т., Чухчиев М. В. О дефектах в монокристаллах гранатов, выращенных методом оптической зонной плавки // Кристаллография — 1968 — Т. 13 — Вып. 4 — С. 740—742.
3. Асатрян Г. Р., Кузаний А. С., Петросян А. Г., Петросян А. К., Шароян Э. Г. Спектры оптического и ЭПР поглощения монокристаллических и поликристаллических гранатов, активированных ионами циркония // Физ. тв. тела. — 1985 — Т. 27 — Вып. 11. — С. 3441—3443.
4. Елютин В. П., Митин Б. С., Нагибин Ю. А. Свойства жидкой Al_2O_3 // В сб. АН СССР. Сер. неорг. мат. — 1972 — Т. 8. — № 3 — С. 477—480.
5. Ваздасаров Х. С. Проблемы синтеза крупных тугоплавких оптических монокристаллов // Тех. IV Всесоюз. сов. по росту кристаллов. — Ереван, 1972 — С. 6—26.
6. Спечавне В. Current topics in material science — Amsterdam: Ed. E. Kaldis 1977. — 705p.

АрмНПО ВТИ

1. VIII. 1992

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVII, № 1—2, 1994, с. 21—25.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.3:628.162

С. Н. МАНУКЯН Р. С. МАРТИРОСЯН С. М. САДУМ

СНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ МНОГОМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИЗНАКОВ В САПР ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Освещены вопросы, связанные с применением на этапе электрохимических производств метода статистической классификации и снижением размерности в многомерном пространстве признаков связанного с необходимостью обработки больших объемов статистической информации, накопленной в базе данных в виде информационной модели «карты отходов» производства. Приведены алгоритмы функционирования процедур по построению сверхнасыщенных матриц планирования из базы «пассивных» экспериментальных данных и принципа встраиваемой стратегии метода «случайного блуждания».

Библиогр.: 3 назв.

Համարակալած են էլեկտրաքիմիական արտադրությունները բաժան հեղուկների արդյունաբերական մարման համակարգերի նախագծային փուլում առաջացող հարցեր, որոնք պահանջում են վիճակագրական դասակարգման և բաժանակամային փոքրածանց մեթոդների կիրառումը: Վերջինիս դիպրում առաջանում է տվյալների բազայում կուտակված մեծ քանակությամբ տվյալների մշակման անհրաժեշտություն: Հսկվածում բերված են պահանջարկի գերհագեցած մատրիցաների կառուցման ալգորիթմները դասիկ մոդելների բազայի վրան վրա: Մեթոդում է պատահական բաժանի միջոցով հնարավորություն սկզբնական:

Эффективность функционирования САПР или АСУ во многих отраслях деятельности человека и, в частности, в процессах, связанных с утилизацией и обезвреживанием сточных вод, зависит от оперативности и статистической оправданности принимаемых решений инженерно-техническим персоналом, на основе большого количества статистической информации, собранной с реально действующего производства. Одним из важных при этом является этап, связанный с класси-

фикацией и снижением размерности в условиях, когда число признаков (факторов) значительно и существенным влиянием обладают как отдельные признаки, так и некоторые из их всевозможных комбинаций.

В статье освещены вопросы, связанные с применением на этапах проектирования или управления процессами очистки сточных вод электрохимических производств метода «случайного баланса» для процедуры выявления значимых факторов. Применению метода предшествует процедура построения исходной матрицы планирования. Наличие обширной статистической информации, собранной персоналом уже существующего производства, и возможность ее накопления в современной интегрированной базе данных позволяет значительно уменьшить материальные и временные затраты, связанные с проведением активного эксперимента путем его имитирования «классическими» производственными замерами.

В приложении к задаче — построения двухуровневого сверхнасыщенного факторного плана, для дискретизации непрерывного статистического материала выбрана целевая функция, исходя из следующих условий:

— число неперекрывающихся интервалов во всей области существования статистики $[a, b]$ равно двум, при условии, что один из них будет соответствовать нижнему уровню варьирования рассматриваемой переменной, второй — верхнему;

— интервал $[a, b]$ включает в себя всю имеющуюся статистику по данной переменной при условии отсечения резко выделяющихся точек по статистическим критериям (например, по r — критерию);

— расстояние между интервалами в $[a, b]$ максимальное, что вызвано необходимостью охвата широкого интервала варьирования по данному параметру с целью увеличения описательной способности модели;

— для уменьшения ошибки воспроизводимости и повышения степени достоверности исходной информации, описывающей матрицу планирования, минимизируется ширина искомым подинтервалов;

— количество точек, попадающих в каждый из подинтервалов, в $[a, b]$ максимальное.

При этих условиях в качестве целевого функционала предлагается функция

$$\Phi = \frac{\omega_1(x_{\max}^j - x_{\min}^j)}{\omega_1(x_{\max}^j - x_{\min}^j) + \omega_2(x_{\max}^j - x_{\min}^j)} \left[\int_{x_{\min}^j}^{x_{\max}^j} P(x^j) dx^j + \int_{x_{\min}^j}^{x_{\max}^j} P(x^j) dx^j \right], \quad (1)$$

$$a = x_{\min}^j, \quad b = x_{\max}^j$$

где j — номер рассматриваемой переменной; ω_1, ω_2 — весовые коэф-

фиценты: $\int_{x'_{\text{нач}}}^{x'_{\text{кон}}} P(x') dx'$ — количество точек, попадающих в первый

интервал; $P(x')$ — плотность вероятности функции распределения при j -ой переменной.

При исследовании работы отстойников очистки сточных вод ПО «Познстор» в течение длительного промежутка времени анализировался состав и содержание потоков. Полученная статистическая информация накапливалась в базе данных (БД), построенной на основе программно-инструментальной системы «ИСМА» [1]. Работа по сбору статистической информации проводилась сотрудниками ЕрОИЕМ «Армхром», накопление информации в БД и ведение БД — в ЕрПИ.

Целью исследования, проведенного на данном этапе, явилось изучение влияния количественного и качественного состава сточных вод на эффективность работы очистительных сооружений ПО «Познстор» с целью выдачи рекомендаций по проектированию новых технологических схем очистки, усовершенствованию или управлению режимами их работы. В качестве факторов использовалось содержание соединений

[Al], [Fe], [Zn], [Sn], [Bi], [Cr], [Ni], [Cu], [Pb], [NH₄], [Na], [K].

Непосредственной реализации метода «случайного баланса» предшествовала процедура генерации эталонной матрицы планирования. Последняя получена путем смешения двух реплик типа 2^{6-1} с определяющими контрастами $y = x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$. Реплики смешивались случайным образом. Из каждой реплики выбирали по строке, которые объединялись вместе, превращаясь в строку из 12 элементов. Далее, используя вышеуказанный подход и таблицу «объект-свойства», выбранную из БД средствами программного обеспечения «ИСМА», проводилась перекодировка выбранной статистической информации. Из полученной матрицы исключались эквивалентные строки. Переменные (свойства), соответствующие откликам исследуемой подсистемы, усреднялись, и производился выбор конечной матрицы планирования на основе критериев оптимальности, учитывающих степень симметричности, равномерности, ортогональности и коррелированности

$$\max |r(x_i, x_j)| \leq r_{\text{кр}}, \quad \max \omega = \frac{\sqrt{|(x^* x)^{-1}|}}{\prod_{j=1}^k \sigma_j}, \quad (2)$$

а нижняя граница числа точек плана определялась по формуле

$$m \geq \text{НОК}(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k),$$

где НОК — наименьшее общее кратное.

Решение задач поиска экстремумов (1) и (2) проводилось с использованием метода случайного поиска с возвратом [3]. В качестве откликов принимались концентрации металлов [Cu, Pb, Fe, Cr] в сточных водах. Далее, решение задачи установления доминирующих эффектов (12 линейных и 66 парных взаимодействий) среди общей совокупности испытываемых проводилось по следующему алгоритму:

1. По средним значениям выборок, полученным для двух уровней значений каждого фактора, строится ранжировочная кривая абсолютных величин эффектов факторов. Эффекты, абсолютные величины которых меньше 3σ , классифицируются как незначимые и исключаются из ранжировочной кривой. Для выделившихся факторов вычисляются коэффициенты регрессии «бивес-процедурой» определения их устойчивых оценок [2].

2. При исключении эффектов факторов используется ветвящаяся стратегия. При этом на каждом шаге производится корректировка экспериментальных данных (исключение вклада снимаемого фактора) и строится новая ранжировочная кривая, для которой определяются коэффициенты регрессии, величина остаточной дисперсии $\sigma^2_{ст}$, дисперсии относительно среднего значения отклика σ^2 и максимальный размах наблюдений Δy . Смысл ветвящейся стратегии заключается в том, что эффекты исключаются последовательно во всех возможных комбинациях.

В процессе N -кратного исключения из исходной ранжировочной кривой отбирается совокупность доминирующих факторов, соответствующая данному этапу исключения и характеризующая $\sigma^2_{ст}$. Критерием выбора служат $\sigma^2_{ст}$, σ^2 и Δy .

3. Ранжировочная кривая, соответствующая этапу исключения доминирующих факторов, принимается за исходную, и вся процедура, начиная с этапа 2, повторяется до тех пор, пока при отсечении из очередной кривой незначимых эффектов, меньше чем 3σ , количество оставшихся эффектов снизится до величины, не допускающей дальнейшего исключения эффектов, или величины $\sigma^2_{ст}$, σ^2 , Δy пока не достигнут заданных значений, позволяющих утверждать, что основные доминирующие эффекты факторов выделены.

Задача реализована на языке «СИ» и сформирован в виде автономного пакета прикладных программ для ЭВМ IBM PC/AT.

Полная технологическая карта отходов производства, организованная на базе системы «ПСМА» с использованием пакета прикладных программ статистической классификации, методом «случайного баланса» позволяет пользователю решить целый ряд задач, связанных с проблемой принятия решения в условиях статистической неопределенности объема информации, собранной и накопленной в базе данных с реально действующих электрохимических производств.

Неформатированность БД системы и возможность логической привязки прикладных пакетов к различным понятиям в логической структуре данных (ЛСД) технологической карты с помощью языковых

средств, доступных пользователю системы, позволяют проводить перечисленные расчеты над различными областями ЛСД или с точки зрения технологии, над различными узлами, блоками или аппаратами технологической схемы очистки. Созданные средства позволяют сканировать пакетом прикладных программ над всем «информационным полем», описывающим технологическую историю производства, ее настоящее состояние и, по желанию, пользоваться, фиксировать его над той или иной областью этого «поля».

ЛИТЕРАТУРА

1. Манукян Э. Н. Вопросы теории и разработки общественного математического обеспечения автоматизированных систем управления качеством продукции. — Ереван: Айдастан, 1988. — 153 с.
2. Слабодчикова Р. И. Применение новых алгоритмов определения устойчивых оценок искомых параметров при статистической обработке данных // Сб. науч. тр. Гидромета — М.: Гидромет, 1986. — С. 3—9.
3. Манукян С. Н. Математическое моделирование гетерогенно-каталитического процесса дилирования бензола пропиленом. Автореф. дисс. канд. техн. наук. — М., 1977. — 16 с.

ЕрПИ

31. X. 1991

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVII, № 1—2, 1994, с. 21—29.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.511.4

С. Е. ЧИМИШКЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЧАСТОТНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ В МНОГОСВЯЗНЫХ САР С ДВУМЯ БЛОКАМИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ

Предлагается метод исследования одночастотных автоколебаний на основе гармонической линеаризации, позволяющий учесть наличие двух блоков нелинейностей, разделенных линейными динамическими звеньями, объектом и корректирующим устройством при наличии неопределенности в одном из них (в объекте).

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Մանուկյան Շ. Երկու անոցանոց ինքնաօտոկոսների ուսումնասիրումը մի հարմար մեթոդով և տարբեր դինամիկ զանգվածի համակարգերով ապահովվող երկու ոչ լիներմի օբյեկտի անորոշության դեպքում:

В системах автоматизации, не требующих особо высокого качества регулирования, часто применяется одноконтурная схема регулирования с обратной связью, структура которой изображена на рис. 1. Здесь $G(s) — m \times m$ номинальная передаточная матрица (ПМ) линейного (линеаризованного) объекта; $\Delta G(s) — m \times m$ мультипликативная неопределенность объекта, о которой известно лишь, что она не изме-

няют часть неустойчивых мод (правых полюсов) объекта и ограничена по норме, т. е.

$$\| \Delta G(j\omega) \|_2 \leq \Delta_0(\omega); \quad (1)$$

$K(s)$ — $m \times m$ ПЧ линейного корректирующего устройства; $БН_1$ и $БН_2$ — блоки статических нелинейностей исполнительных органов и датчиков (возможно также цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей) соответственно, в которых могут быть перекрестные связи и нелинейности гистерезисного типа.

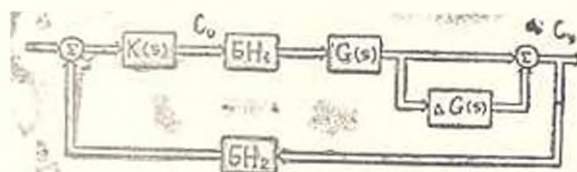


Рис. 1. Структурная схема нелинейной многоконтурной САР

Чтобы оценить работоспособность такой системы автоматического регулирования (САР), необходимо для начала проверить ее устойчивость. Известные процедуры анализа устойчивости подобных нелинейных систем на основе гармонической линеаризации, абсолютной устойчивости и др. использующие построения, подобные классическим [1, 2], позволяя учесть лишь один блок нелинейности, т. е. либо $БН_1$, либо $БН_2$.

Описываемый ниже подход разработан в рамках метода гармонической линеаризации. Как известно, в общем случае этот метод не имеет строгого обоснования, что, однако, не мешает его широкому распространению в инженерной практике. В основе подхода лежит следующая теорема.

Теорема. Пусть в отношении САР (рис. 1) справедливы следующие предположения: 1) выполняется гипотеза фильтра, т. е. как объект, так и корректирующее устройство обладают свойствами фильтра высоких частот; 2) в первом приближении, т. е. без учета $БН_1$ и $БН_2$ САР устойчива.

Тогда достаточное условие отсутствия установившихся одночастотных автоколебаний с частотой Ω и вектором комплексных амплитуд первой гармоники на выходе САР C_γ запишется в виде

$$\sigma [I + H(j\Omega, C_\gamma)^{-1}] > \Delta_0(\Omega), \quad (2)$$

где $\sigma[A]$ — наименьшее сингулярное число матрицы A ; $H(j\Omega, C_\gamma)$ — эквивалентная матрица частотных характеристик разомкнутой САР

$$H(j\Omega, C_\gamma) = G(j\Omega) F_1(j\Omega, C_\gamma) \cdot K(j\Omega) \cdot F_2(j\Omega, C_\gamma);$$

C_γ — вектор комплексных амплитуд первой гармоники на выходе корректирующего устройства, порожденный вектором C_γ :

$$C_\gamma = K(j\Omega) \cdot F_2(j\Omega, C_\gamma) \cdot C_\gamma;$$

$F_1(j\Omega, C_p)$ и $F_2(j\Omega, C_p)$ — соответствующие матрицы коэффициентов гармонической линеаризации БН₁ и БН₂.

Доказательство. С учетом допущений, сделанных в теореме, условие существования в САР (рис. 1), незатухающих одночастотных автоколебаний частоты Ω с вектором комплексных амплитуд на выходе объекта C_p можно записать как

$$\det[I + \tilde{H}(j\Omega, C_p)^{-1}] = 0$$

или

$$\sigma[I + \tilde{H}(j\Omega, C_p)^{-1}] = 0, \quad (2)$$

где $\tilde{H}(j\Omega, C_p)$ — эквивалентная матрица частотных характеристик разомкнутой САР с истинным (не номинальным) объектом $G(j\Omega)$

$$\tilde{G}(j\Omega) = [I - \Delta G(j\Omega)] G(j\Omega).$$

С учетом последнего можно записать

$$\tilde{H}(j\Omega, C_p) = [I + \Delta G(j\Omega)] H(j\Omega, C_p).$$

Таким образом, из (3) следует, что условие отсутствия автоколебаний имеет вид

$$\sigma[I + \tilde{H}(j\Omega, C_p)^{-1}] > 0.$$

Достаточное условие для последнего, в соответствии с [3], имеет вид (2), что и требовалось доказать.

Обращение неравенства (2) дает условие возможного существования автоколебаний и позволяет определить области возможных автоколебаний. Заметим, что достаточность неравенства (2) обусловлена наличием неопределенности объекта, о которой почти ничего не известно.

В качестве примера рассмотрим систему стабилизации напряжения и частоты переменного тока на выходе преобразователя постоянного тока в переменный (рис. 2). ПМ линеаризованного объекта [4] и ПМ корректирующего устройства, синтезированного для линейного приближения по методу [5], приводятся ниже:

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{5}{s+6} & \frac{-4}{s^2+8s+12} \\ \frac{5}{s+6} & \frac{2(s+4)}{s^2+8s+12} \end{bmatrix},$$

$$K(s) = \begin{bmatrix} 0,26 + \frac{0,95}{s} & 0,3 + \frac{0,73}{s} \\ -0,16 - \frac{0,74}{s} & 0,35 + \frac{0,95}{s} \end{bmatrix}.$$

Исследовалось влияние ограничения уровня сигналов управления и обратной связи на допустимую величину неопределенности объекта $\Delta_G(\omega)$. На рис. 3 изображены графики выражения

$$\ln |z| [1 + H(j\omega, C_r)^{-1}] \geq \Delta_G(\omega), \quad \forall \omega \geq 0, \quad (4)$$

без ограничения C_r для трех случаев:

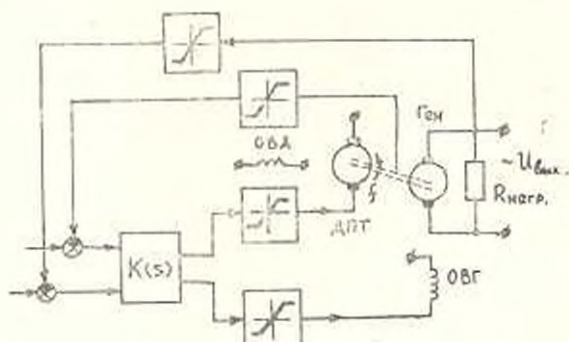


Рис. 2. Система стабилизации преобразователя постоянного тока в переменный

а) при отсутствии ограничения уровня, т. е. в линейном приближении — кривая 1; б) при ограничении сигналов управления (БН₁) на уровне 3 и обратной связи (БН₂) на уровне 1 в обоих каналах — кривая 2; в) при ограничении сигналов управления и обратной связи на уровне 1.

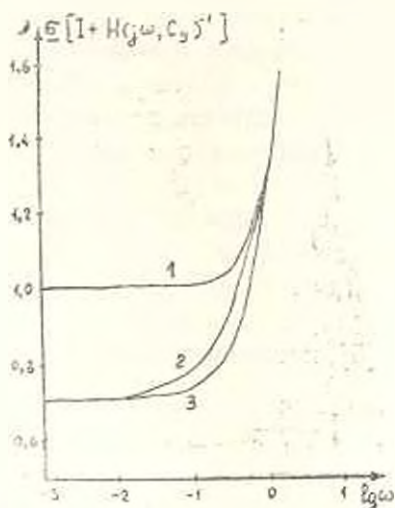


Рис. 3. Зависимость допустимой величины неопределенности от частоты $\Delta_G(\omega)$

В соответствии с (2) выражение (4) определяет допустимую величину неопределенности, при которой гарантированно нет автоколебаний. Очевидно, что реальные условия, т. е. ограничение уровня сигналов управления и обратной связи, снижает эту величину в сравне-

нии с идеальным (линейным) вариантом в области низких частот, где усиление корректирующего устройства велико из-за наличия в нем интегральной составляющей.

Численное определение (4) выполнено с помощью комбинации равномерного сканирования и градиентного алгоритма минимизации в пространстве комплексных амплитуд C_n (3 независимых переменных).

Предлагаемый метод позволяет исследовать не только непрерывные, но и дискретные САУ. Возможно также построение соответствующей процедуры параметрического синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nonlinear system design. Ed. S. A. Billings, J. O. Gray, D. H. Owens. — London: Peregrinus, 1984. — P. 204.
2. Карачик Э. В., Мелкумян А. М. О предельных циклах в многосвязных системах автоматического регулирования // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. — 1984. — Т. XXXVII, № 6. — С. 15—20.
3. Hung Y. S., MacFarlane A. G. J. Multi variable feedback design: a quasi classical approach. — Berlin: Springer, 1982. — P. 160.
4. Passino K. M. Disturbance rejection in nonlinear systems: examples. IEE Proc., Pt. D. — 1989. — № 6. — P. 317—323.
5. Чимишян С. Е. Исследование многосвязных систем управления с учетом нелинейности цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей. — Дисс. на канд. техн. наук. — Ереван: Ереванский политех. ин-т, 1990.

НИИЭлектромаш

20. XI. 1991

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVI, № 1—2, 1994, с. 29—33

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.513

Н. А. БАРСЕГЯН

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДА ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ГИПОЦЕНТРОВ БЛИЗКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНЫХ СКОРОСТЕЙ ВОЛН

Приведен метод одновременного определения координат гипоцентров землетрясений и скоростей сейсмических волн. Применен шаговый алгоритм случайного поиска—поиск с возвратом. Разработана программа на Фортране—77 для одновременного определения координат гипоцентров близких землетрясений и эффективных скоростей сейсмических волн при использовании методов последовательного приближения и алгоритма случайного поиска.

Библиограф.: 2 назв.

Քերված է հրկրաշարժերի հիպոկենտրոնների երկրաշարժական ալիքների արագության միաժամանակյա որոշման մեթոդը, կիրառվել է աստիճանական փնտրման ջանքային ալգորիթմը՝ փնտրում վերադարձով: Մշակվում են ծրագրերը Ֆորտրան—77 լեզվով հրկրաշարժերի հիպոկենտրոնների կոորդինատների և երկրաշարժական ալիքների արագությունների միաժամանակյա որոշման ալգորիթմի համար, օգտագործվելով հանդիսական մոտարման մեթոդը և դասական փնտրման մեթոդը՝ փնտրում վերադարձով:

В связи с использованием ЭВМ в оперативной обработке первичной сейсмологической информации и накоплением ее на внешних магнитных накопителях появилась возможность детализации и уточнения скоростных моделей исследуемых тектонически активных регионов сейсмологическими методами. Одним из способов достижения этой цели является одновременное определение координат гипоцентров землетрясений и скоростей сейсмических волн.

1. *Определения и обозначения.* При определении координат гипоцентров близких землетрясений скоростная модель региона представляется как функция координат пространства и времени $V = V(X, Y, H, T)$.

Критерием точности таких методов является минимум среднеквадратических отклонений, наблюдаемых и расчетных времен пробега волн. Распространение волн в однородной среде отвечает гиперболическому голографу. Для определения координат гипоцентров близких землетрясений при регистрации прямых объемных волн можно использовать уравнения гиперболического голографа

$$(X - x_i)^2 = (Y - y_i)^2 + (H - h_i)^2 - (V_i t_i)^2 = 0, \quad (1)$$

где X, Y, H и x_i, y_i, h_i — координаты гипоцентра землетрясения и сейсмических станций; V_i — эффективная скорость распространения сейсмических волн от очага до i -ой станции; t_i — время пробега волн; n — число станций регистрации.

Для решения этой системы уравнений относительно координат гипоцентра землетрясения необходимы данные о времени пробега волн и индивидуальные эффективные скорости на каждую станцию. Но при изучении временных вариаций скоростных параметров необходимо одновременное определение координат близких землетрясений и скоростей сейсмических волн. Однако в такой постановке вопроса система (1) некорректна, т. к. любые n уравнений всегда будут содержать $(n+3)$ неизвестных X, Y, H, V_i ($i=1, 2, \dots, n$). Для упрощения решения задачи введем параметр K_{ij} — коэффициент скоростной неоднородности (КСН), который определяется как

$$K_{ij} = V_{ij} / \bar{V}, \quad (2)$$

где V_{ij} — эффективная скорость распространения сейсмических волн на пути от j -ого блока до i -ой станции, $\bar{V}$ — средняя эффективная скорость в районе исследования.

Коэффициенты скоростной неоднородности показывают относительное изменение эффективной скорости от j -го блока до i -го блока станции и служат для введения поправочных множителей. Вводя эти множители, условно приводим район исследования к однородному и тогда имеем возможность вычислить среднюю эффективную скорость в нем одновременно с координатами гипоцентров землетрясений. Им-

индивидуальная эффективная скорость в таком случае может быть представлена как произведение

$$V_{ij} = K_{ij} \bar{V}. \quad (3)$$

Тогда система уравнений (1) может быть приведена к виду

$$(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (H_j - h_i)^2 - (\bar{V} K_{ij} t_{ij})^2 = 0, \quad (4)$$

где X_j , Y_j , H_j — координаты очага землетрясения, относящиеся к j -му однородному блоку; m — число блоков.

Раскрывая скобки и определяя первое уравнение каждой системы, получаем систему неоднородных линейных уравнений $(n-1)$ порядка относительно четырех неизвестных X_j , Y_j , H_j и $\bar{V}$. Введем следующие обозначения:

$$A_i = x_i - x_1, \quad B_i = y_i - y_1, \quad C_i = h_i - h_1, \quad V = \bar{V}^2,$$

$$D_{ij} = K_{ij}^2 t_{ij}^2 - K_{ij}^2 t_{ij}^2, \quad E_i = x_i^2 - x_1^2 + y_i^2 - y_1^2 + h_i^2 - h_1^2,$$

отсюда

$$2A_i X_j + 2B_i Y_j + 2C_i H_j + D_{ij} V - E_i = 0. \quad (5)$$

Для решения полученной системы линейных уравнений воспользуемся методом наименьших квадратов. На основании (5) запишем следующий функционал:

$$F(X_j, Y_j, H_j, V) = \sum_{i=1}^{n-1} (2A_i X_j + 2B_i Y_j + 2C_i H_j + D_{ij} V - E_i)^2. \quad (6)$$

Минимум функционала находится в точке, где частные производные по искомым параметрам равны нулю:

$$\partial F / \partial X_j = \partial F / \partial Y_j = \partial F / \partial H_j = \partial F / \partial V = 0. \quad (7)$$

При решении полученной системы нормальных уравнений вычисляются неизвестные X_j , Y_j , H_j , V .

При определении координат гипоцентра землетрясений и скоростей сейсмических волн одновременно принимаются как нормально распределенные ошибки измерения, так и систематические отклонения, связанные с неоднородностями скоростного строения. Поэтому, чтобы учесть отклонения и привести закон распределения случайных величин к нормальному, вводится КСН для каждого направления станция—однородный блок. Эффективные значения скоростей сейсмических волн на каждую станцию определяются по формуле

$$V_{ij} = [(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (H_j - h_i)^2]^{1/2} t_{ij}. \quad (8)$$

2. Алгоритм определения координат гипоцентра и скоростей сейсмических волн. В работе [1] определены координаты гипоцентра землетрясений и скорости сейсмических волн при использовании мето-

дов последовательного приближения. Процесс вычисления заканчивается при совпадении предшествующих и последующих значений искомых параметров. Точность вычисления этих параметров оценивается по значению среднеквадратического отклонения расчетных t_{ij}^p и наблюдаемых t_{ij} времен пробега сейсмических волн

$$S_{\min} = \left[1/N \sum_{i=1}^n (t_{ij} - t_{ij}^p)^2 \right]^{1/2}, \quad (9)$$

где

$$t_{ij}^p = [(X_j - x_j)^2 + (Y_j - y_j)^2 + (H_j - h_j)^2]^{1/2} / \bar{V}K_{ij}. \quad (10)$$

Вместо метода последовательного приближения и алгоритме одновременного определения координат гипоцентров близких землетрясений и эффективных скоростей сейсмических волн применен шаговый алгоритм случайного поиска—поиск с возвратом [2]: в пространстве оптимизируемых параметров делается шаг в случайном направлении ξ . Если значение функции качества в новом состоянии $Q(x_{i+1})$ больше или равно значению функции качества в исходной точке $Q(x_i)$, то система возвращается в первоначальное состояние, после чего снова делается шаг в случайном направлении. Если же функция качества уменьшилась, то последующий случайный шаг делается уже из этого нового состояния x_{i+1} . Этот алгоритм можно записать в виде следующих рекуррентных выражений:

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + \Delta X_{i+1}, \\ \Delta X_{i+1} &= \begin{cases} a\xi, & \text{если } Q(x_i) < Q(X_{i+1}), \\ -\Delta X_i, & \text{если } Q(X_i) > Q(X_{i+1}). \end{cases} \end{aligned}$$

Здесь a — длина рабочего шага в пространстве параметров, ξ — очередная реализация случайного вектора.

Алгоритм работает следующим образом. Начальное состояние памяти $\Delta X = (0, 0, \dots, 0)$, а памяти $Q^* = 0$. Работа алгоритма начинается с определения функции качества в исходном состоянии $Q_0 = Q(X_0)$. В нашем случае функция качества определяется как

$$Q(Z) = 1 / \{ (\partial F / \partial X_j)^2 + (\partial F / \partial Y_j)^2 + (\partial F / \partial H_j)^2 + (\partial F / \partial V_{ij})^2 \}. \quad (11)$$

После этого полученное значение Q сравнивается со значением, хранящимся в памяти Q^* , и запоминается. Если $\Delta Q = Q - Q^* < 0$, то за этим следует обращение к оператору случайного шага ξ с запоминанием его компонент в памяти Δx и т. д. Если же $\Delta Q > 0$, то производится обратный шаг $(-\Delta x)$, параметры которого хранятся в памяти Δx , после чего в этом состоянии определяется функция качества. Это значение запоминается в памяти Q , производится случайный шаг и т. д.

Разработаны программы на Фортране-77 одновременного определения координат гипоцентров близких землетрясений и эффективных скоростей сейсмических волн при использовании методов последо-

вительного приближения и алгоритма случайного поиска—поиска с возвратом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономидово Г. А. Детальное исследование пространственно-временных вариаций скоростных параметров и прогноз землетрясений — Автореф. ... дисс. канд. техн. наук. — М., 1984. — 18 с.
2. Растринин Э. А. Случайный поиск. — Рига: Зинатне, 1965. — 374 с.

ИПИИ АН РА

29 VII 1992

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVII, № 1—2, 1993, с. 33—40

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 658.564:531.75

С. Г. КЮРЕГЯН, Н. С. КЮРЕГЯН

АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ В РЕЗЕРВУАРАХ

Разработаны алгоритмы, позволяющие осуществлять оптимальное распределение начальной и товарной массы продукта в резервуарах с целью минимизации погрешности измерения массы продукта при товарных операциях. Расчеты показывают, что с помощью указанных алгоритмов можно значительно снизить погрешность измерения массы.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Դասկած է ալորրիմներ, որոնք թույլ են տալիս իրականացնել նյութի սկզբնական և տարանջանի զանգվածի չափարկման տեղաբաշխումը պահեստարաններում՝ ապրանքային գործարքների դեղձում նյութի զանգվածի չափման սխալը նվազագինիս նպատակով: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ եղմած ալգորրիթմների միջոցով նկարագրվող է զգալիորեն ցածրանք զանգվածի չափման սխալը:

Количественный учет жидких продуктов, в частности, нефтепродуктов, при проведении товарных операций в резервуарах представляет важную экономическую задачу. Как показано в [1], относительная погрешность измерения товарной массы продукта зависит не только от величины самой массы и погрешностей средств измерения, но и от уровня начального заполнения резервуара. Если товарная операция осуществляется одновременно в нескольких резервуарах с известными средствами измерения, то погрешность измерения всей массы будет явиться от распределения начальной и товарной масс жидкости в резервуарах. Ранее в [2] была решена задача оптимального распределения товарной массы продукта при произвольно заданном распределении начальной массы продукта в резервуарах. В качестве критерия оптимальности был принят минимум относительной погрешности измерения всей товарной массы продукта.

$$\Delta M = \left(\sum_{i=1}^n M_i \Delta M_i / M_i \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где M_i , ΔM_i — товарная масса и относительная погрешность ее измерения (ГОСТ 26976—86) в i -ом резервуаре; M — общая товарная масса продукта:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i, \quad (2)$$

n — количество резервуаров в товарной операции.

Обозначим через M_{0i} и M_{ni} начальные значения массы продукта соответственно в i -ом резервуаре и по всех резервуарах

$$M_0 = \sum_{i=1}^n M_{0i} \quad (3)$$

и поставим новую задачу минимизации погрешности (1) по переменным M_i и M_{ni} с учетом физической реализуемости операции

$$0 \leq M_{0i} \leq M_{ni}, \quad 0 \leq M_i \leq M_{ni}, \quad (4)$$

для всех $i = 1, 2, \dots, n$, где

$$M_{ni} = \begin{cases} M_{0i} & \text{при отпуске,} \\ M_{0i} - M_{0i} & \text{при приеме продукта.} \end{cases}$$

M_{ni} — максимальное значение массы продукта в i -ом резервуаре.

Для формализации задачи введем относительные значения масс

$$x_i = M_i / M_{ni}, \quad x_{0i} = M_{0i} / M_{ni}, \quad x_{ni} = M_{ni} / M_{ni}.$$

Составим минимизируемую функцию из членов подкоренного выражения (1), зависящих от x_i и x_{ni} , которую представим в матричной форме

$$f(x, x_0) = x^T A x + 2x^T A_0 x_0 + 2x_0^T A_0 x_0 + 2B^T x + 4B^T x_0 \quad (5)$$

при условии (2) и (3):

$$g_{01}(x) = 1 - A^T x = 0, \quad g_{02}(x_0) = D_0 - A^T x_0 = 0 \quad (6)$$

и в области (4):

$$\begin{aligned} g_1(x, x_0) &= x_i - x \geq 0, & g_2(x) &= x \geq 0, \\ g_3(x_0) &= x_0 \geq 0, & g_4(x_0) &= x_0 \geq 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где x , x_0 , x_n — n -мерные векторы с компонентами x_i , x_{0i} и x_{ni} соответственно; $A = \text{diag} [a_i]$, $A_0 = \text{diag} [a_{0i}]$ — диагональные матрицы; B , A — матрицы-столбцы с элементами b_i и a_i соответственно; $D_0 = M_0 / M$, $a_i = M_{ni} / M$, $a_{0i} = 1/2 a_{ni}$, $b_i = 1/2 b_{ni}$, $g_i = (c_i - a_i) \times$

$$\propto d_i \frac{k_v^2}{k_c^2}, \quad \alpha_{0i} = \left(\delta V_i \frac{k_m}{k_v} \right)^2 + \left((c_i - d_i) \frac{k_m}{k_c} \right)^2 + \left(\delta \rho \frac{k_m}{k_p} \right)^2, \quad \alpha_i = \alpha_{0i} +$$

$$+ \left(\delta V_i \frac{k_m}{k_v} \right)^2; \delta V_i, \delta \rho, \delta V - \text{нормируемые относительные погрешности}$$

соответственно градуировки i -го резервуара, плотномера и вычислительной системы; c_i, d_i — нормируемые плучленные погрешности средств измерения уровня или давления жидкости в i -ом резервуаре; k_v, k_c, k_p, k_N, k_m — квантильные коэффициенты, зависящие от законов распределения погрешностей и выбранного значения доверительной вероятности и устанавливающие взаимосвязь между нормируемыми значениями и среднеквадратическими отклонениями погрешностей соответственно градуировки резервуара, средств измерения уровня (давления), плотности, вычислительной системы и массы.

Задача (5) — (7) относится к классу задач нелинейного программирования и может быть решена методом Куна-Таккера [3]. Однако поиск граничных решений, если экстремальные выходят за допустимую область (7), оказывается весьма громоздким. Решая задачу условного экстремума (5) — (6) методом множителей Лагранжа, получаем

$$Sx_0^* = R, \quad x^* = \frac{1}{p} (I - I) A^{-1} \Lambda - (A^{-1} A_0 x_0 + A^{-1} P), \quad (8)$$

где x_0^*, x^* — экстремальные значения векторов, обеспечивающие минимум

$$(5); \quad S = I_n - \frac{1}{2} A^{-1} A_0 + \frac{1}{2p} A^{-1} \Lambda \Lambda^T A^{-1} A_0, \quad I_n - \text{единичная матрица};$$

$$R = -\frac{1}{2p} (I_0 + I) A^{-1} \Lambda - \frac{1}{2p_0} (2I_0 + 2I_0 + I) A_0^{-1} \Lambda + \frac{1}{2} A^{-1} B - A_0^{-1} B,$$

$$p = \Lambda^T A^{-1} \Lambda; \quad p_0 = \Lambda^T A_0^{-1} \Lambda; \quad I = \Lambda^T A^{-1} (A_0 x_0 + B); \quad I_0 = \Lambda^T A^{-1} B;$$

$$I_{00} = A_0^{-1} B.$$

Вначале рассмотрим частный случай, когда все резервуары и установленные на них средства измерения одного класса точности равны: $\alpha_i = \alpha, \alpha_{0i} = \alpha_0, \beta_i = \beta, d_i = d$ для всех $i = 1, 2, \dots, n$. Тогда

$$A = \alpha \Lambda_1^2, \quad A_0 = \alpha_0 \Lambda_2^2, \quad p = \frac{n}{\alpha}, \quad p_0 = \frac{n}{\alpha_0}, \quad I = \frac{\alpha_0 M_0 + 2M_n}{2M},$$

$$I_0 = \frac{\beta}{\alpha} \frac{M_n}{M}, \quad I_{00} = \frac{\beta}{\alpha_0} \frac{M_n}{M},$$

где $\Lambda_i = \text{diag} \{ \lambda_i \}, \quad M_n = \sum_{i=1}^n M_{ni}$. Экстремальные решения из (8) для абсолютных значений масс будут равны

$$M_{ni}^* = \frac{M_0}{n} + \frac{\beta}{\alpha_0} \left(\frac{M_n}{n} - M_{ni} \right), \quad M_i^* = \frac{M}{n}. \quad (9)$$

Минимальное значение погрешности измерения при этом равно

$$\Delta M = \left\{ \frac{\alpha}{n} + \frac{1}{M^2} \left[2 \frac{\alpha_0}{n} M_0 (M_0 \mp M) + 2d^2 \sum_{i=1}^n M_{ni}^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + 2 \frac{\beta}{n} M_n (2M_0 \mp M) + 2 \frac{\beta^2}{\alpha_0} \left(\frac{M_n^2}{n} - \sum_{i=1}^n M_{ni}^2 \right) \right] \right\}^{1/2},$$

откуда видно, что наименьшее значение достигается, когда исходные данные принимают следующие значения: $M_0 = M$ при отпуске продукта и $M_0 = 0$ при приеме. В случае, когда нормированы относительные или приведенные погрешности средств измерения уровня или давления ($\beta = 0$), либо все резервуары одинаковой вместимости, оптимальным является равномерное распределение начальной и товарной массы продукта в резервуарах: $M_{ni} = M/n$, $M_i^* = M/n$.

Если оба решения (9) удовлетворяют условиям (4), то оптимальные решения найдены. Если же нарушается первое неравенство (4), то распределение начальной массы надо искать на границах этого неравенства, а оптимальное распределение товарной массы определять по выражению

$$M_i^* = \frac{M}{n} \mp \frac{\alpha_0}{\alpha} \left(\frac{M_0}{n} - M_{0i} \right) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{M_n}{n} - M_{ni} \right). \quad (10)$$

Теперь рассмотрим случай, когда товарные операции совершаются в резервуарах разных классов точности. Условно резервуарный парк разобьем на первый и второй классы с погрешностями градуировки соответственно $\pm 0,1$ и $\pm 0,2\%$. Предположим, что резервуары одного класса оснащены средствами измерения одинакового класса точности. Обозначим количество и параметры резервуаров первого и второго классов соответственно через n_1 , α_1 , α_{01} , β_1 и n_2 , α_2 , α_{02} , β_2 , начальные и товарные массы продукта во всех резервуарах первого и второго классов — M_{01} , M_1 и M_{02} , M_2 . Введем n_1 - и n_2 -мерные векторы x_{01} , x_1 и x_{02} , x_2 распределения относительных значений масс продукта для резервуаров первого и второго классов. Тогда

$$x_0 = \begin{bmatrix} x_{01} \\ x_{02} \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} \alpha_1 \Lambda_{11}^2 & 0 \\ 0 & \alpha_2 \Lambda_{22}^2 \end{bmatrix},$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} \alpha_{01} \Lambda_{01}^2 & 0 \\ 0 & \alpha_{02} \Lambda_{02}^2 \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \Lambda_1 \\ \Lambda_2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \beta_1 \Lambda_{11} \Lambda_1 \\ \beta_2 \Lambda_{22} \Lambda_2 \end{bmatrix},$$

$$p = \frac{n_1}{\alpha_1} + \frac{n_2}{\alpha_2}, \quad p_0 = \frac{n_1}{\alpha_{01}} + \frac{n_2}{\alpha_{02}}, \quad l_0 = \frac{\beta_1}{\alpha_1} \frac{M_{01}}{M} + \frac{\beta_2}{\alpha_2} \frac{M_{02}}{M},$$

$$l_{00} = \frac{\beta_1}{\alpha_{01}} \frac{M_{01}}{M} + \frac{\beta_2}{\alpha_{02}} \frac{M_{02}}{M},$$

из системы (8) можно найти оптимальные значения x_{01}^* , x_{02}^* , x_1^* и x_2^* . Достаточно определить значения масс продукта резервуаров какого-либо одного класса, например, второго. Тогда значения масс, приходящихся на все резервуары первого класса, можно найти из соотношений: $M_{01} = M_0 - M_{02}$, $M_1 = M - M_2$. Учитывая, что $\Lambda_2^T x_{02} = M_{02}/M$ и $\Lambda_1^T x_1 = M_1/M$, определим

$$M_{01}^* = \frac{1}{n_1 \alpha_{01} + n_2 \alpha_{01}} (M_0 n_2 \alpha_{01} - F_0), \quad M_2^* = \frac{1}{n_1 \alpha_2 + n_2 \alpha_1} (M n_1 \alpha_1 - F), \quad (11)$$

где

$$F_0 = -M n_1 n_2 \frac{\alpha_1 \alpha_{02} - \alpha_2 \alpha_{01}}{n_1 (2\alpha_2 - \alpha_{01}) + n_2 (2\alpha_1 - \alpha_{01})} + (M_{02} n_1 \beta_2 - M_{01} n_2 \beta_1),$$

$$F = - (M_{02} n_2 \alpha_{02} - M_{01} n_2 \alpha_{01}) - (M_{02} n_1 \beta_1 - M_{01} n_2 \beta_1).$$

Перейдем к организации поиска граничных решений. Если нарушаются условия (4), то решения на нижней и верхней границах соответственно при отпуске и приеме продукта означают исключение рассматриваемого резервуара из операции. Поэтому для определения оптимального граничного распределения массы продукта будем искать решения на верхней границе при отпуске и на нижней — при приеме продукта. Рассматривая оптимальные решения M_{0i}^* из (9) и M_i^* из (10) совместно с (4), получаем следующие неравенства:

$$\frac{\alpha_i M_0 + \beta M_{0i}}{\beta n} \leq M_{0i} \leq \frac{\alpha_i M_0 + \beta M_{0i}}{(\alpha_0 + \beta) n}, \quad M_{0i} \geq 0, \quad (12)$$

выполнение которых обеспечивает нахождение оптимального решения в допустимой области, где

$$M_{0i} = \begin{cases} M_{0i} + A_i, & \text{если } A_i < 0, \\ M_{0i} - \frac{\alpha_i}{\alpha - \alpha_{0i}} A_i, & \text{если } A_i > 0, \end{cases}$$

$$A_i = \begin{cases} \frac{1}{n} \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} M - M_0 - \frac{\beta}{\alpha_0} M_{0i} \right) + \frac{\beta}{\alpha_0} M_{0i} - \text{при отпуске,} \\ \frac{1}{n} \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} M + M_0 + \frac{\beta}{\alpha_0} M_{0i} \right) - \frac{\alpha_0 + \beta}{\alpha_0} M_{0i} - \text{при приеме.} \end{cases}$$

Если в соответствии с полученными неравенствами расположить резервуары в упорядоченный ряд так, чтобы граничные решения, если они имеют место, выполнялись для резервуаров, находящихся в начале ряда, то исключая каждый i -ый резервуар с граничным решением, можно продолжить поиск экстремальных решений для оставшихся $(n - i)$ резервуаров при новых значениях M_0 , M_{0i} и M .

измерения массы нефтепродуктов в вертикальных цилиндрических резервуарах, снабженных датчиками давления с приведенной погрешностью $\epsilon_p = \epsilon_d = \pm 0,1\%$, $\delta V = \pm 0,1\%$, $\frac{R_u}{R_c} = \frac{R_u}{R_v} = \frac{R_u}{R_A} = 1,1$. Расчет погрешности измерения массы продукта в резервуаре проводился по ГОСТ 26976-86, а погрешность измерения массы продукта в парке резервуаров — по формуле (1).

Таблица

Оптимальное распределение при отпуске массы $M = 2000 \text{ т}$

Исходные данные		№ резерв.	1	2	3	4	5	
		$V_i, \text{ м}^3$	200	500	1000	2000	5000	
		$M_{ul}, \text{ т}$	160	400	800	1600	4000	
		$M_{oi}, \text{ т}$	80	100	240	1280	1600	
№ вар			1	2	3	4	5	$\delta M, \%$
Результаты расчетов	1	$M_i, \text{ т}$	80	100	240	—	1580	0,341
		$\delta M_i, \%$	0,40	0,67	0,57	—	0,42	
	2	$M_i, \text{ т}$	—	—	—	1074	926	0,354
		$\delta M_i, \%$	—	—	—	0,37	0,71	
	3	$M_{oi}, \text{ т}$	160	400	469	1300	971	0,332
		$M_i, \text{ т}$	160	400	469	—	971	
		$\delta M_i, \%$	0,29	0,29	0,36	—	0,65	
	4	$M_{oi}, \text{ т}$	160	400	800	520	1480	0,361
		$M_i, \text{ т}$	—	—	—	520	1480	
		$\delta M_i, \%$	—	—	—	0,54	0,45	
	5	$M_{oi}, \text{ т}$	—	—	—	1300	2000	0,348
		$M_i, \text{ т}$	—	—	—	—	2000	
		$\delta M_i, \%$	—	—	—	—	0,348	
	6	$M_{oi}, \text{ т}$	—	400	—	1600	1300	0,239
		$M_i, \text{ т}$	—	400	—	1600	—	
		$\delta M_i, \%$	—	0,29	—	0,29	—	
	7	$M_{oi}, \text{ т}$	—	400	800	800	1300	0,206
		$M_i, \text{ т}$	—	400	800	800	—	
		$\delta M_i, \%$	—	0,29	0,29	0,40	—	
	8	$M_{oi}, \text{ т}$	160	400	720	720	1300	0,197
		$M_i, \text{ т}$	160	400	720	720	—	
		$\delta M_i, \%$	0,29	0,29	0,30	0,42	—	

Расчеты показывают, что погрешность измерения всей массы продукта можно значительно снизить.

Таким образом, разработанные алгоритмы РМ—1 и РМ—2 позволяют с помощью ЭВМ достаточно просто находить оптимальные распределения в резервуарах отпускаемой или принимаемой массы продукта, что приводит к значительному снижению погрешности измерения указанной массы и экономии ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кюрегян С. Г. Пределы измерения массы жидкости в вертикальных резервуарах гидростатическим методом // Измерительная техника.—1990.—№ 10.—С. 18—20.
2. Кюрегян С. Г. К вопросу о построении автоматизированной системы распределения и учета жидких продуктов в резервуарах. Изв. АН АрмССР. Сер. ГН.—1990.—Т. XLIII.—№ 6.—С. 273—277.
3. Дегтяров Ю. И. Исследование операций.—М.: Высш. шк., 1990.—220 с.

ГИУА

3 X 1992

Изв. НАН Армении (сер. ГН), т. XLVII, № 1—2, 1991, с. 40—43

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.51.621.64.622.692.4.001

И. А. ЖУЧЕНКО, Л. А. УНАНЯН

ДИНАМИЧЕСКАЯ ВАРИАНТНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Рассматривается динамическая задача оптимизации технических решений магистральных сетей распределения газа. Выбор оптимальных технических решений участков сети производится среди заданных множества вариантов, которые включают технические решения, соответствующие рассматриваемым временным уровням периода проектирования сети. Сформулирована математическая модель задачи программирования. Решение задачи оптимизации осуществляется методом «восточной и границ».

Библиогр.: 4 назв.

Գնահատվում է զգալի բաշխման մաթեմատիկական խնդիրների լուծումների լուծարկման գնահատական խնդիրը: Խնդիրը տեղանիշների լուծարկման տեղանիշների բնութագրերը կատարվում է տարբերակների արժեքի քանակականների միջոցով: Մոդելը բնութագրվում է ժամկետի տեղանիշների լուծումներ, որոնք համապատասխանում են խնդրի նախադրման ժամկետի ժամանակահատվածի մաթեմատիկականին: Ձևակերպվում է լուծարկման խնդրի մաթեմատիկական տեղանիշների լուծումը: Մոդելը բնութագրվում է խնդրի տեղանիշների նախադրման խնդրի լուծումը իրականացվում է «վերջերի և սահմաններ» մեթոդով:

Оптимизация развития газотранспортных систем включает две основные задачи — оптимизацию потокораспределения в сети и выбор технических решений элементов системы. Такая модель является задачей нелинейного математического программирования с непрерывными

и булевыми переменными, сложность решения которой обусловлена отсутствием универсальных подходов. Однако, если потокораспределение каким-либо образом определено или задано, то задача оптимизации развития газотранспортных систем сводится к определению оптимальных технических решений (параметров), и модель становится «чисто вариантной», содержащей только булевы переменные. Алгоритмическая и практическая сложность анализа и применения такой модели значительно ниже по сравнению с дискретно-непрерывной и можно пользоваться эффективными методами дискретной оптимизации.

С этой точки зрения рассмотрим динамическую вариантную задачу оптимизации технических решений распределительных газотранспортных систем при заданных направлении и величине потоках газа от источников до потребителей. Под распределительной газотранспортной системой понимается система газопроводных участков (компрессорные станции отсутствуют), распределяющая газ от магистрального газопровода до потребителей (городов и населенных пунктов) территориального района.

Рассмотрим N временных уровней $t, t = \overline{1, N}$ периода развития (проектирования), по отношению к которым необходимо выбрать технические решения газопроводных участков распределительной газотранспортной системы. Под техническими решениями имеются в виду основные или параллельные нитки труб разных диаметров, лупинги и вставки с разными длинами и диаметрами, число перемычек между нитками и др. Для исходного состояния системы примем $t=0$. Конечному моменту принятия решений соответствует $t=N$ (конец периода развития). Интервалы между соседними временными уровнями могут равняться одному году или нескольким годам. Состояние газотранспортной сети на $t=M$ временном уровне опишем с помощью графа $G_t(Y', I')$, $t = \overline{0, N}$, где Y' — множество узлов системы, а I' — множество газопроводных участков. Под узлами понимаются точки расположения потребителей и источников газа системы и стыковки участков.

Предполагается, что выполняются следующие условия: $Y' \subseteq Y'^{t+1}$, $I' \subseteq I'^{t+1}$, $t = \overline{0, N-1}$, что соответствует последовательному развитию сети. Пусть для усиления каждого действующего на начало периода проектирования или строительства нового газопроводного участка i ($i \in I^0$) выбраны n_i вариантов развития по временным уровням t , $t = \overline{1, N}$ периода проектирования. Эти варианты образуются путем рассмотрения параллельных ниток различного числа перемычек между нитками, лупингов или вставок с разными длинами и диаметрами, а также рассмотрения различных временных уровней (годов) их строительства. В дальнейшем будем предполагать, что технические решения каждого года реализуются в течение этого же года полностью. Обозначим приведенные затраты k -го варианта развития элемента i за период проектирования через C_{ik} , $i \in I^0$, $k = \overline{1, n_i}$. Расчет приведенных затрат производится по формуле [1]

$$C = \sum_{t=0}^{\infty} (E_{\text{н}} K_t + \Delta I_t) (1 - E_{\text{нп}})^{t-1}, \quad (1)$$

где $E_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (0,12), K_t — капитальные вложения в t -ом году, $\Delta I_t = I_t - I_{t-1}$ — прирост эксплуатационных затрат, I_t — эксплуатационные затраты в t -ом году, $E_{\text{нп}}$ — нормативный коэффициент приведения (0,08), τ — год приведения (в нашем случае $\tau = 0$).

Обозначим давление поступающего в систему газа у источника системы по рассматриваемым временным уровням через $P_{\text{и}}^t$ (МПа), $t = \overline{1, N}$ — направления и объемы передачи газа (млн м³/сут) от источника до потребителей по временным уровням периода проектирования определены заранее. Пусть в соответствии с графиком t -го временного уровня имеются M' , $t = \overline{1, N}$ различных путей передачи газа от источника до отдельных потребителей. Через S_m^t , $m = \overline{1, M'}$ обозначим m -ый путь передачи газа в t -ом году. Обозначим перепад квадратов давления газа на t -ом газопроводном участке в t -ом году при реализации k -го варианта развития через ΔP_{ik}^t , который можно определить по формуле [2]

$$\Delta P_{ik}^t = P_{\text{и}}^{t1} - P_{\text{п}}^{t2} = \Delta z_{\text{гп}} T_{\text{гп}} Q_i^t / (c_1 D_{\text{экв}}^{(2,5)})^2, \quad (2)$$

где $P_{\text{и}}^{t1}$, $P_{\text{п}}^{t2}$ — соответственно начальные и конечные давления газа участка в t -ом временном уровне, МПа; $\Delta z_{\text{гп}}$ — относительная плотность газа по воздуху; $T_{\text{гп}}$ — коэффициент гидравлического сопротивления; $z_{\text{гп}}$, $T_{\text{гп}}$ — средние по длине газопровода коэффициент сжимаемости и температура транспортируемого газа, К; L_i — длина участка, км; Q_i^t — поток газа по участку в t -ом временном уровне; c_1 — коэффициент; $D_{\text{экв}}^{t1}$ — эквивалентный диаметр участка в t -ом временном уровне при k -ом варианте развития, м.

Эквивалентные диаметры рассчитываются по методике [3].

Сопоставим k -му варианту технических решений i -го газопроводного участка переменную X_{ik} , равную 1, если принимается к исполнению k -ый вариант технических решений, и равную 0, если k -ый вариант технических решений к исполнению не принимается:

$$X_{ik} \in \{0; 1\}, \quad i \in I^N, \quad k = \overline{1, n_i}. \quad (3)$$

Условие, которое обеспечивает принятие по каждому газопроводному участку только одного варианта развития из возможных, следующее:

$$\sum_{k=1}^{n_i} x_{ik} = 1, \quad i \in I^N. \quad (4)$$

Обозначим допустимое давление газа у потребителя, расположенного в конце пути S_m^t на t -ом временном уровне через $P_{\text{п}}^{t2}$. Тогда путем последовательных подстановок с использованием (2)

выводятся следующие соотношения между давлениями газа у источника и потребителя пути:

$$P_k^n - \sum_{i \in S_m^i} \Delta P_{ik}^i X_{ik} > P_{Sm}^n \quad (5)$$

или же

$$\sum_{i \in S_m^i} \Delta P_{ik}^i X_{ik} < P_k^n - P_{Sm}^n = \Delta P_{uSm}^i, \quad m = \overline{1, M'} \quad (6)$$

С учетом принятых обозначений и пояснений задача выбора оптимальной с точки зрения суммарных приведенных затрат системы распределения газа сводится к следующей функции цели:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k=1}^{K_i} C_{ik} X_{ik} \rightarrow \min \quad (7)$$

при условиях (3), (4) и (6).

Алгоритм решения сформулированного класса задач по методу «ветвей и границ» подробно описан в [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. — М.: Высш. школа, 1976. — 336 с.
2. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы. ОНТП 51—1—85. — М.: Мингазпром, 1986. — 220 с.
3. Вольский З. Л., Константинова И. И. Режим работы магистрального газопровода. — Л.: Недра, 1970. — 168 с.
4. Унанян Л. А. Вариационная задача оптимизации распределительных газотранспортных систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1990. — Вып. 4. — С. 152—157.

ПРИЛ

3. IV, 1992

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVII, № 1—2, 1994, с. 43—45

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.314.24:621.337.1

А. К. КАРАПЕГЯН

КАНАЛ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА ДЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Приведен способ построения обратной связи по току нагрузки для замкнутой системы с тиристорным преобразователем малой и средней мощности, позволяющий получить улучшенные динамические показатели регулирования и высокую надежность работы в сочетании с простым схемотехническим решением.

Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

Բերված է փոքր և միջին կարգության թրիստորային էլեկտրաֆորմիչներով փակ համակարգի համար բառ րեզոնանսի հոսանքի հետադարձ կապի կառուցման մեկ ձևը և տալիս ասանալ զեկավորման քարելավման գինտիկ ցուցանիշն և աշխատանքի բարձր ապահովելու, որը գույանցվում է սխեմատիկական լուծման պարզությամբ:

Предлагаемый способ построения обратной связи может быть рекомендован к использованию в замкнутых по току тиристорных приборах, а также в системах с емкостным видом нагрузки, используемых в электрохимической промышленности. Зависимость тока в этих системах необходимого для процесса электролиза, от питающего напряжения носит нелинейный характер и выражается в изменении его в пределах 100% при колебаниях напряжения в допустимых пределах ($\sim 20\%$), что накладывает дополнительные требования по быстротедействию и точности регулирования.

Используемые системы управления одно- и многофазными выпрямителями, выполненными по несимметричной остонной схеме и нашел шимии применение в отмеченных системах, как правило, построены по следующему принципу, обеспечивающему надежность работы.

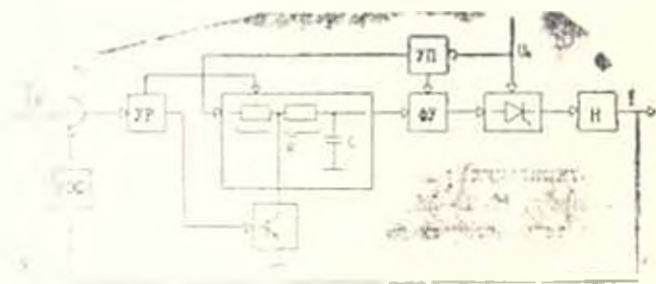


Рис.

Напряжение питания U_0 (рис.) выпрямляется, ограничивается по уровню, стабилизируется с помощью узла преобразования (УП) и подается на вход узлов, формирующих сигнал управления тиристорным преобразователем. Регулирование угла управления происходит по принципу изменения постоянной времени интегрирования интегратора (И), условно представленного $R-C$ цепью. Эта цепь интегрирует напряжение УП в каждый полупериод выпрямления, и, следовательно, изменения времени достижения его выходного напряжения уровня, необходимого для срабатывания формирующего узла (ФУ). Система регулирования замкнута по току нагрузки (Н) через узлы обратной связи (УОС) и регулятора (УР).

Анализ работы и устойчивости [1] показал, что описанные системы склонны к автоколебаниям при повышении коэффициента усиления замкнутой системы. Улучшить показатели системы можно, не пользуясь принципом изменения времени интегрирования И путем регулирования напряжения интегрирования в функции тока нагрузки I . При этом изменение постоянной времени И определяет предельно до-

пустимое значение тока нагрузки и действует в зоне понижения I относительно заданного значения $I_н$. Напряжение на выходе интегратора определяется [2] выражением

$$U_{вых}(t) = 1/T \int_0^t U_{вх}(t) dt,$$

где $T=RC$ — постоянная времени интегрирования. Из выражения видно, что напряжение на выходе И, необходимое для срабатывания ФУ, определяется как временем интегрирования t , значением T , так и величиной входного напряжения $U_{вх}$. Для реализации двухзонного регулирования относительно $U_{н}$ система настраивается на максимальную величину заданного значения $I_н$ при пониженном значении напряжения питания преобразователя. При номинальном значении $U_{н}$ система принудительно находится в режиме стабилизации по описанному методу, что позволяет осуществить простую схемотехническую реализацию.

Анализ реализованной системы мощностью 2 кВт с пропорциональным регулятором показал, что она обладает большим запасом устойчивости, что позволяет получить большее значение контурного коэффициента усиления и величину статизма, менее 5%. Система также обладает улучшенными показателями регулирования и высокой надежностью работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шипило В. П. Автоматизированный вентиляный электропривод. — М.: Энергия, 1969 — 400 с.
2. Фрер Ф., Ортенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. — М.: Энергия, 1974. — 190 с.

АРМНИЗМАШ

10. XI. 1992

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVII, № 1—2, 1994, с. 45—48.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 677.052.932:534.1

С. Р. МИНАСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДНОГО РЕМНЯ ГРУППОВОГО РЕМЕННОГО ПРИВОДА ВЕРЕТЕН КРУТИЛЬНЫХ И ТРОСТИЛЬНО-КРУТИЛЬНЫХ МАШИН

Показано, что при расчетах собственных частот основных колебаний приводного ремня группового ременного привода веретен крутильных и тростильно-крутильных машин следует моделировать его в виде балки с двумя заделанными концами.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

Ցույց է տրված, որ ուլտրա և ինֆրա-հնչյունային աֆեկների իշխելների խմբավորված փոփոխությունների փոխի հիմնական տատանումների սեփական հաճախականությունների հաշվարկի ժամանակ հարկավոր է երան մոդելավորել նրկու ծուլրերը անշարժ ամրացված հիմանի տևրափ:

Приводной ремень можно рассматривать как простейшую систему с распределенными параметрами-струну, колеблющуюся в поперечном направлении. Параметрами такой системы служат ее длина l , масса m , приходящаяся на единицу длины, и натяжение s [1].

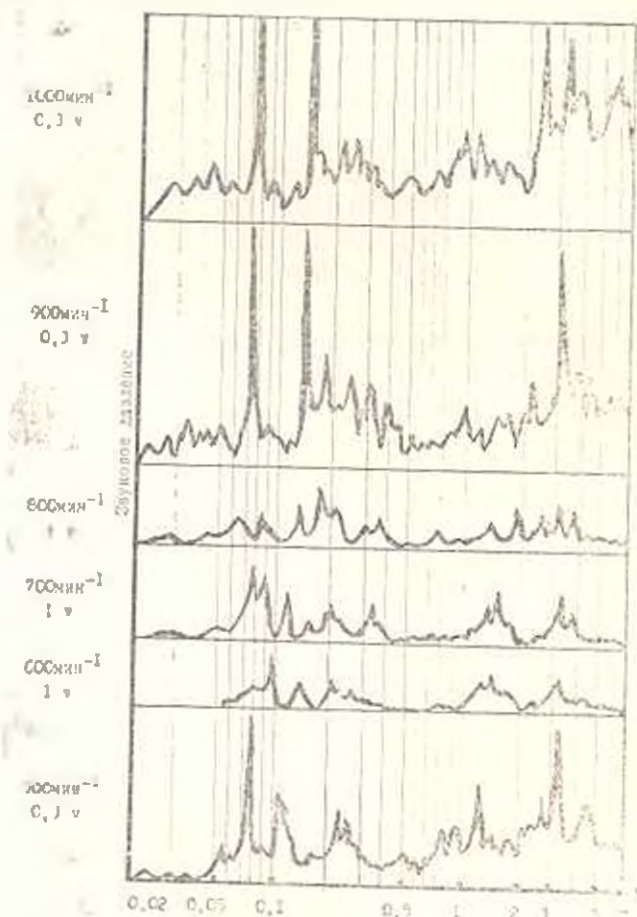


Рис. Узкополосные спектры звуков о давлении ремня

Следовательно, частота колебания ремня равна

$$f = 12\pi a / V s m, \quad (1)$$

где

$$a = \pi, 2\pi, 3\pi.$$

Собственные частоты основных колебаний приводного ремня между веретенами, между веретеном и роликом, между крайними роликами тростильно-крутильного стелда, рассчитанные по формуле (1), соответственно равны 2343, 4686 и 390 Гц. Стелд представляет собой од-

ну секцию тростильно-крутильной машины ТК2—160М и предназначен для исследования виброакустических характеристик тангенциального привода веретен крутильных и тростильно-крутильных машин [2]. Параметры стэнда: $l_1 = 0,160$ м, $l_2 = 0,080$ м, $l_3 = 0,960$ м — расстояния между веретенами, веретеном и роликом, крайними роликами.

В приводе веретен был использован эластичный прорезиненный ремень. Параметры ремня: $b = 55$ мм — ширина, $\delta = 5$ мм — толщина, $\lambda = 174,7$ Н — натяжение, $m = \rho s b = 0,32 \cdot 10^{-3}$ кг/м — масса [2].

Жесткость ремня при изгибе можно определить, используя зависимости собственных частот основных колебаний и замеренных частот [3]:

$$EI = [2f_0/\pi]^2 [l \pi]^4 m,$$

где f_0 — замеряемая частота колебаний, π — численный множитель, зависящий от условий закрепления концов испытываемого образца ремня.

Зная момент инерции сечения ремня $I_s = 5,73 \cdot 10^{-4}$ м⁴, можно определить модуль упругости при изгибе $E = 314$ МПа.

Приводной ремень можно также рассматривать как простейшую систему с распределенными параметрами, представляющую собой балку с двумя заделанными концами, или с одним заделанным концом и вторым — шарнирно опертым [3, 4]. Собственные частоты основных колебаний приводного ремня определяем из выражения

$$f = 1/2\pi \sqrt{\alpha^2/l^2 + EI/m}, \quad (2)$$

где α — коэффициент, определяемый для условий жесткости заделки по формуле $\alpha = \pi/2 (2k + 1)$, когда балка заделана двумя концами, $\alpha = \pi/4 (4k + 1)$, когда балка заделана одним концом, а второй концу — шарнирно опертым, и $\alpha = 2\pi$ — с опертыми концами.

Результаты расчета собственных частот основных колебаний приводного ремня, рассчитанные согласно (2), приведены в таблице.

Для определения экспериментальных собственных частот основных колебаний приводного ремня был использован метод спектрального анализа. По методике [2] при плавном изменении частоты вращения электродвигателя стэнда от 0 до 1000 мин⁻¹ с помощью анализатора типа 01012 в реальном масштабе времени записывались так называемые «суммарные спектры» звукового давления приводного ремня в ближнем поле. Микрофон типа МК—102 устанавливался между веретенами на расстоянии 20 мм от поверхности ремня.

Анализ этих спектров позволил установить собственные частоты с точностью в пределах треть октавы: 160, 315, 500, 2000, 3150, 6300, 16000 Гц. Частота 3150 Гц близко совпадает с расчетной частотой, когда балка заделана двумя концами.

Для точного определения собственных частот применялся также узкополосный спектральный анализ. Записывались спектры звукового

давления ремня в диапазоне от 10 Гц до 10 кГц при том же расположении микрофона. Измерения проводились через 1000 мин⁻¹ при изменении частоты вращения шкива от 400 мин⁻¹ до 1000 мин⁻¹ (рис.). Как видно, пик на частоте 3100 Гц повторяется на спектрах, записанных при различных частотах вращения веретен. Следовательно, она является собственной частотой колебаний приводного ремня.

Таблица

Уравнения: частот	Количество уравнений частот		Собственные частоты Гц		
			f_1	f_2	f_3
$\cos \alpha / \sin \alpha = 1$	1	4,730	3348	13393	93
	2	7,859	9243		237
	3	10,996			453
	4	14,137			706
	5	17,27			1051
	6	20,410			1732
	7	23,550			2316
	K	$= 2(2k + 1)$			
$\cos f = \sin \alpha$	1	3,927	2308	9231	64
	2	7,06	9243		208
	3	10,210			431
	4	13,352			631
	5	16,495			1130
	6	19,620			1359
	7	22,76			2154
	K	$= 4(4k + 1)$			

Проведенное исследование показывает, что при расчетах собственных частот основных колебаний приводного ремня групповых ремённых приводов веретен крутильных и тростильно-крутильных машин следует моделировать его в виде балки с заделанными концами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы. — М.: Мир, 1971. — 557 с.
2. Поджаров Е. Н., Миная С. Р. Исследование основных источников и генераторов шума и вибрации тангенциального привода веретен. МТИ — М., 1989. — 36 с. Деп. в ЦНИИТЭИлегпром 13.06.89. № 2647-2117.
3. Гребенкин В. З. Основы теории и расчета приводов веретен крутильно-этажных и тростильно-крутильных машин. Автореф. дисс. докт. техн. наук. — М., 1975. — 39 с.
4. Горюховский Н. А. Расчет прогиба ремня в тангенциальном приводе веретен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1975. — № 2. — С. 134—136.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ СОСТАВНОГО ТРАНЗИСТОРА В РЕЖИМЕ НАСЫЩЕНИЯ

При разработке монолитных составных транзисторов возникают проблемы, связанные с неравномерным распределением тока по площадям эмиттеров составляющих транзисторов. Поэтому в режиме переключения обычно один из транзисторов выходит из строя. Показано, что можно выбрать оптимальные значения для площадей эмиттеров, при которых обеспечивается надежная работа монолитного составного транзистора.

Երբ մոնոլիտային տրանզիստորային կառուցվածքների նախագծան ժամանակ բարդություններ են առաջանում կապիտալ տրանզիստորային կառուցվածքի բաղադրիչների էմիտերային ճախերի տեղերով հոսանքի անհավասարաչափ բաշխման հետ: Այդ պատճառով փոխանցական սխեման ստորաբար բաղկացուցիչ տրանզիստորներից մեկը շարքից դուրս է գալիս: Ենթադրելով, որ կապիտալ էլեկտրոնի էմիտերային ճախերի տեղերի օպտիմալ արժեքները, որոնց շնորհիվ ապահովվում է միաժամկետային բաղադրիչ տրանզիստորի հստակ աշխատանքը:

Проблема равномерного распределения тока по площади эмиттера как в статическом, так и в динамическом режимах работы имеет перво-степенное значение для надежной работы составных силовых транзисторов (рис. 1). Одним из основных недостатков составных транзисторов является то, что во время переключения обычно один из транзисторов выходит из строя. Целью настоящей работы является определение условий для надежной работы всех составляющих транзисторов.

1. Расчет коэффициента усиления по току в случае $W_{\text{бб}}/L_{\text{обб}} \ll 1$. В работе [1] был проведен расчет коэффициента усиления по току в случае, когда коэффициент переноса имеет следующую форму

$$\beta = [\text{ch}(W_{\text{бб}}/L_{\text{обб}})]^{-1}, \quad (1)$$

где $W_{\text{бб}}$ — толщина активной базы, а $L_{\text{обб}} = (D_{\text{обб}})^{1/2}$ — диффузионная длина неосновных носителей заряда в базе. В этом случае задача нахождения коллекторных токов I_k составного транзистора обладает высокой точностью, но аналитически не решается. В этом параграфе в приближении $W_{\text{бб}}/L_{\text{обб}} \ll 1$ вычисляются коллекторные токи I_k (i — номер каскада) для составляющих транзисторов.

Разложив (1) по малому параметру $W_{\text{бб}}/L_{\text{обб}}$ и учитывая эффект модуляции коллекторной области, получим [2]

$$\beta^{-1} \approx 1 + \frac{W_{\text{бб}}^2}{nL_{\text{обб}}^2} + \frac{W_{\text{к/б}}^2}{4L_{\text{ПК}}^2}, \quad (2)$$

где $L_{\text{обб}}$, $L_{\text{ПК}}$ — диффузионные длины для электрона в базовой и коллекторной области соответственно, n — целое число, зависящее от

уровня инжекции эмиттера, $W_{к0}$ — модулированная часть коллектора, определяется формулой

$$W_{к0} = W_{к0} (1 - I_{к0}/I_k) |U_{к0}| \text{const},$$

$$I_{к0} = (U_{к0} S_2) (\rho_k W_{к0}) \approx (U_{к0} S_2) / (\rho_k W_{к0}). \quad (3)$$

здесь $W_{к0}$ и ρ_k — толщина и удельное сопротивление коллекторного слоя.

Для объяснения уменьшения коэффициента усиления h_{21} с ростом коллекторного тока используется модель контролируемого заряда [3]. Согласно определению, коэффициент усиления по току h_{21} в схеме с общим эмиттером.

$$h_{21} = (\beta_1) / (1 - \beta_1),$$

$$\gamma = \gamma_1 / (1 + \gamma_1), \quad (4)$$

где γ — эффективность эмиттера в схеме с заземленной базой, а величина $\gamma_1 = (Q_{e0}/\bar{D}_{e0}) / (Q_{c0}/\bar{D}_{c0})$ известна как показатель эффективности инжекции эмиттера.

В результате инжекции эмиттером неосновных носителей, заряд основных носителей в базе увеличивается из-за сохранения нейтральности базы. Если дополнительный заряд в базе обозначить ΔQ_0 , то при высоком уровне инжекции эффективность эмиттера

$$\gamma_1 = [Q_{e0}/\bar{D}_{e0}] / [(Q_{c0} + \Delta Q_0)/\bar{D}_{c0}]. \quad (5)$$

Приращение базового заряда связано с коллекторным током соотношением

$$\Delta Q_0 = \tau_{пр} J_k, \quad (6)$$

где $\tau_{пр}$ является временем пролета носителя через базовый и модулированный коллекторные слои.

Как показано в работе [2], $\tau_{пр}$ имеет вид

$$\tau_{пр} = \frac{W_{c0}^2}{n \bar{D}_{c0}} + \frac{W_{к0}^2}{4 \bar{D}_{к0}}. \quad (7)$$

Подставив формулу (2) в выражение (4) с учетом (5), (6), (7), получим

$$h_{21}^{-1} = h_{210}^{-1} + \frac{1}{(Q_{e0}/\bar{D}_{e0})} \frac{J_k}{S_1} \left(\frac{W_{c0}^2}{n \bar{D}_{c0}^2} + \frac{W_{к0}^2}{4 \bar{D}_{к0} \bar{D}_{c0}} \right) +$$

$$+ (W_{c0}^2 / n L_{c0}^2) + (W_{к0}^2 / 4 L_{к0}^2). \quad (8)$$

Согласно работе [4], отношение числа Гуммеля эмиттера и базы $(Q_{e0}/\bar{D}_{e0}) / (Q_{c0}/\bar{D}_{c0})$ не что иное, как максимальный коэффициент усиления транзистора h_{210} .

Используя определение коэффициента усиления $k_{212} = I_{x2}/I_0$ и формулу (8), для I_{k1} , I_{k2} , I_{k3} коллекторных токов первого, второго и третьего каскадов соответственно составного транзистора, получим кубические уравнения. Для нахождения корней I_{k1} , I_{k2} , I_{k3} воспользуемся тригонометрическим решением кубического уравнения. Из трех корней кубического уравнения третий всегда получается отрицательным, а из остальных двух корней берется наименьшее значение, так как для него выполняется приближение $W_{k20}/L_{k2} \ll 1$. Нахождение аналитической зависимости коллекторного тока I_{k2} от внутренних (W_{k0} , W_{k1} , D_{n0} , D_{n1} , ...) и внешних (S_1 , U_{k3} , ...) параметров транзисторов является одной из важных задач разработчиков мощных транзисторов.

2. *Нахождение оптимального соотношения площадей эмиттеров транзистора Дарлингтона.* Для составного транзистора с многокаскадным усилением, работающего в режиме насыщения, отдельные каскады по-разному нагружены. Иными словами, распределение плотности тока по каскадам неравномерно. Последнее может привести во время работы составного транзистора в режиме переключения к выходу из строя перегруженного транзистора. Для повышения надежности составного транзистора в режиме переключения необходимо найти такое оптимальное соотношение площадей эмиттеров $S_{e1}, S_{e2} = n_0$, $S_{e1}/S_{e2} = m_0$, при котором все каскады будут равномерно нагружены. Это означает, что плотности эмиттерных токов разных каскадов приблизительно равны

$$\frac{I_{e1}}{S_{e1}} \approx \frac{I_{e2}}{S_{e2}} \approx \frac{I_{e3}}{S_{e3}}. \quad (9)$$

Так как площадь транзисторной структуры ограничена, то задачу оптимизации необходимо решить при дополнительном условии

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} = \text{const}, \quad (10)$$

где S_e составляет некоторую часть общей геометрической площади составного транзистора.

На основе вышеприведенной теории составлена программа расчета оптимального соотношения площадей эмиттеров при условиях (9) и (10).

Алгоритм расчета заключается в том, что при фиксированных значениях чисел n_{max} и m_{max} , когда $1 < n < n_{\text{max}}$ и $n_{\text{max}} \leq m < m_{\text{max}}$ находим все возможные распределения плотностей токов $J_{e1}(n, m)$ ($i = 1, 2, 3$). Затем из этих значений выбираются те значения ($J_{e1}(n_0, m_0)$), которые обеспечивают максимальную точность уравнения (9).

Для случая, когда $n_{\text{max}} = 20$, $m_{\text{max}} = 25$, $S_e = 3 \text{ см}^2$, было получено оптимальное значение $n_0 = 4$, $m_0 = 19$. Можно убедиться, что с ростом значений n_{max} и m_{max} оптимальные значения n_0 , m_0 не изменяются.

Результаты работы находят непосредственное применение для транзисторных структур с остроугольной топологией, у которых отсутствует вредное воздействие эффекта оттеснения эмиттерного тока (ЭОЭТ).

НПО «Транзистор»

20. 1. 1993.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Р. В. Авагян и др. Изв. АН АрмССР. Технические науки, 43, 220 (1990).
2. R. J. Whittier, D. A. Tremore. IEEE Trans. on Electr. Dev., ED-16, 39 (1969).
3. А. Бликер, Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. Энергоатомиздат, Л., 1986.
4. А. А. Варданян и др. В сб. Технология быстродействующих силовых полупроводниковых приборов, с. 112, Таллин, 1987.

Ք Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Պ. Ջավախյան, Ջ. Ա. Հանգրջանյան, Կ. Վ. Կասպարյան. Համակողմանի մոտեցում ԳՈԳԳ կինեմատիկ շղթայից մոգեչափորփող միաշարժուն տարածական քառադաս- կերի ուժային հաշվարկին	3
Օ. Ե. Ավագյան, Հ. Ո. Մաղդաստրյան. Քսուկաճավացիների հնդկական ազգային ֆրեզկաների զոտերը և նրանցից առաջին պատմական դարի վրա	7
Ս. Դ. Գեմիլյան, Լ. Մ. Բաթիկյան. Ազգային շինարարության ժամանակաշրջանի ազգայնականության դերը հայաստանում նմանակալի լեռնային ֆիլիսոփայության և Կ. Նիկիյան. Առաջին համաշխարհային պատերազմի ժամանակահատվածում հայաստանի հայաբնակչության վիճակը	11
Ա. Պ. Գապարյան, Ս. Մ. Ստեփանյան, Խ. Ա. Բազադյան, Ս. Ս. Հովհաննիսյան. Ֆրեզկայի միջոցով շինարարության մեջ առաջին անգամ հայտնաբերված հայկական շինարարության հատկանիշները	15
Ա. Պ. Գապարյան, Ս. Մ. Ստեփանյան, Խ. Ա. Բազադյան, Ս. Ս. Հովհաննիսյան. Ֆրեզկայի միջոցով շինարարության մեջ առաջին անգամ հայտնաբերված հայկական շինարարության հատկանիշները	18
Ս. Ն. Մանուկյան, Ռ. Ս. Մարտիրոսյան, Ս. Մ. Մալոյան. Կենտրոնական գոգեքանդակի արվեստի զարգացումը հայաստանում	21
Ս. Ե. Զեմելյան. Ներսիս Պեթրոսյանի և Պեթրոսյանի արվեստի մասին հայկական ազգային շինարարության հատկանիշները	25
Ն. Ա. Բաբայան. Հայկական շինարարության մեջ առաջին անգամ հայտնաբերված հայկական շինարարության հատկանիշները	29
Ս. Գ. Կյուրեղյան, Ն. Ս. Կյուրեղյան. Պատմական հայկական շինարարության հատկանիշները	33
Ի. Ա. Փոփոկյան, Լ. Հ. Համբարյան. Մայրուղիների զարգացումը և նրանցից առաջին համաշխարհային պատերազմի ժամանակահատվածում	40
Ա. Կ. Կարապետյան. Հայաստանի կառավարության և կառավարության հատկանիշները	
Ա. Ռ. Միսակյան. Ուղիղ և ուղիղ-հարթ մեծահասակների խմբերի խմբավորման և շարժումների միջին հաստատուն ընթացքների հետազոտում	45
Գ. Պ. Կիրակոսյան, Դ. Ա. Մակարյան, Ա. Ս. Շուրջյան. Բազմազան տարածական առաջին համաշխարհային պատերազմի ժամանակահատվածում	49

СОДЕРЖАНИЕ

Р. П. Джавахян, Э. А. Акопджанян, К. В. Гаспарян: Унифицированный подход к силовому анализу одноподвижных пространственных четырехзвенников моделируемых кинематической цепью ЦСЦЦ	3
Р. Е. Аюкян, Г. Б. Багдасарян: Влияние СОЖ на силовые параметры процесса фрезерования	7
Б. Г. Гемцян, Л. М. Татикян: Оценка нелинейных искажений цифровой обработки сигналов с использованием аналоговых эллиптических фильтров	11
Н. Г. Никитин: О точности определения магнитных свойств зубчатых кольцевых сердечников при намагничивании осевым тоководом	15
А. Г. Гаспарян, С. М. Степанян, Х. С. Багдасаров, С. О. Оганесян: К вопросу о реальной структуре монокристаллов иттрий-алюминиевых гранатов, легированных ионами циркония	
С. Н. Манукян, Р. С. Миртиросян, С. М. Силум: Снижение размерности многомерного пространства признаков САПР процессов обезвреживания сточных вод	21
С. Е. Чимшикян: Исследование одночастотных автоколебаний в многозвлинных САР с двумя блоками нелинейностей	25
Н. А. Барсегян: Автоматизация метода одновременного определения координат гипоцентров близких землетрясений и эффективных скоростей сейсмических волн	29
С. Г. Кюрегян, Н. С. Кюрегян: Алгоритмы оптимального измерения массы жидких продуктов в резервуарах	33
И. А. Жученко, Л. А. Уналян: Динамическая вариантная задача оптимизации магистральных газораспределительных сетей	40
А. К. Каранетян: Канал регулирования тока для быстродействующей системы с тиристорным преобразователем	43
С. Р. Минасян: Исследование частотных характеристик приводного ремня группового ременного привода веретен кругильных и тростильно-крутильных машин	45
Г. Г. Киракосян, Г. А. Михарян, А. С. Шаболян: Определение условий надежной работы составного транзистора в режиме насыщения	49