

ISSN 0002-306X

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՄԱՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

12

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 1. 1948 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Կ Լ Ի Դ Ի Մ Ե Լ Ե Կ Ա Ն Ե Կ Ե Լ Ե Կ

Ռ. Մ. Մարտիրոսյան (պատասխանատու խմբագիր), Վ. Վ. Ալեքսեևալի.
Ռ. Վ. Արսյան, Ռ. Ա. Ղազարյան, Ո. Մ. Ղազարյան, Մ. Վ. Կասյան,
Ա. Չ. Սանահյան, Յու. Լ. Սարգսյան, Մ. Դ. Ստեփանյան (պատասխանատու խմբագիր),
Զ. Կ. Ստեփանյան (պատասխանատու խմբագիր), Վ. Ս. Խաչատրյան

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. М. Мартиросян (ответственный редактор), В. В. Алексеева,
Р. В. Атоян, Р. А. Каларян, С. М. Каларян, М. В. Касьян,
А. О. Саакян, Ю. Л. Саркисян, М. Г. Стакян (зам. ответ. редактора),
А. К. Степанян (ответственный секретарь), В. С. Хачатурян

УДК 621.9.013

Г. Б. БАГДАСАРЯН, А. В. ГИНОСЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматривается зона деформации металла при растяжении и сравнивается с иной деформацией при резании. Установлено, что области течения пластически деформированной зоны при растяжении и резании идентичны, т. е. эти области представляют собой жесткое перемещение среды, где компоненты скорости деформации равны нулю. Работа производится лишь на линии внутренней границы, которая имеет вид эллипса, наклоненного под углом γ . Для длинного металла угол направления скольжения и степень упрочнения при разрыве постоянны и зависят только от физико-механических свойств испытуемого металла. Аналогичным образом установлено, что максимальные деформации металла при резании происходят в объеме металла, который прилегает к передней поверхности лезвия режущего инструмента. Следовательно, угол γ можно принять равным переднему углу реза.

Ил. 4. Библиогр. 2 назв.

Գրառիկում 1 մետաղի ձգման զեպում ղեֆորմացիայի գոտին և այն համեմատվում կտրման ժամանակ ղեֆորմացիայի գոտու հետ: Հաստատվում է, որ ձգման և կտրման ժամանակ ղեֆորմացիան ույգ գոտիների հաստեությունը միանման է, քանի որ երկու զեպում էլ հաստեությունը զիւմում է որպես միջավայրի կոչա տեղաշարժ, ուր ղեֆորմացիայի արագությունը նվազանքում է զարգի: Աշխատանքը կատարվում է միայն ներքին առամանագծի վրա, որն անի անկյան առջին կետի տեսք: Տվյալ մետաղի համար առաջի ուղղությունը և անկյունը մետաղի առաջման ուղղության հաստատուն է և կախված են միայն մետաղի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններից: Նմանապես հաստատվել է, որ կտրման ժամանակ առավելագույն ղեֆորմացիան կատարվում է մետաղի այն ծավալում, որը անմիջապես կից է կտրիչի առջևի երեսին: Հետևաբար γ -ն կտրիչի է ընդունել որպես կտրիչի առջևի անկյուն:

Известно, что металлы и сплавы при деформировании упрочняются путем скольжения или перемещения дислокаций и по мере увеличения деформации меняется угол плоскости скольжения γ и напряжения σ с осью образца (рис. 1). Поскольку толщина одного пакета слоев скольжения δ остается постоянной, а отрезки b_0 и b образующиеся между плоскостями скольжения, пропорциональны длине образца до и после испытания, то согласно рис. 1

$$\frac{b}{b_0} = \frac{\sin \gamma_0}{\sin \gamma} \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что по мере продвижения процесса деформации плоскость и направление скольжения стремятся стать параллельными оси образца, т. е. $\sin \gamma$ уменьшается. Однако, процесс не доходит до этого предела, т. к. дислокации тормозятся за счет силы

трения решетки, упруго взаимодействуя с другими дислокациями, вследствие чего прекращается относительный сдвиг плоскостей скольжения и в результате происходит разрыв испытуемого образца.

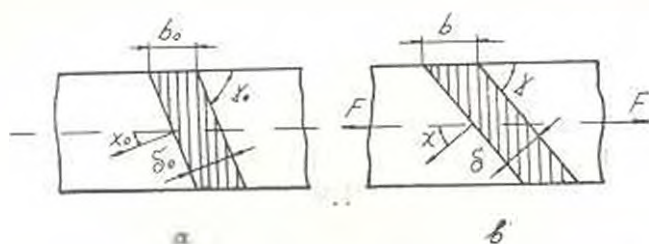


Рис. 1. Схема разреза по плоскости деформации: а — до испытания; б — после испытания.

Рассмотрим область течения пластически деформированной зоны при растяжении испытуемых образцов и резании металлов (рис. 2). Разобьем область течения на три части S_1 , S_2 , S_3 , выберем точку на линии $\Psi = \Psi_0$ и будем двигаться вдоль нее в плоскости Z . При этом материальная частица будет перемещаться по линии тока Ψ .

$$\gamma_0 = f_1 \left(1 - \frac{\Psi_0}{\Delta\Psi} \right), \quad (2)$$

где $\Delta\Psi$ — поток линии тока сплошной среды в области S .

Тогда вектор скоростей будет равен

$$\vec{V} = - \frac{\Delta\Psi}{D} = \vec{V}_1, \quad (3)$$

где D — начальный диаметр образца.

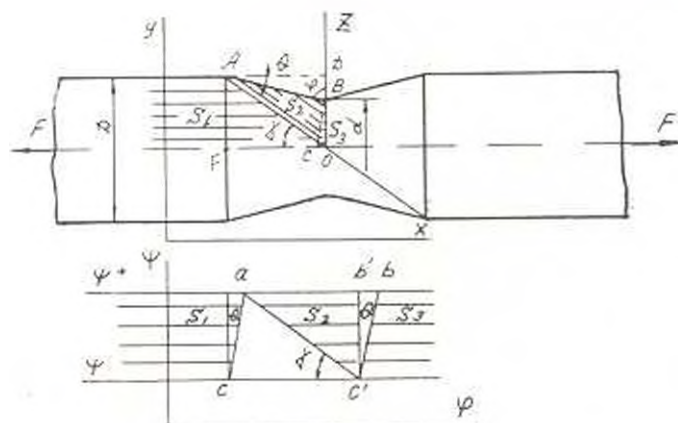


Рис. 2. Разрезное поле скоростей при растяжении.

Модуль $|V|$ и угол наклона к оси растяжения i определяется зависимостями $V = V_1$, $H = \pi$. Картина течения в области S харак-

теризуется параллельностью линий тока, а в области S_2 , наоборот, вектор скорости резко изменяется по величине и направлению. Величина $W(z)$ значительна, поэтому в S_2 рассеивается большая часть общей энергии формоизменения. В области S_3 , как и в S_1 течение, близкое к равномерному со скоростью в D/d раз больше, чем в области S_1 , а вектор скорости течения равен

$$\vec{V} = -\frac{\Delta\psi}{d} = \vec{V}_2, \quad (4)$$

где d — исходный диаметр образца.

По аналогии с принятыми в теории обработки металлов резанием понятиями область течения S_2 можно назвать очагом деформации, а области S_1 и S_3 — внешними частями материала.

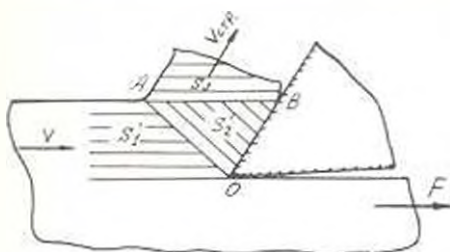


Рис. 3. Зона деформации и процесс снятия стружки.

Аналогичным образом рассмотрим зону деформации при резании металлов (рис. 3). По мере приближения к режущему инструменту напряжение в рассматриваемой точке возрастает и по достижении определенного предела точка получает пластическое смещение. Изменение величины и направления скорости V движения точки происходит за время её пребывания в некоторой переходной пластически деформируемой зоне OAB (S_2), лежащей между упруго деформированной обрабатываемой деталью и снимаемым слоем. В результате происходит отделение поверхностного слоя и превращение части его в области S_3 в стружку, которая движется параллельно передней поверхности со скоростью $V_{\text{ср.}}$. Другая часть будет продолжать движение по оси x со скоростью V и в точке, соответствующей сопряжению передней и задней поверхностей инструмента, произойдет разрушение обрабатываемого металла. Области течения пластически деформированной зоны ($S_{1,1,2}$ и $S'_{1,2,3}$) при растяжении неплотных образцов и резании металлов идентичны, т. к. S_1 , S_2 и S_3 , S'_1 в обоих случаях представляют собой жесткое перемещение среды, где компоненты скорости деформации равны нулю. Работа здесь производится лишь на линиях внутренней границы, которая разделяет очаг пластической деформации от части тела, остающейся жесткой. Эта граница имеет вид эллипса, который наклонен под углом плоскости скольжения γ , а в области S_2 этот угол принимает значение $\gamma = \alpha$.

Таким образом, для данного металла угол направления скольжения и степень упрочнения при разрыве постоянны и зависят только от физико-механических свойств испытуемого металла.

Аналогичным образом установлено, что максимальные деформации металла при резании происходят в объеме, который прилегает к передней поверхности лезвия режущего инструмента. Следовательно, угол γ можно принять равным переднему углу резца. Отметим, что при этом процессе резания происходит по кристаллографическому направлению деформированных слоев обрабатываемого металла, что приводит к минимальным затратам удельной работы и максимальной эффективности разрушения металлической решетки. Угол направления скольжения ψ , следовательно, передний угол режущего инструмента γ можно определить из схемы разрывного поля скоростей при растяжении испытуемых образцов (рис. 2):

$$\gamma = \arctg \frac{D \operatorname{tg} \Theta}{D - d}, \quad (5)$$

где d , Θ — диаметр и угол шейки конуса.

Главный задний угол α геометрии режущего инструмента определяется как угол перелома оси образца на границе упругой и пластической зон, возникший в результате деформации при растяжении испытуемого образца. Если примем, что сдвиг в испытуемом образце происходит только в одном направлении, то образец, частично продеформированный растяжением на площадке текучести, перетерпел бы излом оси на границе упругой и пластической зон. На рис. 4 приведена также геометрическая схема удлинения образца под действием максимальных касательных напряжений, где относительное удлинение равно

$$\epsilon_1 = \frac{\cos 45^\circ - \cos (45^\circ - \alpha)}{\cos (45^\circ - \alpha)} \cdot \frac{l_2 - l_1}{l_1}, \quad (6)$$

здесь l_1 и l_2 — соответствующие длины образца до и после испытания.

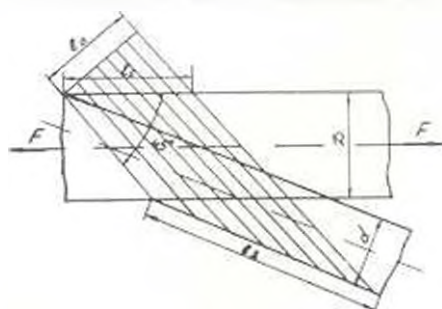


Рис. 4. Геометрическая схема удлинения образца под действием касательных напряжений.

Аналогичная зависимость в случае сдвигообразования в одном направлении справедлива и для относительного сужения образца в направлении скольжения

$$\alpha_2 = \frac{d_1 - d_2}{d_1} = \frac{\cos 45^\circ - \cos (45^\circ - \alpha)}{\cos (45^\circ + \alpha)} \quad (7)$$

После преобразований получим формулу определения угла α в зависимости от сужения испытуемого образца

$$\alpha = \arccos \frac{d_1}{1 + 2(d_1 - d_2)} - 45^\circ \quad (8)$$

Главный угол в плане резца ϕ определяется из условия образования конуса при разрыве образца на растяжение следующим уравнением (рис. 2): $\phi = 90^\circ - \alpha$.

Таким образом, на основании физико-механических свойств обрабатываемых материалов в каждом конкретном случае можно определить инструмент для данного материала с оптимальными геометрическими параметрами γ , ϕ и α .

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов С. С. Сопротивление хрупких материалов резанию. — М.: Машиностроение, 1971. — 186 с.
2. Давиденко Н. Н. Механические свойства материалов и методы измерения деформаций: Избр. тр. в 2-х т. Т. 2. — Киев: Наукова думка, 1981. — 372 с.

ВНПНРИ

20. XII. 1985

Изв. АН АрмССР. (сер. ТНП, т. XLII, № 4, 1989, с. 161—165)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 539.376.624

Э. К. БЕЗЯНЦ, И. А. БЕЛЗБЕКЯН

РАЗРЕШАЮЩАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ НЕОДНОРОДНЫХ ТОНКИХ ПОЛОГНЫХ ГИБКИХ ВЯЗКОУПРУГИХ ОБОЛОЧЕК

На основе линейной теории вязкоупругости неоднородной среды получена система интегро-дифференциальных уравнений для пологих тонких гибких неоднородных оболочек в перемещениях и усилиях.

Библиогр.: 5 назв.

Անհամասեռ նյութերի առաձգամածությունների հետազոտության հիման վրա ստացվում է երկու ինտեգրո-դիֆերենցիալ նախադրամենտների բացակայում լուծող նախադրող ներքին ուժային զործոնների և ձկվածքների միջև երկակի կորուսված զոծրանխատ. բարակ, ձկուն անհամասեռ թաղանթների նամար. թաղանթում լուծող նամակարգի միջոցով կործնի է որոշել երկաթթրեուսնյա մեծածախի բաղանթների և սուլերի կրկուրտտե աղղղ բեռնվածքներից առաջացած շարժան. դեֆորմացիան զիմանկը:

Расчету неоднородных тонких оболочек и пластины посвящено много работ, среди которых особое место занимают [1—3]

В настоящей статье приводится разрешающая система интегро-дифференциальных уравнений для неоднородных гибких толстых оболочек в перемещениях и усилиях при линейной ползучести стареющего материала [4].

1. Основные соотношения и уравнения. Рассматривается тонкая неоднородная полая гибкая оболочка, характеризующаяся линейной ползучестью стареющего материала [4]. Задача решается в предположении, что оболочка толщиной h подвергнута равномерно-распределенной нагрузке интенсивностью q , нормальной к срединной поверхности; k_1, k_2 — главные кривизны оболочки вдоль осей ox_1 и ox_2 ; u, v, w — перемещения точек срединной поверхности; мгновенный модуль упругости $E(t)$ и резольвента ядра ползучести материала $R(t; \tau)$ являются функциями пространственных координат x_s ($s = 1, 2, 3$), причем, последние не зависят от напряженно-деформированного состояния оболочки и не изменяются во времени. Характеристика Пуассона ν не меняется во времени и зависит от пространственных координат, т. е. $\nu(x_s, t) = \nu(x_s)$. Следуя [4], связь между напряжениями и деформациями в случае малых деформаций представляется в виде

$$\sigma_{ij} = \frac{E(x_s, t)}{(2 - \delta_{ij})(1 - \nu(x_s))} \{ I - R(x_s) | (1 - \nu(x_s)) e_{ij} + \nu(x_s) \delta_{ij} e_{kk} \}, \quad (1.1)$$

где δ_{ij} — символ Кронекера, I — тождественный оператор, а оператор $R(x_s)$ определяется по формуле

$$R(x_s) f = \int_0^t f(\tau) R(x_s, t, \tau) d\tau, \quad (1.2)$$

где $R(x_s, t, \tau)$ — резольвента ядер ползучести материала.

Предположим, что материал оболочки обладает слабой неоднородностью и поэтому согласно [3] имеет место соотношение

$$E(x_s, t) = E_0(t)(1 + \delta_1 f_1(x_s)), \quad \nu(x_s) = \nu_0(1 + \delta_2 f_2(x_s)), \quad (1.3)$$

$$R(x_s, t, \tau) = R_0(t, \tau)(1 + \delta_3 f_3(x_s)),$$

где ν_0 — коэффициент Пуассона однородной среды, δ_i — малые физические параметры, $f_i(x_s)$ — известные функции от пространственных координат x_s , удовлетворяющие условию $|\delta_i f_i| < 1$, ($i = \overline{1, 3}$).

При конечных прогибах компоненты деформаций тонкой полой гибкой оболочки, следуя гипотезе Кирхгофа-Лява [5], представляются в виде

$$e_{ij} = z_{ij} + (2 - \delta_{ij}) x_i x_j, \quad (i, j = x_1, x_2), \quad (1.4)$$

где

$$z_{111} = n_1 + k_1 w + 0,5 w_{,11}^2; \quad x_{111} = -w_{,111}; \quad (1.5)$$

В силу (1.1), (1.3) и (1.4) получим следующие выражения для усилий и моментов:

$$\begin{aligned} N_{x_1 x_1} &= A_{00} z_{x_1 x_1} + A_{10} z_{x_1 x_2} + A_{01} z_{x_2 x_1} + A_{11} z_{x_2 x_2}; \\ N_{x_2 x_2} &= A_{10} z_{x_1 x_1} + A_{01} z_{x_2 x_2} + A_{11} z_{x_1 x_2} + A_{01} z_{x_2 x_1}; \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} N_{x_1 x_2} &= 0,5 (A_{10} - A_{01}) z_{x_1 x_1} + (A_{01} - A_{11}) z_{x_1 x_2}; \\ M_{x_1 x_1} &= A_{01} z_{x_1 x_1} + A_{11} z_{x_2 x_2} + A_{02} z_{x_1 x_2} + A_{12} z_{x_2 x_1}; \\ M_{x_2 x_2} &= A_{11} z_{x_1 x_1} + A_{01} z_{x_2 x_2} + A_{12} z_{x_1 x_2} + A_{02} z_{x_2 x_1}; \\ M_{x_1 x_2} &= 0,5 (A_{01} - A_{11}) z_{x_1 x_1} + (A_{02} - A_{12}) z_{x_1 x_2}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Здесь $A_{kl}(f) = \alpha_{kl} + \bar{\alpha}_{kl} R(f)$ — интегральный оператор, где

$$\alpha_{kl}(x_1, x_2, t) = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{E(x_3, t) \varphi^k(x_3) x_3^l}{1 - \varphi^2(x_3)} dx_3,$$

$$\bar{\alpha}_{kl}(x_1, x_2, t) = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{E(x_3, t) \varphi^k(x_3) x_3^l}{(1 - \varphi^2(x_3))(1 - \bar{\varphi}_2 f_1(x_3))} dx_3,$$

$$(k = 0, 1, \quad l = 0, 1, 2),$$

а $R(f) = \int_{\Gamma_0} \bar{f}(\tau) R_n(t, \tau) d\tau$ — интегральный оператор линейной плотности [4].

2. Разрешающая система уравнений неоднородной оболочки. В смешанной форме относительно функций усилий и перемещений $\Phi(x_1, x_2, t)$, $W(x_1, x_2, t)$ представляется в виде [5]

$$\begin{aligned} (F_{\varphi} + \varphi_{\varphi}^2) W + F_D \Phi + 0,5 L(W, W) &= 0, \\ (F_{\varphi} + \varphi_{\varphi}^2) \Phi + F_{\varphi} W + L(W, \Phi) + q &= 0, \end{aligned} \quad (2.1)$$

где приняты следующие операторные обозначения:

$$\begin{aligned} F_{\varphi}(W) &= (C W_{, x_1 x_1})_{, x_1 x_1} + (\bar{C} W_{, x_2 x_2})_{, x_2 x_2} + (C W_{, x_1 x_2} + \\ &+ \bar{C} W_{, x_2 x_1})_{, x_1 x_2} + 4(E_3 W_{, x_1 x_2})_{, x_1 x_2}; \\ F_D(\Phi) &= (D \Phi_{, x_1 x_1} + \bar{D} \Phi_{, x_2 x_2})_{, x_1 x_2} + (\bar{D} \Phi_{, x_1 x_2} + \\ &+ D \Phi_{, x_2 x_1})_{, x_1 x_2} + 4(B_3 \Phi_{, x_1 x_2})_{, x_1 x_2}; \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$F_{\alpha}(W) = (M W'_{,1x_1x_1} + \bar{M} W'_{,1x_1x_1})_{,x_2x_2} + (M W'_{,1x_1x_1} + \bar{M} W'_{,1x_1x_1})_{,x_3x_3} + 2((M - \bar{M}) W'_{,1x_1x_1})_{,x_2x_3};$$

$$D = B_1 + B_2; \quad \bar{D} = B_1 - B_2; \quad C = E_1 + E_2; \quad \bar{C} = E_1 - E_2;$$

$$B_1 = 0,5 [(a_{00} + a_{10}) + (\bar{a}_{00} + \bar{a}_{10}) R]^{-1};$$

$$B_2 = 0,5 [(a_{00} - a_{10}) + (\bar{a}_{00} - \bar{a}_{10}) R]^{-1};$$

(2.3)

$$E_1 = [(a_{01} + a_{11}) + (\bar{a}_{01} + \bar{a}_{11}) R] B_1;$$

$$E_2 = [(a_{01} - a_{11}) + (\bar{a}_{01} - \bar{a}_{11}) R] B_2;$$

$$M = (a_{02} + \bar{a}_{02} R) - (\Pi_1 + \Pi_2); \quad \bar{M} = (a_{12} + \bar{a}_{12} R) - (\Pi_1 + \Pi_2);$$

$$\Pi_1 = [(a_{01} - a_{11}) + (\bar{a}_{01} + \bar{a}_{11}) R] E_1;$$

$$\Pi_2 = [(a_{01} - a_{11}) + (\bar{a}_{01} - \bar{a}_{11}) R] E_2.$$

остальные обозначения общепринятые.

Зависимости (1.3) позволяют рассмотреть три типа задач, в которых среду можно считать упругой неоднородной ($\delta_1 \neq 0$) с однородной ползучестью ($\delta_2 = 0$); упругой однородной ($\delta_1 = \delta_2 = 0$) с неоднородной ползучестью ($\delta_3 \neq 0$) или, наконец, одновременно неоднородной упругой и ползучей ($\delta_1 \neq 0$, $\delta_2 \neq 0$, $\delta_3 \neq 0$). Для первого частного случая имеет место равенство

$$a_{kl}(x_1, x_2, t) = \bar{a}_{kl}(x_1, x_2, t), \quad (2.4)$$

при этом (2.1) принимает вид

$$(I + R)^{-1} F_{D_0}(\Phi) + (F_e + \nabla_k^2) W + 0,5 L(W, W) = 0; \\ -(I + R) F_{D_0}(W) + (F_e + \nabla_k^2) \Phi + L(W, \Phi) + q = 0, \quad (2.5)$$

Здесь F — дифференциальные операторы, которые имеют вид, аналогичный (2.2) с соответственно измененными коэффициентами. Эти коэффициенты определяются подстановкой (2.4) в (2.3).

Для второго частного случая в соотношениях (1.6), (1.7) и (2.3) коэффициенты $a_{kl} = 0$, при этом разрешающая система уравнений (2.1) остается неизменной. Решая систему уравнений (2.1) при заданных начальном и граничном условиях, получаем выражения для функций $\Phi(x_1, x_2, t)$ и $W(x_1, x_2, t)$, что позволяет для данного конкретного случая определить напряженно-деформированное состояние неоднородных вязкоупругих оболочек и пластин.

Система уравнений (2.1) для упруго-мгновенной задачи ($t = t_0$) совпадает с уравнениями, полученными в [2].

Полученная система интегро-дифференциальных уравнений позволяет определять напряженно-деформированное состояние большепролетных пространственных железобетонных оболочек с учетом длительного действия нагрузки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х., Дроздов А. Д., Колмаковский В. Б. Устойчивость вязкоупругих тел и элементов конструкций // Итоги науки и техники ВНИИП. Сер. Механика деформируемого твердого тела. 1987. — Т. 19. — С. 3—77.
2. Крыско В. А., Санников А. С. Расчет неоднородных гибких полых оболочек смешанными краевыми условиями // Прикладная механика. — 1987. — Т. 23. № 6. — С. 61—67.
3. Саркисян В. С. Некоторые задачи математической теории упругости анизотропного твердого тела. — Ереван: Изд-во ЕГУ. — 1976. — 336 с.
4. Арутюнян Н. Х., Колмаковский В. Б. Теория ползучести неоднородных тел. — М.: Наука. — 1983. — 336 с.
5. Волямир А. С. Устойчивость деформируемых систем. — М.: Наука. 1967. — 879 с.

ЕрПН им. К. Маркса

1. III 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII. № 4, 1989, с. 165—170

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.074.7.011:699.841

А. М. АЛЮНЦ

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРУГОВУЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ ОБОЛОЧКУ, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННУЮ ЖИДКОСТЬЮ

Рассмотрены колебания круговой цилиндрической оболочки, частично заполненной жидкостью, подвергнутые сейсмическим воздействиям. Считается, что основание совершает только горизонтальные колебания. Дифференциальное уравнение колебания оболочки решается методом В. Г. Галеркина. Найдены собственные частоты колебаний оболочки, компоненты перемещения, напряжения и изгибающие моменты. Приведен численный пример.

Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

Գրառված է մի հոլով տրակցված շրջանաձև զանգվածային մասով շրջանաձև թաղանթի տատանումները, որոնք առաջանում են երկրաշարժի տեղեցությունից: Ընդունված է, որ հիմքը կատարում է միայն հորիզոնական տատանումներ: Թաղանթի տատանումն ընթերցվող համասարումը լուծվում է Վ. Գ. Գալերկինի մեթոդով: Գտնվում են դրանցիկ թաղանթի տատանման սեփական ճանաչատվությունները, տեղափոխումների բաղադրիչները, լուծումները և ձաղ մոմենտները: Վերվում է թվային օրինակ:

Рассматриваются вынужденные колебания круговой цилиндрической оболочки, заделанной одним концом и свободной другим, которая подвергается горизонтальным сейсмическим нагрузкам (рис). Считается, что основание совершает горизонтальные колебания по заданному закону $y_0(t)$. Система уравнений колебания оболочки имеет вид [1, 2]

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{1-\nu}{2R^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} - \frac{1+\nu}{2R} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial \theta} + \frac{\nu}{R} \frac{\partial w}{\partial x} = - \frac{1-\nu^2}{E\delta} X, \\
 & \frac{1+\nu}{2R} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial \theta} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial w}{\partial \theta} = - \frac{1-\nu^2}{E\delta} Y, \\
 & D \nabla^2 w + \frac{E\nu}{R(1-\nu^2)} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{E\delta}{R^2(1-\nu^2)} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{E\delta}{R^2(1-\nu^2)} w = \\
 & \quad - \frac{q}{R} \frac{\partial w}{\partial \theta^2} = \begin{cases} Z & \text{при } l_1 < x < l, \\ Z - \gamma \frac{\partial Z}{\partial t} & \text{при } 0 < x < l_1, \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

где X , Y , Z — компоненты внешней нагрузки

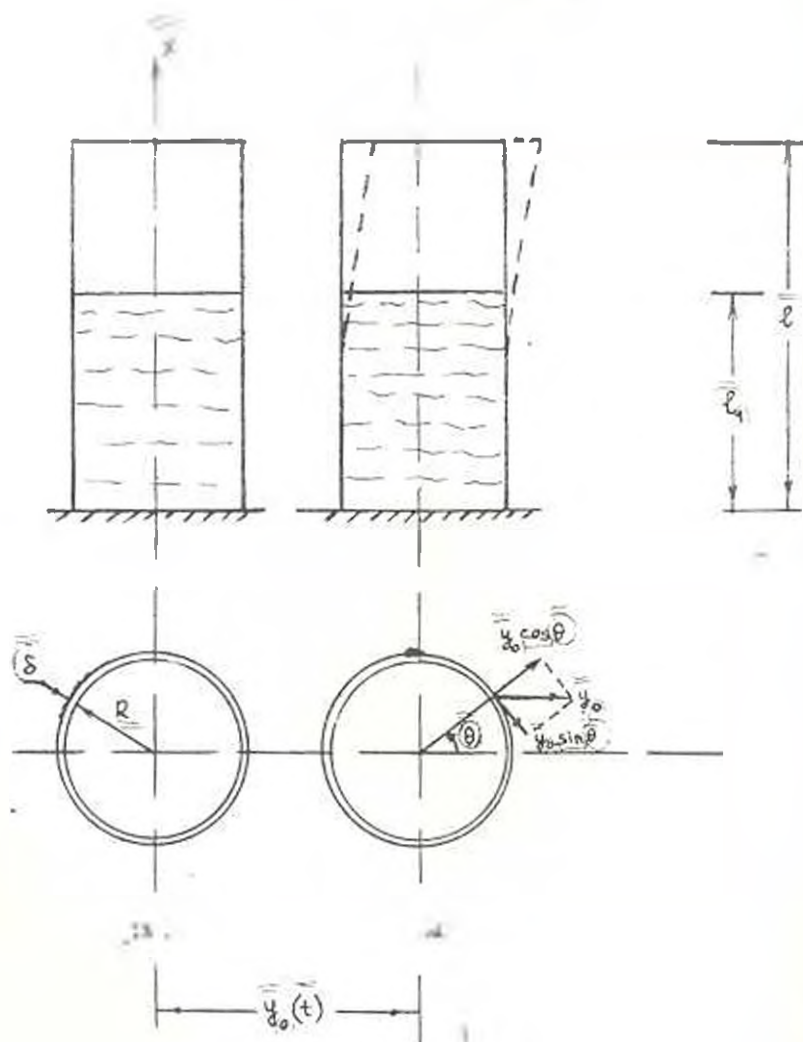


Рис.

$$X=0; \quad Y = \frac{\gamma_0^2}{g} y_0'(t) \sin \theta; \quad Z = -\frac{\gamma_0^2}{g} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + y_0'(t) \cos \theta \right);$$

$y_0'(t)$ — ускорение основания.

В третьем уравнении (1) учтено начальное статическое натяжение от жидкости: $\gamma_0^2 = Rq$, $q = \delta_{\text{ж.ж.}}(l_1 - x)$ (невозмущенное состояние).

Потенциальная функция движения жидкости φ определяется из уравнения Лапласа

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} = 0. \quad (2)$$

Для функции $\varphi(x, r, \theta, t)$ имеем следующие краевые условия:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{\partial w}{\partial t} \Big|_{r=R}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{t=t_0} = 0. \quad (3)$$

Потенциальную функцию представим в виде

$$\varphi = \cos \theta R(r) X(x) \quad (4)$$

и подставим в уравнение (2). Уравнение для $X(x)$ будет $X'' + \mu^2 X = 0$, согласно (3) с условиями $X'(0) = 0$, $X(l_1) = 0$, решением которого будет

$$X = c_1 \cos \frac{2n-1}{2} \frac{\pi x}{l_1}. \quad (5)$$

Для $R(r)$ получаем уравнение Бесселя

$$r^2 R'' + r R' - \left[1 + \left(\frac{2n-1}{2} \frac{\pi r}{l_1} \right)^2 \right] R = 0,$$

решение которого есть

$$R = c_2 I_1(z) + c_4 K_1(z), \quad z = \mu_m r, \quad \mu_m = \frac{2m-1}{2} \frac{\pi}{l_1}. \quad (6)$$

Здесь $c_4 = 0$ в силу ограниченности величин при $r = 0$.

Совместно решая (4)–(6), получаем потенциальную функцию движения жидкости

$$\varphi = \cos \theta \sum_{n=1}^{\infty} y_n(t) I_1 \left(\frac{2n-1}{2} \frac{\pi r}{l_1} \right) \cos \frac{2n-1}{2} \frac{\pi x}{l_1}. \quad (7)$$

Прогиб оболочки представим в виде

$$w = \cos \theta \sum_{k=1}^{\infty} f_k(t) X_k(x), \quad (8)$$

где $X_k(x) = \sin \xi_k \frac{x}{l} - \text{sh } \xi_k \frac{x}{l} - \frac{\sin \xi_k - \text{sh } \xi_k}{\cos \xi_k + \text{ch } \xi_k} \left(\cos \xi_k \frac{x}{l} - \text{ch } \xi_k \frac{x}{l} \right) -$

базисные фундаментальные функции А. Н. Крылова, удовлетворяющие краевым условиям [3] $X_k(0) = X_k'(0) = X_k(l) = X_k'(l) = 0$.

Подставляя выражения (7) и (8) в первое краевое условие (3), получаем

$$\varphi_m(s) = \sum_{k=1}^{\infty} b_{km} \frac{df_k(t)}{dt}, \quad (9)$$

где

$$b_{km} = \frac{a_{km}}{\frac{\partial}{\partial r} \left[I_1 \left(\frac{2m-1}{2} \frac{\pi r}{l_1} \right) \right]_{r=R} \int_0^{l_1} \cos^2 p_m x dx},$$

$$a_{km} = \int_0^{l_1} X_k(x) \cos p_m x dx.$$

Из системы (1) получаем дифференциальное уравнение колебания оболочки, выраженное только через w

$$D \nabla^2 w - \frac{E \gamma}{R^2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - \nabla^2 \left(\frac{q}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) + \frac{\gamma \partial}{g} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \nabla^2 w + \frac{2 \gamma \partial}{g R^4} y_0'(t) \cos \theta =$$

$$= \begin{cases} 0, & \text{при } l_1 < x < l_2, \\ -2\alpha \frac{\partial}{\partial t} \Delta^2 w, & \text{при } 0 < x < l_1. \end{cases} \quad (10)$$

Решение уравнения (10) ищем в виде (8) с учетом (9). Пользуясь методом Б. Г. Галеркина и учитывая ортогональность балочных функций, получаем бесконечную систему дифференциальных уравнений для определения $f_k(t)$

$$a_j f_j'(t) + d_j f_j(t) + \sum_{k=1}^{\infty} c_{kj} f_k(t) + \sum_{k=1}^{\infty} d_{kj} f_k(t) = e_j y_0'(t), \quad (11)$$

где

$$c_j = \frac{\gamma \partial}{g} \left[\left(\frac{p_j}{l} \right)^4 + \frac{1}{R^4} \right] \int_0^l X_j^2(x) dx,$$

$$d_j = \left[D \left(\frac{p_j}{l} \right)^4 + \frac{6D}{R^4} \left(\frac{p_j}{l} \right)^4 + \frac{D}{R^8} + \frac{E \gamma}{R^2} \left(\frac{p_j}{l} \right)^4 + \right.$$

$$\left. + \frac{\gamma_* l_1}{R} \left(\frac{p_j}{l} \right)^4 + \frac{\gamma_* l_1}{R^2} \right] \int_0^{l_1} X_j^2(x) dx,$$

$$c_{kj} = - \frac{2 \gamma \partial}{g R^2} \int_0^{l_1} X_k(x) X_j(x) dx +$$

$$+ p_0 \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{p_k}{l} - \frac{1}{R^2} \right)^2 b_{k1} I_1 \left(\frac{p_k r}{l_1} \right) \int_0^{l_1} X_j(x) \cos p_k x dx,$$

$$\begin{aligned}
d_{kj} = & - \left(\frac{4D}{R^2} \left[\left(\frac{l_k}{l} \right)^4 - \frac{1}{R^4} \right] - \frac{2\gamma_* l_1}{R^2} \right) \int_0^l X_k''(x) X_j(x) dx - \\
& - \frac{\gamma_*}{R} \left[\left(\frac{l_k}{l} \right)^4 - \frac{1}{R^4} \right] \int_0^l x X_k(x) X_j(x) dx - \frac{4\gamma_*}{R} \int_0^l X_k'''(x) X_j(x) dx + \\
& + \frac{4\gamma_*}{R^4 g} \int_0^l X_k''(x) X_j(x) dx + \frac{2\gamma_*}{R^2} \int_0^l x X_k''(x) X_j(x) dx, \\
e_j = & - \frac{2\gamma_*}{R^4 g} \int_0^l X_j(x) dx.
\end{aligned}$$

Для описания закона колебаний почвы $y_0(t)$ Дж. Сноуденом предложена следующая формула [4]:

$$y_0(t) = y_{0\max} \frac{e^2}{4} x^2 t^2 e^{-x^2 t^2},$$

где x — характеристика продолжительности.

Если довольствоваться вторым приближением, общее решение (11) будет

$$\begin{cases} f_1(t) = A_1 \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_2 \sin(p_2 t + \alpha_2) + e^{-\lambda_1 t} (h_1 t^2 + m_1 t + n_1), \\ f_2(t) = \lambda'' A_1 \sin(p_1 t + \alpha_1) + \lambda'' A_2 \sin(p_2 t + \alpha_2) + e^{-\lambda_2 t} (h_2 t^2 + m_2 t + n_2), \end{cases}$$

где p_1, p_2 — собственные частоты колебаний; $h_1, m_1, n_1, h_2, m_2, n_2, \lambda_1, \lambda''$ — определяются из (11), а произвольные постоянные $A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2$ должны быть выбраны так, чтобы удовлетворялись начальные условия

$$w(x, 0, 0) = w_j(x, 0, 0) = 0,$$

откуда следует, что

$$f_1(0) = f_1'(0) = f_2(0) = f_2'(0) = 0.$$

Теперь, когда известно радиальное перемещение, определим перемещения u, v , которые выражаются через w из первых двух уравнений системы (1):

$$\nabla^4 u = \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \theta^2} - \frac{\nu}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = F_1(x), \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
\nabla^4 v = & \frac{\nu(1+\nu)}{R^2(1-\nu)} \frac{2}{R^2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial \theta^2} - \frac{1}{R^2} \frac{\partial^4 w}{\partial \theta^4} + \frac{(1-\nu^2)^2}{EgR^2} y_0'(t) \sin \theta = F_2(x), \\
\end{aligned} \quad (13)$$

Решения уравнений (12) и (13) будут

$$u = \left[c_1 e^{\frac{x}{R}} + c_2 x e^{\frac{x}{R}} + c_3 e^{-\frac{x}{R}} + c_4 x e^{-\frac{x}{R}} + \right. \\ \left. + \frac{R^2}{2} \int_0^x F_1(y) \left(\frac{x-y}{R} \operatorname{ch} \frac{x-y}{R} - \operatorname{sh} \frac{x-y}{R} \right) dy \right] \cos \varphi, \\ v = \left[-c_1 e^{\frac{x}{R}} - \frac{4}{1+\nu} c_2 x e^{\frac{x}{R}} + c_3 e^{-\frac{x}{R}} - \frac{4}{1+\nu} c_4 x e^{-\frac{x}{R}} + \right. \\ \left. + \frac{R^2}{2} \int_0^x F_2(y) \left(\frac{x-y}{R} \operatorname{ch} \frac{x-y}{R} - \operatorname{sh} \frac{x-y}{R} \right) dy \right] \sin \varphi.$$

Постоянные c_1, c_2, c_3, c_4 определяются из неиспользованных граничных условий при $x=0, u=v=0$ и $x=l, T_1=S=0$, где

$$T_1 = \frac{E\delta}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\nu}{R} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + w \right) \right],$$

$$S = \frac{E\delta}{2(1+\nu)} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial x} \right).$$

Ниже приводятся данные для резервуара с параметрами $a=12,33$ м, $l=11,92$ м, $\delta=5$ мм, $\nu=0,3$, $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\gamma=850$ кг/м³ (керосин [5]); значения собственных частот резервуара с различными уровнями жидкости (l/l_0) и максимальные значения перемещений при $x=l, t=0,1$ с (табл.).

Таблица

l/l_0	$T_1, \text{с}^{-1}$	$P_1, \text{с}^{-1}$	$u \cdot 10^{-3}, \text{мм}$	$v \cdot 10^{-3}, \text{мм}$	$w \cdot 10^{-3}, \text{мм}$
0	638	782	-24	25	-50
0,33	135	605	-20	30	-51
0,67	29	637	-30	37	-73
1	10	626	35	-16	-66

ЛИТЕРАТУРА

1. Механика систем оболочка-жидкость-нагретый газ / Под ред. Н. А. Кальчевского.—Киев: Наукова думка, 1970.—328 с.
2. Ониашвили О. Д. Некоторые динамические задачи теории оболочек.—М.: Изд. АН СССР, 1957.—196 с.
3. Бабаков И. М. Теория колебаний.—М.: Гос. изд-во тех.теор. лит., 1958.—628 с.
4. Хачиян Э. Е. Динамические модели сооружений в теории сейсмостойкости.—М.: Наука, 1961.—204 с.
5. Сифарян М. К. Современное состояние резервуаростроения и перспективы его развития.—М.: ЦНИИГЭнефтехим, 1972.—80 с.

УДК 536.242

А. М. САРГСЯН, А. С. ХАЧИКЯН, Г. Г. НЕРСИСЯН

СТАЦИОНАРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В
КУСОЧНО-ОДНОРОДНЫХ ТЕЛАХ

На основе решения двумерной стационарной задачи теплопроводности для кусочно-однородного клина исследован характер распределения тепловых потоков в окрестности его вершины при граничных условиях первого и второго родов и при условиях смешанного типа. Показано, что при смешанных граничных условиях, в отличие от граничных условий первого и второго родов, отсутствует область изменения углов радиатора однородных клиншек, где независимо от отношения коэффициентов теплопроводности в окрестности вершины составного клина тепловые потоки стремятся к нулю.

Илл. 4. Библиогр.: 8 назв.

Вопрос о характере распределения тепловых потоков в окрестности вершины составного клина, состоящего из клиншек с различными коэффициентами теплопроводности, является актуальным в связи с тем, что в настоящее время широко применяются материалы с различными свойствами. В частности, это касается материалов, используемых в качестве теплоизоляторов, а также материалов, используемых в качестве теплоносителей. В связи с этим возникает необходимость исследования тепловых процессов в таких системах.

В известных решениях задачи теории теплопроводности для однородных и неоднородных тел изучалось только распределение температуры в зависимости от тепловых характеристик и различных граничных условий [1—6]. Однако вопрос об исследовании тепловых потоков в угловых точках клиновидных областей остался открытым. Поведения тепловых потоков в таких областях важно при прочностных расчетах и построении математических моделей, обеспечивающих большую адекватность с реальными тепловыми процессами.

В настоящей работе определяется плоское стационарное температурное поле в кусочно-однородном клине и исследуется характер распределения тепловых потоков в окрестности его вершины. Тепловой контакт между однородными клиншками принимается идеальным. На границах клина задаются граничные условия первого и второго родов и условия смешанного типа.

Стационарное температурное поле в составном клине (рис. 1) удовлетворяет уравнению теплопроводности [1]

$$\frac{\partial^2 T_j(r, \theta)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_j(r, \theta)}{\partial r} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_j(r, \theta)}{\partial \theta^2} = 0, \quad (1)$$

$$j = 1, \quad 0 \leq \theta \leq \theta_1, \quad j = 2, \quad -\theta_1 \leq \theta \leq 0, \quad 0 \leq r < \infty$$

при следующих контактных условиях на линии раздела $\theta = 0$:

$$T_1(r, 0) = T_2(r, 0), \quad \frac{\partial T_1(r, 0)}{\partial \theta} = \lambda \frac{\partial T_2(r, 0)}{\partial \theta} \quad (2)$$

и граничных условиях:

первого рода —

$$T_1(r, \theta_1) = f_1(r), \quad T_2(r, -\theta_2) = f_2(r); \quad (3)$$

второго рода —

$$\frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial T_1(r, \theta_1)}{\partial \theta} = \varphi_1(r), \quad \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial T_2(r, -\theta_2)}{\partial \theta} = \varphi_2(r); \quad (4)$$

смешанного типа —

$$\frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial T_1(r, \theta_1)}{\partial \theta} = \varphi_1(r), \quad T_2(r, -\theta_2) = f_2(r). \quad (5)$$

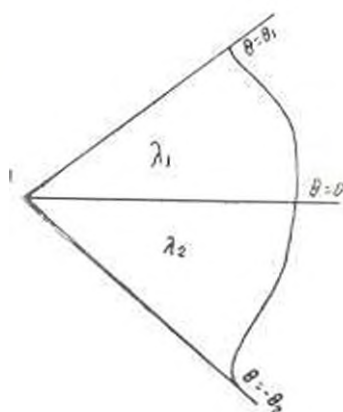


Рис. 1.

В условиях (2)–(5) $\lambda = \lambda_2/\lambda_1$, λ_j — коэффициенты теплопроводности, $f(r)$ и $\varphi_j(r)$ — заданные функции, $0 < i < \infty$, $\theta_1 + \theta_2 = 2\pi$.

К краевой задаче (1)–(5) применяется интегральное преобразование Мелина [7]

$$\bar{T}_j(p, \theta) = \int_0^\infty T_j(r, \theta) r^{p-1} dr, \quad (6)$$

$$T_j(r, \theta) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \bar{T}_j(p, \theta) r^{-p} dp.$$

Если предположить, что на бесконечности температура исчезает как $r^{-\delta}$, где $\delta > 0$, а на вершине клина ($r \rightarrow 0$) остается ограниченной, то первый интеграл (6) будет сходиться при $0 < \operatorname{Re} p < \delta$, что и заключает в себе путь интегрирования L во второй формуле (6).

В результате применения к уравнению (1) преобразования Мелина приходим к обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка, решение которого имеет вид

$$T_j(p, \theta) = A_j(p) \cos p\theta + B_j(p) \sin p\theta. \quad (7)$$

Удовлетворяя преобразованным гранично-контактным условиям, которые получаются из (2)–(5) после применения преобразования Мелина, для неизвестных коэффициентов $A_j(p)$ и $B_j(p)$ получим: для граничного условия первого рода (3) —

$$\begin{aligned} A_j(p) &= 2 [\bar{f}_j(p) \sin p\theta_j + f_1(p) \sin p\theta_1], \\ B_j(p) &= 2^{1/2} [\bar{f}_1(p) \cos p\theta_2 - \bar{f}_2(p) \cos p\theta], \end{aligned} \quad (8)$$

$$\Delta(p) = (\nu + 1) \sin p(\theta_1 + \theta_2) + (\nu - 1) \sin p(\theta_1 - \theta_2);$$

второго рода (4) —

$$\begin{aligned} A_j'(p) &= -2 \left[\frac{\bar{\Psi}_1(p+1)}{\lambda_1 p} \cos p\theta_2 + \frac{\bar{\Psi}_2(p+1)}{\lambda_2 p} \cos p\theta_1 \right]; \\ B_j'(p) &= 2 \left[\frac{\bar{\Psi}_1(p+1)}{\lambda_1 p} \sin p\theta_2 - \frac{\bar{\Psi}_2(p+1)}{\lambda_2 p} \sin p\theta_1 \right]; \\ \Delta(p) &= (\lambda+1) \sin p(\theta_1 + \theta_2) - (\lambda-1) \sin p(\theta_1 - \theta_2); \end{aligned} \quad (9)$$

для смешанного граничного условия (5) —

$$\begin{aligned} A_j'(p) &= 2 \left[\frac{\bar{\Psi}_1(p+1)}{\lambda_1 p} \sin p\theta_2 + f_2(p) \cos p\theta_2 \right]; \\ B_j'(p) &= 2 \left[\frac{\bar{\Psi}_1(p+1)}{\lambda_1 p} \cos p\theta_2 + f_2(p) \sin p\theta_1 \right]; \\ \Delta(p) &= (\lambda+1) \cos p(\theta_1 + \theta_2) + (\lambda-1) \cos p(\theta_1 - \theta_2), \end{aligned} \quad (10)$$

где $A_j(p) = A_j'(p) \Delta(p)$, $B_j(p) = B_j'(p) \Delta(p)$.

С помощью (7) и обратного преобразования Меллина получим формулы для определения температур и тепловых потоков

$$T(r, \theta) = \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{A_j(p) \cos p\theta + B_j(p) \sin p\theta}{\Delta(p)} r^{-p} dp.$$

$$\lambda_j \frac{\partial T_j(r, \theta)}{\partial \theta} = \frac{-\lambda_j}{2\pi i} \int_L \frac{A_j(p) \cos p\theta + B_j(p) \sin p\theta}{\Delta(p)} r^{-p-1} p dp \quad (11)$$

$$\frac{\lambda_j}{r} \frac{\partial T(r, \theta)}{\partial \theta} = \frac{-\lambda_j}{2\pi i} \int_L \frac{A_j(p) \sin p\theta - B_j(p) \cos p\theta}{\Delta(p)} r^{-p-1} p dp \quad (12)$$

Для исследования поведения тепловых потоков при $r \rightarrow 0$ дополним прямую L влево некоторым полукругом и применим теорему о вычетах. В результате получим

$$\lambda_j \frac{\partial T_j(r, \theta)}{\partial \theta} = \lambda_j \sum_{n=0}^{\infty} r^{p_n-1} \frac{A_j'(-p_n) \cos p_n \theta - B_j'(-p_n) \sin p_n \theta}{\Delta_1(p_n)} p_n, \quad (13)$$

$$\frac{\lambda_j}{r} \frac{\partial T_j(r, \theta)}{\partial \theta} = -\lambda_j \sum_{n=0}^{\infty} r^{p_n-1} \frac{A_j'(-p_n) \sin p_n \theta - B_j'(-p_n) \cos p_n \theta}{\Delta_1(p_n)} p_n. \quad (14)$$

В формулах (13), (14) $\Delta_1(p) = d\Delta(p)/dp$, $p_n \geq 0$ — корни уравнения ($n=1, 2, \dots$),

$$\Delta(p) = 0. \quad (15)$$

Формулы (13) и (14) получены при условии, что полюсами подынтегральных выражений служат только корни уравнения (15), которые действительны и просты. В работах [1, 8] доказано, что корни уравнения (15) для случая граничного условия первого рода вещественны и просты. Аналогично доказывается, что это имеет место и в случае граничного условия второго рода. Докажем эти утверждения для случая граничного условия смешанного типа.

Принимая, что $p = \xi + i\eta$ ($\eta \neq 0$) и приравняв нулю действительную и мнимую части $\Delta(p)$, имеем

$$1 = \frac{1-\lambda}{1+\lambda} \left[\frac{\operatorname{ch}^2 \eta b^-}{\operatorname{ch}^2 \eta b} \cos^2 \xi b^- + \frac{\operatorname{sh}^2 \eta b^-}{\operatorname{sh}^2 \eta b} \sin^2 \xi b^- \right], \quad (16)$$

где $b^- = b_1 - b_2$, $b = b_1 + b_2$, $b_1 > b_2$.

Учитывая условие $\lambda > 0$, замечаем, что соотношение (16) не выполняется при действительных ξ и η . Полученное противоречие и доказывает, что $\eta = 0$, т. е. корни уравнения (15) вещественны и в этом случае.

Если предположить, что $p = p_n$ является двукратным корнем уравнения (15), то из условий $\Delta(p_n) = 0$ и $d\Delta(p_n)/dp = 0$ следует

$$\cos p_n b^- = \frac{1-\lambda}{1+\lambda} \cos p_n b, \quad \sin p_n b^+ = \frac{(1-\lambda)b^-}{(1+\lambda)b} \sin p_n b^-.$$

Сложив полученные соотношения и предварительно возведя их в квадрат, получим

$$\sin^2 p_n b^- = \frac{(a^2 - 1)(b^-)^2}{4a^2 b_1 b_2}, \quad a = \frac{1-\lambda}{1+\lambda}, \quad -1 < a < 1.$$

Левая часть последнего соотношения всегда положительна, а правая — отрицательна. Следовательно, $p = p_n$ ($n = 1, 2, \dots$) не может быть корнем второго порядка.

Из формул (13) и (14) видно, что тепловые потоки при приближении к вершине составного клина стремятся к нулю, если все корни $p_n > 1$ и к бесконечности, если среди корней есть хотя бы одно $p_n < 1$. При $p_n = 1$ тепловые потоки в угловой точке клина конечны.

Таким образом, исследование теплового состояния в окрестности угловой точки свелось к определению наименьшего положительного корня уравнения (15). Детальное исследование корней этого уравнения проведено в [8] в связи с изучением характера напряженного состояния около угловой точки поперечного сечения скручиваемого составного стержня. С помощью результатов [8] и решения уравнения (15) в предельных случаях $\lambda = 0$, $\lambda = 1$ и $\lambda = \infty$ заключаем, что в случае граничного условия первого рода (рис. 2) а) тепловые потоки около вершины составного клина обращаются в нуль при приближении к углу независимо от отношения коэффициентов теплопроводности μ , если θ_1 и θ_2 меняются в области $0 < \theta_1 < \pi/2$, $0 < \theta_2 < \pi/2$.

которая на рис. 2 показана двойной заштриховкой: б) тепловые потоки около угловой точки клина стремятся к бесконечности независимо от λ , если θ_1 и θ_2 лежат в областях $\pi_2 < \theta_1 < \pi$, $0 < \theta_2 < \pi$; в) стремление тепловых потоков к нулю или бесконечности при приближении к угловой точке зависит от λ , когда углы θ_1 и θ_2 меняются в незаштрихованных областях (рис. 2).

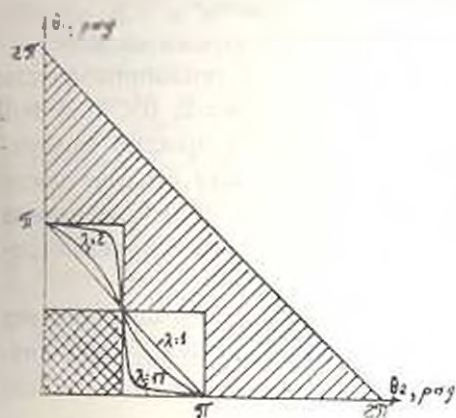


Рис. 2

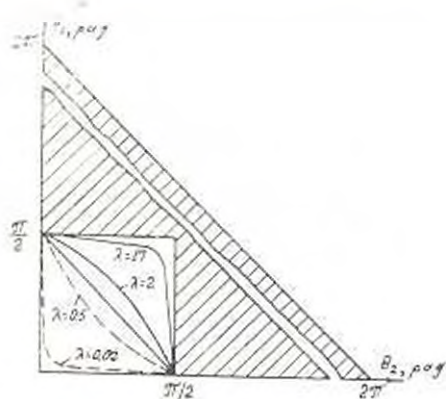


Рис. 1

Каждому значению λ соответствует предельная кривая

$$(\lambda + 1) \sin(\theta_1 + \theta_2) + (\lambda - 1) \sin(\theta_1 - \theta_2) = 0, \quad (17)$$

проходящая через незаштрихованные области. Если точка, определяемая углами θ_1 и θ_2 , и начало координат при данном значении λ лежат на одной стороне предельной кривой, тепловые потоки в угловой точке стремятся к нулю. Если же точка лежит на предельной кривой (кривые $\lambda=1$, $\lambda=2$ и $\lambda=17$ на рис. 2), тепловые потоки в угловой точке будут конечными.

Предельная кривая для однородного клина ($\nu=1$), как следует из (17), представляет собой отрезок $\theta_1 + \theta_2 = \pi$. Наименьший положительный корень при $\nu=1$ получается из (15) $p_1 = \pi(\theta_1 + \theta_2)$. Если угол раствора однородного клина $\theta_1 + \theta_2 < \pi$, то $p_1 < 1$, а если $\theta_1 + \theta_2 > \pi - p_1 < 1$. Следовательно, в окрестности выступающего угла однородного клина тепловые потоки стремятся к нулю, а в окрестности входящего угла — к бесконечности.

Для составного клина возможны такие значения параметров λ , θ_1 и θ_2 из незаштрихованной области рис. 2, при которых в малой окрестности входящего угла тепловые потоки стремятся к нулю. При других значениях этих параметров в окрестности выступающего угла тепловые потоки стремятся к бесконечности, что невозможно для однородного клина.

Заметим, что в случае граничного условия второго рода определитель

$$\Delta(p) = (\lambda + 1) \sin p(\theta_1 + \theta_2) - (\lambda - 1) \sin p(\theta_1 - \theta_2)$$

совпадает с определителем, полученным для граничного условия первого рода заменой λ на $1/\lambda$, поэтому вышеприведенный анализ относится и к этому случаю.

Для граничного условия смешанного типа полюсами подынтегральных выражений (10)–(12) служат корни уравнения

$$\Delta(p) = (\lambda + 1) \cos p(\theta_1 + \theta_2) + (\lambda - 1) \cos p(\theta_1 - \theta_2) = 0. \quad (18)$$

Аналогичное исследование корней (18) показывает, что: а) тепловые потоки около вершин составного клина стремятся к бесконечности независимо от отношения коэффициентов теплопроводности $\lambda = \lambda_2/\lambda_1$, если углы θ_1 и θ_2 меняются в областях $\theta_1 > \pi/2$, $0 < \theta_2 < 3\pi/2$ и $0 < \theta_1 < \pi/2$, $\theta_2 > \pi/2$, которые на рис. 3 показаны простой заштриховкой; б) стремление тепловых потоков к нулю или бесконечности около вершины составного клина зависит от λ , если θ_1 и θ_2 меняются в области $0 < \theta_1 < \pi/2$, $0 < \theta_2 < \pi/2$, которая на рис. 3 незаштрихована.

Предельная кривая для однородного клина ($\lambda = 1$) представляет собой отрезок прямой $\theta_1 + \theta_2 = \pi$. Наименьший корень имеет значение

$$p = \frac{\pi}{2(\theta_1 - \theta_2)}.$$

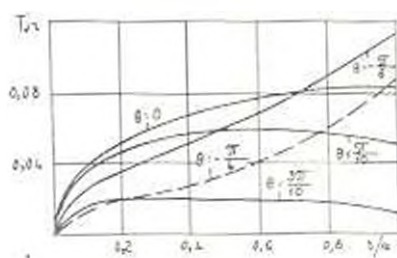


Рис. 4а.

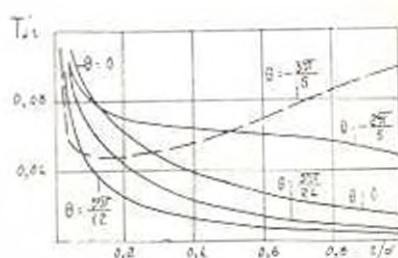


Рис. 4б.

Таким образом, в случае смешанных граничных условий в плоскости (θ_1, θ_2) отсутствует область изменения углов растворов однородных клиньев, при которой независимо от отношения коэффициентов теплопроводности λ в угловой точке составного клина тепловые потоки стремятся к нулю.

При граничных условиях первого рода, заданных в виде $T_1(r, \theta_1) = 0$, $T_2(r, \theta_2) = T_0[h(r-b) - h(r-a)]$, где $h(r)$ — функция Хевисайда, вычислены безразмерные тепловые потоки $T_{j1} = (b/bT_0) \partial T_j / \partial b$ в двух случаях: а) $\theta_1 = 2\pi/5$, $\theta_2 = \pi/3$; б) $\theta_1 = 5\pi/6$, $\theta_2 = 4\pi/5$. Результаты расчета для $\lambda = 2$, $a = 3$ и $b = 2$ представлены на рис. 4.

Полученные в настоящей работе результаты дают возможность выбором теплофизических и геометрических характеристик соединяемых материалов обеспечить необходимое распределение тепловых потоков в смысле их равномерности или концентрации. Они могут быть

использованы при проектировании изделий, чувствительных к изменениям температур и тепловых потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпачев Г., Егоров Д. Теплопроводность твердых тел.—М.: Наука, 1964.—187 с.
 2. Рубин Н. И., Скильская Н. И. Некоторые задачи теплопроводности для клиновидных тел // ЖТФ.—1964.—Т. 34, № 5.—С. 801—809.
 3. Истомин Г. И., Терлецкий В. А. О некоторых задачах нестационарной теплопроводности для клиновидных областей // ИФЖ.—1973.—Т. 24, № 3.—С. 514—520.
 4. Смирнов М. М. Задачи по уравнениям математической физики.—М.: Наука, 1975.—127 с.
 5. Алексин Р. К. Стационарное температурное поле в составном секторе // Изв. АН АрмССР. Механика.—1971.—Т. 24, № 6.—С. 11—25.
 6. Sinclair G. H. On the singular eigenfunctions for Plane Harmonic Problem in composite Regions, Journ. of Appl. Mech.—1980.—V. 47, № 1.—P. 87—92.
 7. Уфлянд Я. С. Интегральные преобразования и задачах теории упругости.—М.: Изд-во АН СССР, 1963.—367 с.
 8. Чобанян К. С. Напряжения в составных упругих телах.—Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1987.—338 с.
- НПО «Армсельхозмеханизация».

Ершова И. К. Марка

10. IX, 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 4, 1989, с. 177—180

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.313.322.017

Т. М. НАМЕНИ, Р. Е. АКОПЯН, Г. С. СЕМЕНОВА,
Т. А. НАСЛЯН, Е. А. СААКЯН

НЕКОТОРЫЕ АЛГОРИТМЫ ТЕПЛОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СТАТОРА МОЩНОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Предложены алгоритмы, которые позволяют предвидеть возможные превышения аварийных уставок температуры задолго до их реального появления. В связи с частым изменением нагрузок без достижения установленных температур и системы диагностики предусматривается выполнение прогностических расчетов, основанных на идентификации тепловой модели нестационарного нагрева двух тел реальным кривым нагрева обмотки и сердечника статора.

Чл. 1. Библиогр.: 1 назв.

Առաջարկված ալգորիթմներ թույլ են տալիս կանխատեսել ջերմաստիճանի նախափորձարարիչ աւելի քան իրականում ներսեղ անախանալուց շատ շուտ:

Ալգորիթման նամակարգում նախատեսվում է կատարել նախադրական ճաշվարկներ, որոնք հիմնավորված են երկու մարմինների տեղային տաքացման ձեռնարկ և ստատորի փոխարկի ու միջուկի տաքացման իրական կորի նայնագմամբ:

На базе практически имеющихся средств штатного термомониторинга целесообразно построить алгоритмы диагностики теплового со-

стояния обмотки и сердечника статора, опираясь на следующие критерии, предложенные Г. Б. Пинским и А. С. Орловым: а) абсолютная температура обмотки (сердечника) статора и ее превышение над средней температурой холодного воздуха; б) максимальная разница в температуре обмотки (сердечника) статора, измеренная по отдельным каналам; в) изменение величины среднего превышения температуры обмотки (сердечника) статора над средней температурой холодного воздуха по сравнению с нормальным средним превышением при данном токе статора.

Под нормальным средним превышением температуры при данном токе статора понимается значение превышения, полученное при проведении специальных тепловых испытаний генератора в установившемся тепловом режиме при данном токе статора. Значения нормальных средних превышений, определенные для разных токов статора, сводятся в специальную таблицу, вводимую в память ЭВМ. Данные этой таблицы уточняются в процессе эксплуатации в период между испытаниями. Промежуточные нормальные средние значения превышений температуры определяются методом интерполяции. Введение в качестве основы для сравнения по пусковой величине тока статора упрощает алгоритмы сравнения и оправдано при работе гидрогенератора с $\cos \varphi$, близким к номинальному. При наличии режимов работы с резким изменением $\cos \varphi$ в качестве основы для сравнения следует брать не ток статора, а величины активной и реактивной мощностей в данном режиме.

Набор информационных сигналов определяет сущность соответствующих алгоритмов диагностики. Если не превышены величины предупредительных уставок и все допустимые изменения температур, диагностическая система не выдает никаких сообщений. Если устойчиво в течение 30 с по двум или более каналам превышена какая-либо из аварийных уставок, на экран терминала и на печать выдается соответствующее сообщение и рекомендации о возможности дальнейшей работы гидрогенератора.

Однако, выполнение условия наблюдения за изменением величины среднего превышения температуры по сравнению с нормальным средним превышением для гидрогенераторов затруднено тем, что значительную часть времени они работают в режимах частоты изменения нагрузок, не достигая установившихся температур. Поэтому в подсистеме диагностики предусматривается выполнение прогностических тепловых расчетов, основанное на идентификации тепловой модели нестационарного нагрева двух тел реальным кривым нагрева обмотки и сердечника статора. Если сталь сердечника статора и медь его обмотки принять за два нагреваемых тела, обменивающихся теплом между собой и охлаждающим газом, то, как известно, процесс нагрева этих тел под воздействием выделяющегося в них тепла описывается следующим выражением [1]:

$$\Delta \theta_2 = \frac{M_2}{A_2} (1 - e^{-A_2 t}) + \frac{B_2}{A_2} (1 - e^{-A_2 t}) + \frac{C_2}{A_2} (1 - e^{-A_2 t}) \quad (1)$$

где $\Delta\theta_k$ —среднее превышение температуры обмотки (стали) статора над средней температурой воздуха в вентиляционных каналах статора, T_k —постоянная времени, определяемая тепловым проводимостью между каждым телом и охлаждающим воздухом и взаимной тепловой проводимостью, $\theta_{k\infty}$ —установившееся значение превышений температур обмотки и стали, соответствующее данной нагрузке.

Предположим, что измерение температуры проведено в некоторый момент времени 0 (начало отсчета) и через моменты времени t_1, t_2, t_3, t_4 по термосопротивлениям зафиксированы средние абсолютные температуры $\theta_1^I, \theta_2^I, \theta_3^I, \theta_4^I$ для обмотки и стали. Исходя из (1), для θ_1 можно записать:

$$\theta_1^I - \theta_1 = A_1 (e^{-t_1/T_1} - e^{-t_1/T_1}) + B_1 (e^{-t_1/T_1} - e^{-t_1/T_1}). \quad (2)$$

Аналогичные выражения можно записать для последующих моментов времени. Положив в этих выражениях $e^{-t_1/T_1} = x, e^{-t_2/T_1} = y$ при условии, что $t_2 = 2t_1, t_3 = 3t_1, t_4 = 4t_1$ и введя новые постоянные $A_1 = A_1 x (1 - x), B_1 = B_1 y (1 - y)$, вместо (2) получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} A_1 + B_1 = f_1; & A_1 x + B_1 y = f_2; \\ A_1 x (1 - x) + B_1 y (1 - y) = f_3. \end{cases} \quad (3)$$

где $f_1 = \theta_1^I - \theta_1, f_2 = \theta_2^I - \theta_1, f_3 = \theta_3^I - \theta_1$. Аналогичную систему можно составить и для θ_2 . Из этих систем определяем x, y, A_k, B_k , а A_k, B_k находим по следующим формулам:

$$A_k = \frac{A_k}{x(1-x)}; \quad B_k = \frac{B_k}{y(1-y)}; \quad k=1, 2. \quad (4)$$

Прибавляя слева и справа к уравнению (1) среднюю температуру воздуха в охлаждающих каналах, получаем

$$\theta_{k\infty} - \theta_k = (A_k x + B_k x), \quad k=1, 2. \quad (5)$$

Следовательно, зная A_k и B_k , найдем прогнозируемые значения установившихся абсолютных температур обмотки и стали статора $\theta_{k\infty}$ для данного режима и их превышения. Кроме того, из выражений $T_k = -(t_1 \ln x), T_k = -(t_1 \ln y)$ найдем постоянные времени T_k , по изменению которых можно судить об изменениях в условиях охлаждения.

На рисунке изображена блок-схема изложенного алгоритма диагностики, который достаточно прост и легко реализуется на ЭВМ. Он позволяет, исходя из теории нестационарного нагрева двух тел, по четырем экспериментальным точкам их нагрева идентифицировать все необходимые параметры процесса нагрева и ожидаемые установившиеся значения температур. При переходе генератора с одного режима работы на другой предполагается проводить такую идентифи-

кацию и прогнозирование, обрабатывая несколько «четверок» экспериментальных данных с различными интервалами времени. Данный

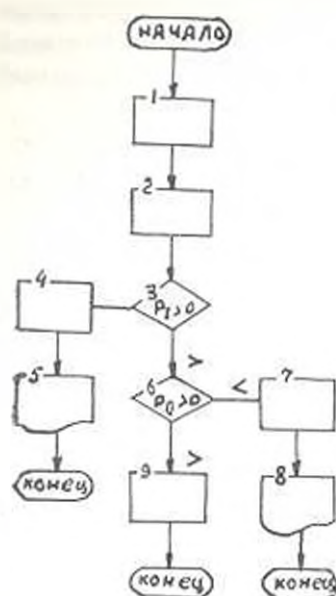


Рис. 1. Блок-схема алгоритма прогнозирования: 1 — ввод информации от штатного термеконтроля; 2 — прогнозический расчет; 3 — сравнение параметров прогнозического расчета с аварийными уставками; 4, 5 — подготовка и выдача рекомендаций при превышении аварийных уставок; 6 — сравнение параметров прогнозического расчета с предупредительными уставками; 7, 8 — подготовка и выдача рекомендаций при превышении предупредительных уставок; 9 — сигнализация о работе без ограничений.

прогноз позволяет предвидеть возможные превышения аварийных уставок температуры задолго до их реального появления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постников Н. М. Проектирование электрических машин. — Киев. Гос. ин-д. техн. лит. СССР, 1960. — 911 с.

ЕршН им. К. Маркса

ЮН 11 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 4, 1989, с. 180—185

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 658.5:62—229.006.065

Б. Е. САФАРОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМАТИВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АСУ

На основе разработки математической модели процесса обеспечения технических средств АСУ запасными частями получены графические зависимости в виде номограмм, с помощью которых возможно определять оптимальный норматив запаса регионального склада. Модель отвечает условию достижения максимума величины коэффициента обеспеченности запасными частями при ограничении на стоимость норматива запаса. Предлагаемые номограммы справедливы для трех стратегий пополнения запаса. Определение норматива запаса производится путем графической реализации обобщенного метода множителей Лагранжа.

Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

Ավտոմատիզացված կառավարման համակարգերի տեխնիկական միջոցները պահանջարկի մասերով ապահարկելու պրոցեսի ճաթնատիկական մոդելի մշակման հիմքի վրա ստացվել են նամագրամներ, որոնց օգնությամբ ներառվոր է որոշվել շրջանային պահանջի նպատակահարմար նորմացության պայարրու նորելը համապատասխանում է պահանջատարերի ապաստրկման գործակցի սահմանային արժեքին հասնելու պայմանին, երբ ուսմաննախկնում է պահարի նորմացության արժեքը: Առաջարկվող նամագրամները համապատասխանում են պաշարի լրացման երբ տեարի ուղրատելգրաների համար: Պաշարի նորմացության սահմանումը դուրս է բերում լազրաների բազմապատկիչների ընդունրացված մեթոդի դրաֆիկական իրազրորմամբ:

Качество и эффективность функционирования используемых в управлении народным хозяйством страны, его отраслями и предприятиями различного типа АСУ во многом зависят от состояния эксплуатационной надежности их технических средств (ТС). К числу эффективных мер, способствующих повышению эксплуатационной надежности ТС, следует отнести оптимизацию норматива запасных частей, предназначенных для технического обслуживания.

Обычно оптимальное нормирование запасных частей производится на основе экономико-математического моделирования процессов обеспечения ТС АСУ запасными частями, в результате чего проблема сводится к реализации задачи нелинейного целочисленного программирования с ограничениями или без них [1, 2]. Особого интереса заслуживают расчетные методы, основанные на использовании графических зависимостей и виде номограмм, которые позволяют решать различные задачи по оптимизации запасных частей. В работах [3, 4] получены номограммы установления оптимального норматива запасных частей для модели без ограничений. Однако использование этих номограмм может затрудняться из-за отсутствия исходной информации об издержках осуществления экстренных поставок и ущерба от простоя ТС.

В данной работе предлагаются номограммы, соответствующие модели с ограничением, для которой не требуется сведений об указанных издержках. Задача формулируется следующим образом: требуется определить для каждого i -го типа запасных частей ($i = 1, 2, \dots, n$) оптимальный план целочисленных значений вектора норматива запаса $x^0 = [x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0]$, $x_i^0 \geq 1$, максимизирующего коэффициент обеспеченности ТС запасными частями

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n E[x_{vi}] \cdot \Lambda_i}{\sum_{i=1}^n \Lambda_i} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot \Lambda_i}{\Lambda} \quad (1)$$

при заданном ограничении C на стоимость норматива запаса

$$\sum_{i=1}^n C_i x_i^0 \leq C, \quad (2)$$

Здесь $E[x_{vi}]$ — ожидаемое число немедленно удовлетворяемых требований на выдачу запасных частей i -го типа за год; $\Lambda (\Lambda_i)$ — ожи-

даемое число требований от ТС за год на выдачу всех запасных частей; R_i , C_i — коэффициент обеспеченности запасными частями и стоимость запасной части i -го типа.

В работах [2—4] получены расчетные формулы величин R_i для трех стратегий пополнения запаса регионального склада: 1—периодическое пополнение с экстренными поставками по одной запасной части; 2—непрерывное пополнение с потерями требований и экстренными поставками по одной запасной части; 3—непрерывное пополнение без потерь требований с неограниченной длиной очереди ожидающих требований.

Показано, что для каждой из рассмотренных стратегий при простейшем (пуассоновском) потоке требований и экспоненциальном законе распределения времени ремонта дискретная функция R_i по параметру x_{ij} является монотонно возрастающей и выпуклой.

В некоторых случаях эффективным методом решения данной задачи является обобщенный метод множителей Лагранжа [5], который позволяет свести многопараметрическую задачу к нахождению экстремума функции с n переменными к нахождению экстремумов n функций с одной переменной. Сущность метода сводится к последовательному уточнению величины неопределенного множителя Лагранжа θ .

Для этого на основании (1), (2) записывается функция Лагранжа в виде [5]

$$\Phi = \sum_{i=1}^n R_i \lambda_i - \theta \sum_{i=1}^n C_i x_{ii} - C_0 \quad (3)$$

Оптимизация сепарабельной функции (3) эквивалентна нахождению максимумов для n функций

$$\Phi_i = E[x_{yi}] - \theta C_i x_{ii} \quad (4)$$

Функция (4) по параметру x_{ii} является унимодальной, поскольку $E[x_{yi}]$ есть монотонно возрастающая выпуклая функция для любой из рассматриваемых в данной работе стратегий [2—4].

Условие нахождения оптимальных значений запишем в виде

$$\begin{aligned} E[x_{yi}]_{x_{ii}^{opt}} - E[x_{yi}]_{x_{ii}^{opt-1}} - \theta C_i &\leq 0, \\ E[x_{yi}]_{x_{ii}^{opt}} - E[x_{yi}]_{x_{ii}^{opt+1}} - \theta C_i &> 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Выражение (5) приводится к виду [2—4]:

для стратегии 1 —

$$\bar{P}_{x_{ii}^{opt-1}} < 1 - \theta C_i I_{ii} < \bar{P}_{x_{ii}^{opt}} \quad (6)$$

для стратегии 2 —

$$\frac{1}{\frac{P_{x_{\text{нл}}^0-1}}{P_{x_{\text{нл}}^0-1}} - \frac{P_{x_{\text{нл}}}}{P_{x_{\text{нл}}}}} < \frac{1}{H} \frac{\Delta_i}{C_i} < \frac{1}{\frac{P_{x_{\text{нл}}}}{P_{x_{\text{нл}}^0}} - \frac{P_{x_{\text{нл}}+1}}{P_{x_{\text{нл}}+1}}} \quad (7)$$

для стратегии 3 —

$$\bar{P}_{x_{\text{нл}}^0-1} < 1 - H C_i t_{\text{пл}} \leq \bar{P}_{x_{\text{нл}}^0} \quad (8)$$

Здесь

$$\bar{P}_{x_{\text{нл}}^0} = \sum_{r=0}^{x_{\text{нл}}^0} \frac{a_i^r}{r!} e^{-a_i}, \quad (9)$$

$$P_{x_{\text{нл}}} = \frac{a_i^{x_{\text{нл}}}}{x_{\text{нл}}!} e^{-a_i}, \quad (10)$$

$$a_i = \begin{cases} \Delta_i t_{\text{пл}} & \text{для стратегии 1,} \\ \Delta_i t_{\text{пл}} & \text{для стратегии 2 и 3,} \end{cases} \quad (11)$$

$t_{\text{пл}}(i)$ — период планового пополнения (ремонта) i -го типа запасных частей и долгов i дня.

На основании проводимых выражений на рисунке построены номограммы для трех стратегий пополнения запаса. Для этого задавались значениями $x_{\text{нл}}$ и a_i , по которым с помощью табличных значений $P_{x_{\text{нл}}}(x_{\text{нл}}, a_i)$, $\bar{P}_{x_{\text{нл}}}(x_{\text{нл}}, a_i)$ и по выражениям (6) — (8) определялась величина $L_i = H K_i$, где

$$K_i = \begin{cases} C_i t_{\text{пл}} & \text{для стратегии 1,} \\ C_i \Delta_i & \text{для стратегии 2,} \\ C_i t_{\text{пл}} & \text{для стратегии 3.} \end{cases} \quad (12)$$

Каждой стратегии пополнения соответствует свое семейство кривых $L_i(x_{\text{нл}}, a_i)$ — граничных значений норматива запаса. Кривые делят координатную плоскость на зоны, а каждой зоне соответствует свое значение норматива запаса. Точки, расположенные на кривых могут быть отнесены к любой из примыкающих к данной кривой зон. Таким образом, зная величины L_i и a_i , определяется величина $x_{\text{нл}}^*$. Величину множителя 0 следует подобрать такой, чтобы в результате нахождения оптимального плана норматива запаса удовлетворялось заданное ограничение. Логарифмические шкалы K_i , 0 и L_i на рисунке построены таким образом, что дают возможность графически производить умножение на K_i . Определение оптимального норматива запаса производится в следующей последовательности.

1. По значениям C_i , Δ_i , $t_{\text{пл}}$ (стратегия 1) и $t_{\text{пл}}$ (стратегия 2 и 3) определяются соответствующие точки на шкалах K_i .

2. Отмечается одно произвольное значение множителя θ на шкале θ .

3. Через отмеченные точки шкал K_i и θ проводятся прямые до пересечения со шкалой L_i , через которые проводятся горизонтальные линии.

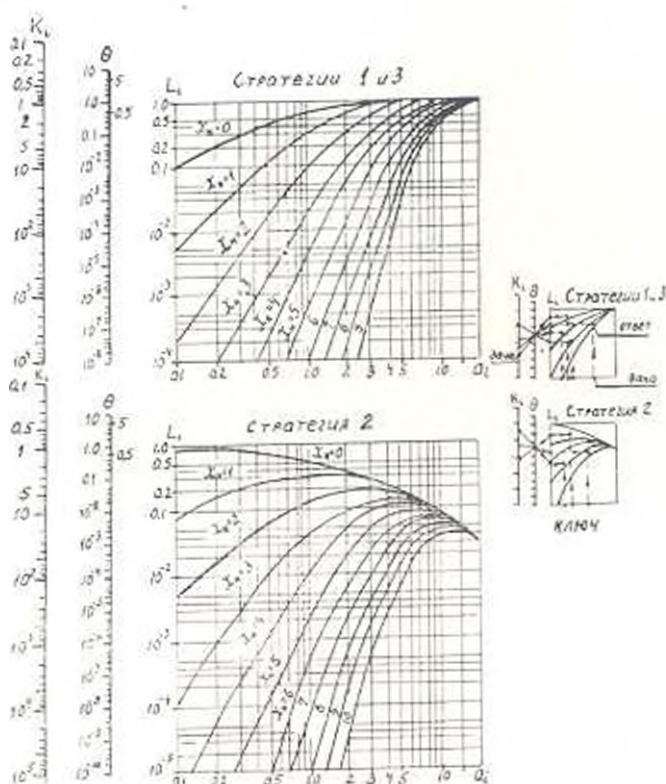


Рис. 1. Номограммы определения оптимального норматива запасных частей для трех стратегий пополнения запаса.

4. По формуле (11) определяются значения a_i , $\forall i$, которые отмечаются на оси абсцисс номограмм и через которые проводятся вертикали.

5. Точки пересечения горизонталей с соответствующими вертикалями указывают оптимальные значения x_{ii}^0 при заданном значении θ .

6. По известным x_{ii}^0 и C_i , $\forall i$ определяют стоимость норматива запаса C_n , значение которого сравнивается с C_0 . В случае $C_n < C_0$ значение θ уменьшается и, наоборот. Новому значению θ соответствует свой норматив запаса.

Путем последовательных итераций находится такое значение θ , которому соответствует удовлетворительное совпадение величин C_n и C_0 . С помощью этих же номограмм аналогичным образом может решаться обратная задача, в которой считается заданной величина $R_{гр}$ и требуется достичь минимальной стоимости норматива запаса.

1. Ушаков Н. А. Задачи оптимального резервирования.—М.: Знание, 1979.—94 с.
2. Сафаров Б. Е. Задачи управления запасными частями в централизованной системе технического обслуживания СВТ.—М.: Знание, 1986.—126 с.
3. Сафаров Б. Е. Номограммы оптимальных нормативов на запасные части при периодическом пополнении запасов региональных складов // Надежность и контроль качества, 1985.—№ 2—С. 3—10.
4. Сафаров Б. Е. Оптимальное нормирование непрерывно пополняемых запасных частей с помощью номограмм // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1986.—Т. XXXIX, № 5.—С. 30—34.
5. Оптимальные задачи надежности / Сб. пер. под ред. Н. А. Ушакова.—М.: Стандарты, 1968.—250 с.

АрмНИО ВТИ

3. VI. 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 1, 1989, с. 185—189.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62—50:658.5

В. В. ОВСЕЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРНЕВЫХ ГОДОГРАФОВ ЛИНЕЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ МСАР

Предлагается метод исследования асимптотических свойств корневых годографов линейных стационарных многосвязных систем автоматического регулирования (ЛСМСАР) квадратного типа на основании графоаналитического метода разложения алгебраических функции в степенной ряд в окрестности заданной точки с использованием диаграммы «Ньютона-Пуэнсо». Последуют асимптотические свойства корневых годографов и зависимости от общего для всех каналов коэффициента усиления обратной связи. Для применения метода необходимо ввести характеристическое уравнение замкнутой системы.

На 1. Библиогр.—3 назв.

Անալիզվում է պոլսի կայունության բաղադրատարրերի բազմապատկառ ափսոսանքային համակարգերի համակարգերի արևմտյան հարաբերակցի ափսոսանքային համակարգերի աստիճանական մեթոդով, որը հիմնված է նյուտոն-պուэнսոյի դիագրամների պատկերմանը հանրահապիտան հոնկեդիան արված կետի շրջակայքում ափսոսանքային շարքի վերլուծման վրա: Անալիզվում են արևմտյան հարաբերակցի ափսոսանքային համակարգերի կորիզային համակարգերի կայունության հարաբերակցի համար քիչ անոտ սովորական որոշակիք: Մեթոդի պատկերման համար անհրաժեշտ է սահմանափակ համակարգի բնութագրի համակարգման տեսքով:

При исследовании линейных стационарных многосвязных систем автоматического регулирования (ЛСМСАР) методом корневого годографа важно знать асимптотическое поведение этих годографов. Рассматриваются ЛСМСАР квадратного типа, в которых число входов-выходов одинаково и равно m (рис.). Указанный класс систем не охватывает всего многообразия встречающихся на практике МСАР. Однако, используя матричные преобразования, нетрудно привести большинство реально существующих ЛСМСАР к этому виду.

В отечественной литературе нет рекомендаций по исследованию асимптотических свойств корневых годографов ЛСМСАР. Из работ зарубежных авторов следует выделить [1, 2], в которых рассматриваются эти вопросы с позиций описания систем в пространстве состояний. В них используются матричные преобразования, параметры Маркова, что делает результаты этих работ громоздкими в вычислительном аспекте и менее практичными для инженеров-проектировщиков.

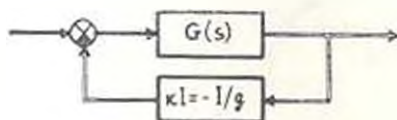


Рис. Структурная схема рассматриваемой ЛСМСАР.

В данной работе предлагается более простой метод исследования асимптотических свойств корневых годографов ЛСМСАР. Характеристическое уравнение рассматриваемой системы имеет вид

$$\Delta(g, s) = \det \|gI_n - G(s)\| = 0 \quad (1)$$

или

$$\Phi(g, s) = d(s) \cdot \Delta(g, s) = 0, \quad (2)$$

где $d(s)$ — наименьший общий знаменатель элементов матрицы передаточных функций $G(s)$, являющийся многочленом от s с рациональными коэффициентами; $\Phi(g, s)$ — многочлен степени n относительно s и степени m относительно g . В дальнейшем примем, что $\Phi(g, s)$ неприводим над полем рациональных функций от s .

Подставляя в (2) зависимость $g = -k^{-1}$, получаем

$$\Phi(-k^{-1}, s) = k^{-m} \chi(k, s) = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения $\chi(k, s) = 0$ относительно s для действительных положительных k определяет зависимость полюсов замкнутой системы от общего управляемого коэффициента усиления обратной связи k , т. е. корневых годографов системы. В общем случае этот годограф имеет n ветвей, если не существуют ветвей, состоящих из одной единственной точки.

Касательная к i -ой ветви годографа в точке $s_0 = s_i(k_0)$ представляет собой вектор $s'_i(k_0)$. Угол между этим вектором и положительной действительной осью определяется как

$$\varphi = \arg s'_i(k_0). \quad (4)$$

Выражение (4) является основой для определения асимптотического поведения корневых годографов, а также углов ухода из полюсов разомкнутой системы и углов прихода в конечные нули замкнутой системы. При $k = 0$ годограф начинается в полюсах разомкнутой системы, следовательно, угол ухода из полюса задается уравнением

(4) при $k_0 = 0$. При $k = +\infty$ ветви годографа заканчиваются в нулях системы. Поэтому для ветви, заканчивающейся в конечном нуле, уравнение (4) при $k_0 = +\infty$ дает угол прихода. Если ветвь стремится к нулю, то (4) при $k_0 = +\infty$ определяет угол между асимптотой и положительной действительной осью.

Формула (4) для практического применения неудобна, т. к. в общем случае трудно найти явное выражение для $s_i(k)$. Однако, в теории алгебраических функций существует метод практического построения рядов для ветвей алгебраической функции в окрестности заданной точки [3]. Метод предполагает последовательное применение диаграмм «Ньютона—Пуэнсо» для определения следующего наиболее существенного члена ряда. Поэтому, используя диаграмму Ньютона только один раз, можно получить приближения ветвей корневых годографов в окрестности полюса или нуля в виде

$$s_i(k) \simeq \alpha - \beta k^{\gamma}, \quad (5)$$

где α и β — комплексные числа, β — рациональное действительное число. Если β — дробная величина, то понимается арифметический корень от k .

Для системы с приемлемой обратной связью k есть действительная и положительная величина, поэтому

$$s_i(k) = b\beta k^{\gamma-1}, \quad (6)$$

В этом выражении $\beta k^{\gamma-1}$ всегда действительное. Применяя формулу (4) к уравнению (5), получаем

$$\varphi = \arg \beta' \pm \gamma \cdot 180^\circ, \quad (7)$$

где

$$\gamma = \begin{cases} 0, & \text{если } \beta > 0, \\ 1, & \text{если } \beta < 0. \end{cases}$$

Нашей целью является нахождение приближений для ветвей корневого годографа в виде (5) в окрестности полюсов и нулей системы. Предположим, что уравнение $\Phi(s, z) = 0$ имеет $\omega = 0$ в точке $z = 0$. Тогда, используя алгоритм, приведенный в [3], с помощью диаграмм Ньютона можно получить приближения для ветвей алгебраической функции в виде

$$s_{iH} \simeq c_{iH} z^{\frac{1}{N_H}}, \quad (8)$$

Поэтому для определения асимптотического поведения или углов ухода и прихода годографа требуется свести проблему к нахождению приближения ветвей алгебраической функции, которая стремится к нулю, когда независимая переменная стремится к нулю, путем изменения переменных в характеристическом уравнении (2).

1. Для определения асимптотического поведения корневых голографов необходимо получить приближения ветвей в точке $s = +\infty$, когда $k = +\infty$. Поэтому необходимо в (2) вместо s подставить $s = z^{-1}$

$$\Phi(g, s) = \Phi(g, z^{-1}) = z^{-n} \Psi(g, z) = 0. \quad (9)$$

К уравнению $\Psi(g, z) = 0$ можно применить диаграмму Ньютона, получить зависимости $z_H \approx c_H g^{-1/n}$ и далее, переходя к переменным $k = -g^{-1}$ и $s = z^{-1}$, получить окончательные приближения асимптот

$$s_H \approx b_H k^{1/n}.$$

2. Для определения угла ухода из полюса p необходимо в (2) подставить $g = -1$ и $z = s - p$

$$\Phi(g, s) = \Phi(-1, z + p) = w^{-n} \Psi(w, z) = 0.$$

После получения зависимостей $z_H \approx c_H w^{1/n}$ переходим к переменным $x = z + p$ и $k = -w$ и получаем

$$z_H = s_H - p \approx c_H (-k)^{1/n}$$

или

$$s_H \approx p + c_H (-k)^{1/n} = p + b_H k^{1/n}. \quad (10)$$

Применяя формулу (1) к выражению (10), получаем значение угла ухода из данного полюса (или угла при кратном полюсе).

3. Для определения угла прихода в нуль системы q необходимо в (2) подставить $z = k - q$

$$\Phi(g, s) = \Phi(g, z + q) = \Psi(g, z) = 0.$$

К уравнению $\Psi(g, z) = 0$ можно применить диаграмму Ньютона, получить зависимости $z_H \approx c_H g^{1/n}$ и далее, переходя к переменным $s = z + q$ и $k = -g^{-1}$, получить

$$z_H = s_H - q \approx c_H (-k^{-1})^{1/n}$$

или

$$s_H \approx q + b_H k^{1/n}. \quad (11)$$

Применяя формулу (1) к выражению (11), получаем значение угла прихода в данный нуль (или углов при кратном нуле).

4. Асимптоты часто группируются в круговые системы. Каждая круговая система асимптот имеет общую точку пересечения (точка расхождения эпюры асимптот). Найдем координаты этой точки. Рассмотрим уравнение

$$\gamma(k, s) = 0. \quad (12)$$

Допустим, что нашли приближение ветви корневого голографа при $z = -\infty$ (когда $k = -\infty$) в виде $s = bk^*$.

Если комплексное число γ есть точка расхождения звезды асимптот, то для $k = -\infty$

$$s \approx \gamma = bk^*, \quad (13)$$

Совместно решая (12) и (13), получаем выражение

$$U\left(\left(\frac{s}{b}\right)^{1/k}, s\right) = U(\gamma, s) = 0. \quad (14)$$

Так как требуется найти γ при $z = -\infty$, то, подставляя z^{-1} вместо z в (14), получаем

$$U(\gamma, s) = U(\gamma, z^{-1}) = z^{-l} V(\gamma, z) = 0, \quad (15)$$

где l — максимальный порядок z в $U(\gamma, s)$.

Уравнение $V(\gamma, 0) = 0$ дает значение γ для звезды асимптот.

На основании вышеизложенного составлены алгоритмы и программы на языке ФОРТРАН, реализующие построение и исследование асимптотических свойств ЛСМСАР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оверс Г. H. Dynamic transformation and the calculation of multivariable root-loci. Int. J. Control. — 1978. — V. 28, № 3. — P. 333—343.
2. Kouvaritakis B. The optimal root-loci of linear multivariable systems. Int. J. Control. — 1978. — V. 28, No. 1. — P. 3—62.
3. Б. А. Фикс и В. И. Леви. Функции комплексного переменного и некоторые их приложения.—М.—Л.: Гос. изд-во техн.—теорет. лит., 1951—308 с.

ЕрПН им. К. Маркса

28. V. 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 4, 1989, с. 189—193

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 631.31:620.171.5

Г. А. АБГАРЯН, В. В. АЛЕКСАНДРЯН, Ш. М. ГРИГОРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО РЕЖИМА РАБОЧЕГО ОРГАНА РЫХЛИТЕЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Приводятся данные экспериментального исследования характера силового режима рабочего органа рыхлителя с помощью пластины из оптически активного материала. На основе кривых распределения нормальных напряжений получена траектория центральной линии рабочего органа рыхлителя в ограниченной плоскости.

Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

Քերվում են փրկարարների բանվորական օրգանի ուժային բնույթի փորձարարական հետազոտման արդյունքները օպտիկական նյութից պատրաստված թիթեղի միջոցով՝ նորմալ լարումների բաշխման կորի հիման վրա ստացված և և ընդ որ առանցքի հետագծերը փխրեցողի բանվորական օրգանի վերջավոր հարթության մեջ:

Целью эксперимента является изучение распределения напряженного состояния в плоскости пластины из оптически-активного материала при заданных условиях силового воздействия в плоскости. Нагрузочный режим на рабочий орган рыхлителя в совокупности состоит из нагрузок на стойку рабочего органа и в узле крепления. На плоской пластине, имеющей размеры $0,3 \times 20 \times 25$ см, накладывалась модель рыхлителя РН-80Б. После разметки координат зон нагружения лапы рыхлителя, крепления и упора по контуру лапы рабочего органа имитируется способ крепления, изложенный в [1]. На рис. 1 показана схема нагружения. Пластина 1 с помощью элементов 3 и 4 крепится к раме нагрузочного устройства 2, а элементом 5 осуществляется нагружение пластины. Величина силы F_1 равна 4 Н, F_2 —12 Н, а режим нагружения соответствует изложенному в [2].

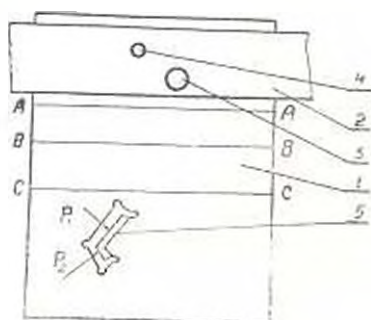


Рис. 1. Схема нагружения пластины из оптически активного материала.

Пластина в нагруженном состоянии помещалась в специальный термостат, где при температуре 120°C производилось замораживание картины полос (пизохром). Экспонирование картины полос производилось на поляризационно-проекторной установке ППУ-7.

Моделью, в плоскости оптически активной пластины, в единой оптической системе, соответствующей геометрии рабочего органа рыхлителя РН-80Б и его креплению с помощью упругого звена, представляется статически нагруженное состояние, имитирующее рабочий режим (рис. 2). В картине изохром выделяются три зоны.

I—зона полей распределения напряжений в области двух отверстий, которая отображает возникающие нагрузки в зоне крепления пластины к нагрузочному устройству. Естественно, что картина напряженного состояния для такого способа крепления зависит от приложенной нагрузки.

II—зона нагружения. На картине полос (пизохром) она выделяется светлым оттенком.

III—промежуточная зона, где силовые линии должны соединять зону нагружения с зоной крепления. Допуская, что крепление пластины производится на абсолютно жестком упоре, получаем систему действующих и реактивных сил, которые на картине полос выделяются светлым оттенком.



Рис. 2. Картина плесени (fungorum) в пластине.

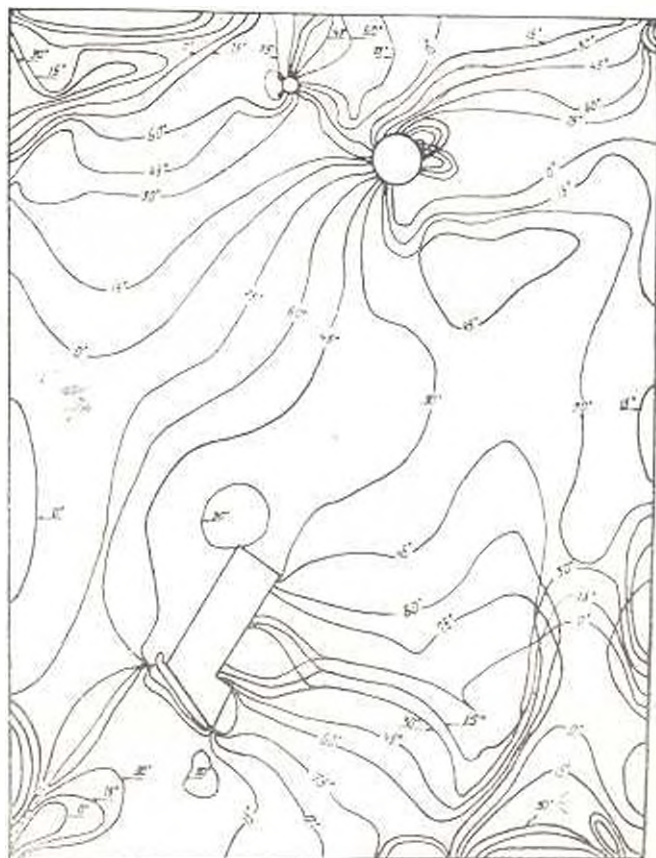


Рис. 3. Картина плесени в пластине.

Произведена зарисовка картин изоклин с интервалом в 15° (рис. 3). Определение разностей главных напряжений и их направлений проводилось с помощью колпесатора СКК-2 на координатно-синхронном поляриметре КСП-5. Разделение напряжений производилось методом разности касательных напряжений [3] и построены кривые распределения напряжений σ_n по сечениям, указанным на рис. 1. Коэффициент оптической постоянной при построении кривых не учитывался, ввиду того, что в дальнейшем производится лишь качественный анализ. Как видно (рис. 4), нормальные напряжения σ_n в определенных точках пластины приравниваются нулю. Эти точки лежат в промежуточной зоне и по ним, пренебрегая величинами касательных τ_{xy} и нормальных напряжений σ_x , ввиду их незначительности можно провести нейтральную линию, угол наклона которой получится приблизительно равным 75° относительно горизонтальной плоскости.



Рис. 4. Кривые распределения нормальных напряжений σ в сечениях. 1 — А-А; 2 — В-В; 3 — С-С.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Александрян К. В. Приращение вибраций при глубоком рыхлении уплотненных коменистых почв // Механизация и электрофикация социалистического сельского хозяйства. — 1963. — № 3. — С. 49—50.

3. Фрихт М. М. Фотоиригаторность—Т. I М—Л.: ОГИЗ, 1948.—132

Армсдлхоз, шислхл

10 JUL 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ГН), т. XLII, № 4, 1989, с. 193—195

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

YUK 621.391

А. А. ЦЕТРОСЯН

ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ЗОНАЛЬНОГО ОТБОРА ПРИ СЖАТИИ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАРТЛИ

Исследуется задача отыскания оптимального способа зонального отбора при наличии вектора данных из определенного класса τ помощью дискретного преобразования Хартли, являющегося вещественным аналогом дискретного преобразования Фурье. Приводятся оценки, на основании которых устанавливается, что оптимальным по рассматриваемому классу некоторым методом зонального отбора с применением дискретного преобразования Хартли является замена нулями центральных компонент спектрального вектора.

Ил. 1. Библаногр.: 4 н.з.п.

Անադապտում է զանազան բնաբաղնյակ բաժանորդան կրթական որակյալ խնդիրը Դուրյակ
ընդունու Դեպարտամենթան իրական թվային նմանակ Դեպարտամենթան ընդունու Դեպարտամենթան
թվային մեթոդով թրոսունի զանա ապակներին վեկտորը մեթոդով Դուրյակ է գնումնառական. որի
Դեպարտամենթան է, որ վեկտորներին դիտարկվող զանա Դեպարտամենթան ընդունու
Դեպարտամենթան Դեպարտամենթան զանապան բնաբաղնյակ բաժանորդան ընդունու Դեպարտամենթան
ապակներին վեկտորին հեկտորներին Դեպարտամենթան որակյալ խնդիրը Դուրյակ է Դեպարտամենթան

Задача сжатия данных в настоящее время приобретает все большую актуальность в связи с необходимостью передачи или хранения все возрастающих потоков информации при решении различного рода прикладных задач. При этом, благодаря растущим возможностям современных ЭВМ все более широкое применение в задаче сжатия, как и в других процессах цифровой обработки сигналов (фильтрация, распознавание образов и др.), находят дискретные ортогональные преобразования (ДОП). Метод зонального отбора при сжатии информации посредством ДОП Ф, задаваемого невырожденной $N \times N$ -матрицей, заключается в следующем [1]. Вектор y , полученный преобразованием вектора исходных данных x размерности N посредством Ф, снижается путем замены части координат y нулями с коэффициентом сжатия $k = |y|/|y_1|$, где $|y|$ — размерность полученного вектора (число его ненулевых координат). Задача состоит в отыскании оптимального способа зонального отбора при заданном k , т. е. такого выбора заменяемых нулями координат y , который га-

раптирует минимум среднеквадратической ошибки восстановления $\epsilon = \rho(\bar{x}, \hat{x})$, где $\hat{x} = \Phi^{-1}y$. Указанная задача исследована в [2] для дискретного преобразования Фурье (ДПФ) и класса векторов с действительными компонентами

$$X_1 = \{x = (x_0, x_1, \dots, x_{N-1}) : \max_{k=0, N-1} |x_{k+1} - x_k| \leq \Delta\}.$$

В настоящей заметке приводится оценка, на основании которой определяется оптимальный метод зонального отбора при сжатии вектора данных из X_1 с помощью дискретного преобразования Харгиса (ДПХ), являющегося вещественным аналогом ДПФ [3]. В последнее время интерес к ДПХ существенно возрос в связи с тем, что в отличие от ДПФ, имеющего действительную и мнимую части, матрица ДПХ

$$\Phi = \left\| \frac{1}{\sqrt{N}} \left[\cos\left(\frac{2\pi kj}{N}\right) + \sin\left(\frac{2\pi kj}{N}\right) \right] \right\|_{k,j=0, N-1}$$

вещественна и совпадает с матрицей Φ^{-1} обратного ДПХ. Кроме того, как показано в [4], применение БПХ вместо БПФ (быстрых алгоритмов преобразований) при дискретной обработке сигналов позволяет не только повысить быстродействие, но и увеличить точность вычислений.

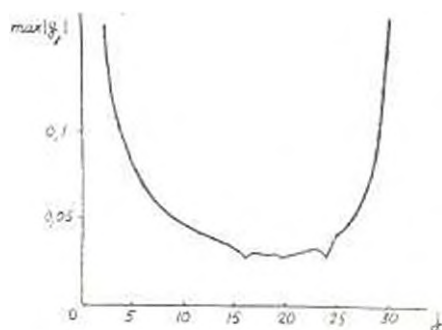


Рис.

Утверждение. Пусть Φ — матрица ДПХ, $y = \Phi x = (y_0, y_1, \dots, y_{N-1})$.

Тогда

$$\max_{x \in X_1} |y_j| = \frac{\Delta}{\sin \frac{\pi j}{N}} \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{m=0}^{N-j} \left| \sin \frac{m\pi j}{N} \cos \left| (m-1) \frac{\pi j}{N} - \frac{\pi}{4} \right| \right|. \quad (1)$$

$$j = \overline{1, N-1}$$

Замечание 1. Соотношение (1) дает неулучшаемую на классе X_1 оценку сверху величин $|y_j|$, $j = \overline{1, N-1}$ с применением ДПХ.

Замечание 2. Применяя к сумме, стоящей в правой части (1), неравенство Коши-Буняковского, после упрощений приходим к следующей оценке:

$$|y_j| = \frac{\Delta \sqrt{\frac{N}{2}}}{\sin \frac{\pi j}{N}}, \quad j = \overline{1, N-1}, \quad \bar{x} \in X_1,$$

из которой следует, что оптимальным по классу X_1 методом зонального отбора с применением ДПХ является замена нулями центральных координат вектора y .

В ВЦ АН АрмССР и БрГУ проведен численный эксперимент на ЭВМ СМ-4 по расчету верхних границ абсолютных значений y_j , $j = \overline{1, N-1}$, на классе X_1 , $\Delta = 0,01$ с применением ДПХ для различных порядков $N = 2^k$. На рисунке представлена указанная зависимость для случая $N = 32$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ахриуг, X. Передача информации ортогональными функциями.—М.: Связь, 1975.—272 с.
2. Давидов, А. В. Об аппроксимативных свойствах дискретных преобразований Фурье // Сб. науч. тр. МИЭТ.—М.: Изд-во МИЭТ.—1980.—С. 33—45.
3. Давидов, А. В. Быстрое преобразование Хартли // ТИИЭР.—1984.—Т. 72, № 8.—С. 19—27.
4. Давидов, А. В. Быстрый алгоритм интерполяции на базе быстрого преобразования Хартли // ТИИЭР.—1987.—Т. 75, № 1.—С. 106—108.

ВЦ АН АрмССР

13. IV. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН) т. XLII, № 4, 1989, с. 195—198

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 619.431.668.3

Д. Э. ДАВИДЯН, И. А. ДОМБАЕВА, А. С. ХАЧИКЯН, Р. А. ШИРИНЯН

О ВЛИЯНИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КРАЕВ ПОВЕРХНОСТИ СТЫКА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены вопросы методики определения прочности соединений из разнородных материалов при циклическом нагружении. Исследовано влияние малонапряженного и концентраторного напряженного состояния на крае поверхности стыка на сопротивление усталости соединения алюминиевого сплава с эпоксидным компаундом. Напряженное состояние измерялось геометрией соединения. Обнаружено двукратное увеличение амплитуды напряжения при том же предельном количестве циклов для малонапряженного края поверхности стыка по сравнению с концентраторным напряженным состоянием.

Илл. 2. Библиогр. 5 назв.

Դիտարկվում են ապրանքի հյուսիսը կազմված միացության ամրության որոշման մեթոդիկայի հարցերը քիմիային բևեռավորման դեպքում:

Ուսումնասիրված է այլումինի համալուրջվածքից և էպոքսիդային կոմպոզիցիոն կազմված միացության համան մակերևույթի եզրում թերթավածային և լարումների կոտակման վիճակների ազդեցությունը իզոտոպային ամրության վրա: Լարվածային վիճակը փոփոխվել է կախված միացության երկրաչափությունից: Ցիկլերի նույն սահմանային քանակի դեպքում միացման մակերևույթի թերթավում եզրի նստար լարումների կոտակման վիճակը համեմատությամբ դիտարկվել է լարումների ամպլիտուդի կրկնակի ուժ:

Исследование характера напряженного состояния в окрестности стыка разнородных материалов, соединенных в одно тело разными способами (склеивание, пайка, сварка), показало его зависимость от геометрических характеристик стыка и упругих свойств соединяемых материалов [1]. Обнаруженное К. С. Чобаняном явление малонапряженности [2] наметило пути целенаправленной вариации характеристик стыка [3, 4] для обеспечения более благоприятного распределения напряжений с целью повышения прочности соединений.

Определение характеристик сопротивления усталости деталей из разнородных материалов представляет дополнительные методические трудности по сравнению с определением аналогичных характеристик для деталей с обычными концентраторами по результатам опытов на образцах согласно ГОСТ 25.504—82. В рассматриваемом случае дополнительные затруднения возникают вследствие одновременного воздействия на процесс разрушения геометрии и физико-химических свойств окрестности поверхности соединения.

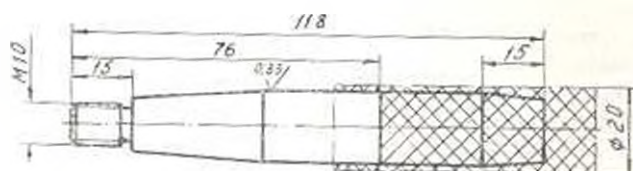
В соединениях из разных материалов, как правило, однородное напряженное состояние не имеет места. Около краев поверхности контакта обнаруживается малонапряженное состояние или же сильная концентрация напряжений [2], т. е. решения по линейной теории упругости определяют в этой окрестности бесконечные напряжения. Однако, и в случае малонапряженного состояния на крае поверхности контакта имеет место неравномерное распределение напряжений, а теоретический коэффициент концентрации зависит от геометрии всей поверхности контакта, формы соединяемых частей деталей и вида внешней нагрузки. В общем случае этот обычный концентратор на гладкой внутренней поверхности соединения невозможно устранить, что затрудняет исследование влияния технологии соединения на прочность детали.

Разнообразие факторов, влияющих на сопротивление усталости соединения, и почти полное отсутствие экспериментальных результатов исключает пока феноменологическое описание процесса усталости соединений из разнородных материалов. В соответствии с вышеизложенным предлагается классификация стыков по виду напряженного состояния, обеспечиваемому геометрией соединения, при одинаковых нагружениях (сгиб, растяжение-сжатие, кручение и т. д.), физико-механических свойствах соединяемых материалов и технологии осуществления соединения. В области сильной концентрации влияние степени особенности исследуется изменением углов между касатель-

ными к внешним поверхностям и поверхности соединения около края поверхности соединения. В области малонапряженности влияние порядка стремления к нулю напряжений исследуется изменением тех же углов. В обоих случаях влияние величины зоны сильной концентрации или малонапряженности исследуется изменением внешней геометрии соединения в соответствии с выводами [5].

В области малонапряженного состояния влияние внутренней концентрации напряжений исследуется изменением геометрии поверхности соединения при постоянных углах на крае поверхности соединения между касательными к поверхности соединения и к внешней поверхности образца. При этом показателем геометрии поверхности соединения является теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Тип 1



Тип 2

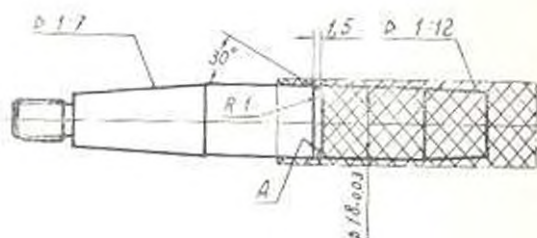


Рис. 1 Образцы для испытаний на усталость при изгибе с вращением: тип 1—концентрационное напряженное состояние на крае поверхности соединения, тип 2—малонапряженное состояние на крае поверхности соединения.

Были проведены эксперименты на соединениях из алюминевого сплава Д16АТ с эпоксидным компаундом (ЭД20—100 в. ч., ПЭПА—10 в. ч., ДБФ—10 в. ч.), при изгибе с вращением на машине УКИ-600-2. Частота циклов нагрузки составляла 3000 об/мин. Технология изготовления образцов и приспособления описаны в [4].

Были испытаны два типа образцов: с малонапряженным и концентрационным напряженным состояниями около краев поверхностей контакта. Форма и размеры образцов показаны на рис. 1. Протягательно определялась также прочность образцов обоих типов при статических изгибающих нагрузках по той же схеме нагружения. Для образцов первого типа медленное значение разрушающих максималь-

вых нормальных напряжений составило 20 МПа, и второго типа— 80 МПа.

Результаты испытаний при периодическом нагружении представлены на рис. 2 в полулогарифмических координатах. Образцы второго типа выдерживают то же количество циклов при амплитудах напряжений примерно в два раза больших, чем образцы первого типа. Несмотря на обычный разброс экспериментальных точек, в обоих случаях это соотношение устойчиво.

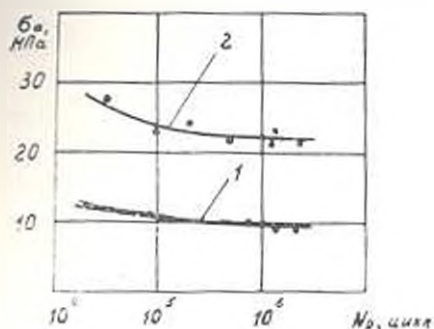


Рис. 2. Кривые усталости соединений разнородных материалов (1164Т—эпоксидный компаунд) с концентрационным напряженным состоянием (1) и малоанпряженным (2).

Подобие кривых усталости для образцов обоих типов и умеренный разброс экспериментальных данных показывают, что примененная методика эксперимента и экспериментальная установка могут быть применены для детальных исследований соединений с целью определения оптимальной геометрии

соединения и определения влияния других факторов на предел выносливости этих соединений.

Разрушение образцов первого типа начиналось с краев адгезии и проходило затем когезионно по эпоксидному компаунду. Разрушение образцов второго типа начиналось с внутреннего концентратора (точка А, рис. 1) адгезионно и затем в основном когезионно по эпоксидному компаунду. Характер разрушения для обоих типов образцов устойчивый.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарь Л. Действие поверхностных нагрузок на систему из двух соединенных между собой нагнетен упругих клиньев, изготовленных из различных материалов и имеющих произвольные углы раствора // Прикладная механика.—1971— № 2.—С. 87—96.
2. Чобаненко К. С. Явление малоанпряженности края поверхности контакта нагруженного тела. Открытие № 102. Открытия. Изобр. Пром. образцы. Товарн. знаки. 1971, № 36.
3. Денисюк Д. Б., Овчаренко А. Г. Исследование влияния конструкции концов металлосварных соединений на их прочность // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1974.— № 2.—С. 40—45.
4. Денисюк Д. Б., Довговерт Н. А. Исследование явления малоанпряженности стыковых соединений металлов с эпоксидным компаундом // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1981.— № 2.—С. 8—14.
5. Зенкевич А. С., Ширинян Р. А. Об устойчивости малоанпряженного состояния к некоторым геометрическим дефектам // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1983.— № 2.—С. 49—52.

УДК 621.313.333

Ж. Т. ОГАНЕСЯН

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ЗАЛИВКИ СТЕРЖНЕЙ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Приводится статистический анализ дефектов стержней короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей мощностью до 3 кВт. Приводятся вероятности возникновения дефектов определенных типов, анализируются причины и закономерности появления дефектов.

Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

Մեր գործը կ'առնի իր անհրաժեշտությունը հայրենիքի և մեր հայրենիքի արտադրության վերականգնման գործում: Միաժամանակ զուգընթաց է ստիպված աշխատել որպես տեխնիկական օգնություն և վերականգնման նախագծերի և օրինակների և օրինակների:

Короткозамкнутые клетки роторов асинхронных двигателей малой и средней мощности изготавливаются, в основном, путем литья под давлением. Этот высокопроизводительный метод обладает в то же время недостатком: относительно велика вероятность обрыва или недоливки стержней и короткозамыкающих колец. Известно, что эти дефекты зависят от длины ротора, сечения и конфигурации пазов, а также показателей технологического процесса.

Таблица 1

Количественное распределение условных дефектов в роторах различных типов

Кол-во роторов с дефектами и вероятности	Тип двигателя					
	1A80A2	4A80A4	4A80A6	4A80B2	4A80B4	4A80B6
N_1	40	30	41	62	20	22
P_1	0,029	0,018	0,080	0,042	0,014	0,016
N_2	53	58	4	56	42	39
P_2	0,039	0,044	0,033	0,038	0,028	0,028
N_3	24	60	38	22	61	45
P_3	0,017	0,036	0,029	0,015	0,041	0,132
N_4	8	24	13	5	41	39
P_4	0,0057	0,011	0,0097	0,0034	0,028	0,028
N_5	2	14	4	—	32	20
P_5	0,0014	0,0183	0,003	0	0,022	0,014
N_6	3	8	1	—	11	7
P_6	0,0021	0,0048	0,00074	0	0,0095	0,0051
N_7	4	1	—	1	5	1
P_7	0,0029	0,00059	0	0,00069	0,0034	0,0029
N_8	—	2	4	2	—	2
P_8	0	0,0012	0,003	0,0014	0	0,0014
N_9	—	5	3	—	7	5
P_9	0	0,003	0,0022	0,0021	0,0047	0,0036

В статье приводится статистический анализ материалов по обследованию роторов асинхронных двигателей мощностью не более 1 кВт. Расплавленный алюминий при заливке в литейную машину имел температуру (680–700)°С, давление его при прессовании составляло (30–45) МПа. Из большой партии роторов двигателей серии 1 А с одной и той же высотой оси вращения было выявлено 1020 роторов, имеющих дефекты заливки стержней. На каждом роторе учитывалось как количество дефектных стержней, так и их пространственное расположение. С целью одновременного учета количественного и пространственного факторов за число дефектов принималось их наименьшее количество стержней, которое размещалось в секторе ротора, ограниченном двумя крайними дефектными стержнями. В табл. 1 приведены данные, закодированные указанным образом, для роторов двух-, трех-, четырех- и шестиполустных двигателей первой (А) и второй (В) группы. Наиболее вероятно появление одного и двух дефектных стержней, расположенных рядом, а также двух дефектных стержней, между которыми расположен один целый, либо один дефектный стержень.

Эмпирическая вероятность появления того или иного количества дефектов в роторе данной группы, учитывая довольно большой объем выборки, может быть оценена по [1]. Центр распределения Пуассона для группы дефектных роторов определено по выражению

$$m = \frac{\sum N_i (i-1)}{\sum N_i} \quad (1)$$

где n — максимальное число дефектов в одном роторе данной группы, N_i — число роторов с i дефектами.

В предположении, что распределение подчиняется закону Пуассона, ожидаемое число роторов с i дефектами будет равно

$$E_i = \left(\sum_{i=1}^n N_i \right) m^{i-1} e^{-m} (i-1)!. \quad (2)$$

Проверка достоверности гипотезы о пуассоновском распределении производится с помощью критерия соответствия χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n (N_i - E_i)^2 / E_i \quad (3)$$

значение которого сравнивается с критической величиной χ^2_{α} [2] для заданной надежности вывода P и при числе степеней свободы $n_0 - 1$, где n — число дефектов, после которого E_i обращается в нуль.

В табл. 2 приведены рассчитанные для всех групп роторов значения χ^2 , граничные числа дефектов N_{gr} , в пределах которых имеет место пуассоновское распределение, а также соответствующие величины N_{gr} , значения χ^2_{α} и центры распределения m . В большинстве случаев первоначальное распределение дефектов не соответствует пуассоновскому, т. е. не является случайным. Однако, если последовательно исключать из рассмотрения роторы с наибольшими количе-

ствами дефектов, то обнаруживается, что ниже некоторого определенного числа дефектов M их распределение начинает соответствовать распределению Пуассона. Среднее по всем типам роторов граничное число дефектов оказывается приблизительно равным 6.

Таблица 2

Параметр	Тип ротора					
	A2	A1	A6	B2	B1	B0
γ	40,7	44,3	24,7	33,8	8,2	15,4
$\bar{L}_{\text{вн}}$	9,5	14,1	11,1	9,5	14,1	14,1
$\rho_{\text{вн}}$	5	7	6	5	8	8
$\bar{L}_{\text{вн}}$	1,4	4,9	8,6	1,6	4,3	2,9
$\sigma_{\text{вн}}$	1,1	1,8	1,6	0,8	2,4	2,2

Таким образом, на основании проведенного анализа можно заключить, что для используемых в настоящее время литейных машин и при существующей технологии изготовления роторов возникновение дефектов при заливке в количестве до 5—8 (в среднем 6), носит случайный характер. Появление же большого числа дефектов свидетельствует либо о сбоях в работе литейной машины, либо о других нарушениях технологического процесса.

Результаты промышленного внедрения устройства типа УККР на ПО «Армэлектродвигатель» позволили исключить поступление на сборку двигателей роторов со скрытыми дефектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Румянский Л. З. Элементы теории вероятностей, Л.—Наука, 1976.—239 с.
2. Румянский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справ. рук. М.—Наука, 1978.—192 с.

Ершн им. К. Маркса

10. XII, 1987

Изв. АН АрмССР (сер. III), т. XI, II, № 1, 1989, с. 201—204.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 68-3.013.4

Г. А. АЛЕКСАНИН, Г. Л. КАПТАРДЖИАН, А. М. МИРЗОЯН

САМОНАСТРАНВАЮЩИЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС, ОРГАНИЗУЮЩИЙ СОВМЕСТНУЮ РАБОТУ ОССД «ЭЛЕКТРОНИКА 8201» И МИКРО-ЭВМ

Наличие несоответствия микро-ЭВМ и оптоволоконных систем сбора и распределения данных (ОССД) по быстродействию препятствует широкому внедрению ОССД в практику. Разработанный программный интерфейс на основе самонастраи-

вания, путем синхронизации начальных моментов опроса каналов и определения оптимальных временных задержек исключает потери информации. Практическая установка не менее двух оптимальных значений параметра для каждого случайного состояния выхода ОССД обеспечивает высокую надежность работы программного интерфейса.

Ил. 1 Библиогр.: 2 назв.

ժամանակակից միկրո-էլէկտրոնային և ինֆորմացիայի լավարարման և դասակարգման օպտիմալիզացիան լավարարգրելի անհամապատասխանությունները բառի արտադրությունների խոչընդոտում է նրանց լայն կիրառմանը պրակտիկայում:

Այսպիսով արագության ինտերֆեյսը իր աշխատանքի ընթացքում ապահովելով կապուղիների հարցման սկզբնական մոմենտների համամասնակցումը, ինքնակարգավորման սկզբունքով որոշում է համապատասխան ժամանակային կոնցուցումների լավագույն արժեքները, որոնք բացառում են ինֆորմացիայի կորուստը: Արագության ինտերֆեյսի դործնական փորձարկումը ջույք սովոր, որ օպտիմալիզացիան լավարարգրելի էրի դանկացած պատահական վիճակի համար պայմաններում ունեն $T_{\text{ср}} \cdot j$ — երկրի և սովորի լավագույն արժեքները, որոնք ապահովում են ինտերֆեյսի ֆունկցիոնալ աշխատանքը:

По сравнению с традиционными устройствами типа АЦПМ (аналого-цифровой преобразователь, многоканальный) и ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь), устройства ОССД (опто-волоконная система сбора данных) обладают рядом преимуществ, основными из которых являются: надежность, помехозащищенность, обеспечение многоканальной связи на большие расстояния (до 1 км) и высокого быстродействия [1]. Основные недостатки ОССД, препятствующие широкому внедрению их в практику — это ограниченное количество используемых каналов (не более 16) и несовершенство по быстродействию ОССД и микро-ЭВМ. Причем, если увеличение количества каналов в устройстве ОССД достигается его техническим совершенствованием, то несовершенство по быстродействию можно устранить созданием соответствующего согласующего программного интерфейса.

В настоящей статье разрабатывается программный интерфейс, согласующий работу ОССД и микро-ЭВМ. Так как устройство ОССД поддерживает значение канала на выходе в течение 5 мкс, а самая простая команда опроса для микро-ЭВМ выполняется за время $t > 5$ мкс, то последовательный опрос каналов приводит к циклическому обращению к одним и тем же N каналам ($N < 16$). В зависимости от начального момента опроса в лучшем случае опрашиваются каналы либо с четными, либо нечетными номерами. Для устранения указанной несогласованности необходимо обеспечить: а) синхронизацию начального момента опроса каналов; б) организацию соответствующих временных задержек между опросами отдельных каналов.

В разработанном программном интерфейсе для синхронизации начального момента опроса каналов используются синхронимпульсы блока «Таймер» с периодом $T_{\text{тайм}}$. Так как время опроса всех каналов устройства ОССД составляет $T_{\text{ОССД}}$ и оба устройства работают независимо друг от друга, то через каждые $n = \left\lceil \frac{T_{\text{тайм}}}{T_{\text{ОССД}}} \right\rceil$ циклов различные синхронимпульсы совпадает с одним и тем же случайным состоя-

нием выхода ОССД. При этом в зависимости от последовательности включения ОССД и блока «Таймер», а также временной задержки указанные случайные состояния выхода ОССД могут быть разными. Временная диаграмма совпадения синхрипульсов со случайными состояниями произвольного канала с точностью до 1 мкс приведена на рисунке.

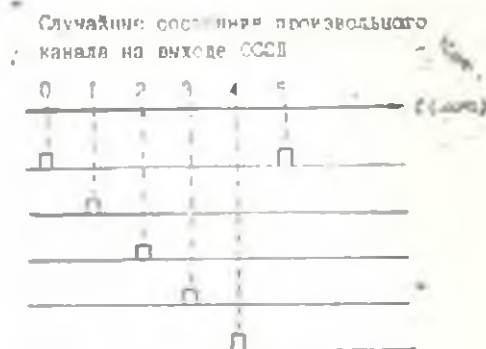


Рис.

Используемые синхрипульсы с одинаковой вероятностью могут совпадать с одним из пяти состояний выхода ОССД, однако определение состояния выхода, с которым совпадает синхрипульс, не представляется возможным. Для преодоления указанной неопределенности введем в программу-интерфейс регулируемый параметр $T_{из}$ начальной задержки до первого опроса. Программа, анализируя результаты работы, устанавливает соответствующие признаки, согласно которым автоматически изменяет значение $T_{из}$. Предусмотрено пять признаков ($j=1, \dots, 5$) и в зависимости от того, с каким состоянием совпал синхрипульс, $T_{из}$ изменяется согласно алгоритму

$$T_{из/i} = T_{из} + ti, \quad (1)$$

где $T_{из}$ — начальная задержка при совпадении синхрипульса с нулевым состоянием, $t=1$ мкс, $i=0, 1, \dots, 4$ — номер состояния произвольного канала на выходе ОССД. Условием установки признака принимается повторяемость канала в течение одного цикла опроса.

Кроме рассмотренных задержек (1) в программу введены также временные задержки: $T_{12} = 10,8$ мкс — между опросами двух различных каналов, $T_{22} = 20,8$ мкс, $T_{23} = 6$ мкс — после опроса четырех и восьми различных каналов. Время одного цикла опроса определяется формулой

$$T_{\text{цикл}} = 16T_{12} + 32T_{22} + 2T_{23} + T_{из} + T_{опр}, \quad (2)$$

где $T_{\text{цикл}} = T_{из} + T_{опр}$, $T_{опр}$ — время выполнения команды опроса канала с выхода ОССД, $T_{ист}$, $T_{пр}$ — время определения источника и приемника, $T_{опр}$ — время выполнения операции опроса.

Процесс самонастраивания программы-интерфейса реализующего (1) и (2), заканчивается, когда в течении одного цикла опрашиваются

все 16 различных каналов. При этом, естественно, требование выполнения условия

$$T_{\text{н}} < T_{\text{сн}} \quad (3)$$

обеспечивающего окончание цикла опроса до появления следующего синхронимпульса. В противном случае имеет место как потеря циклов опроса, так и неправильный счет реального времени, поскольку в общей шине не предусмотрено решение конфликта двух равноприоритетных прерываний.

Практическая реализация разработанного интерфейса производилась на микро-ЭВМ. «Электроника—60 М». Период синхронимпульсов блока «Гаймер» указанной микро-ЭВМ составляет 2000 мкс, время выполнения команды опроса типа MOV_W и АДР, УСТ, (Rn)T_W (W# = АДР) УСТ—адрес устройства интерфейса параллельного обмена И2, Rn—адрес соответствующего регистра общего назначения [10]

составляет 9,2 мкс, так что через каждые $n = \left\lfloor \frac{T_{\text{сн}}}{T_{\text{осл}}} \right\rfloor = 25$ циклов

происходило совпадение синхронимпульсов с одним из пяти случайных состояний выхода произвольного канала. Дальнейший опрос приводил к циклическому обращению к одним и тем же каналам, поскольку $T_{\text{осл}} > 5$ мкс. В процессе автоматического самонастраивания программы-интерфейса были получены следующие оптимальные значения параметра $T_{\text{осл}}$, $i = 0$ (имеет место совпадение синхронимпульса с нулевым состоянием выхода ОУСЧ₀)— $T_{\text{осл}0} \approx 75,6$ мкс, $T_{\text{осл}0} \approx 83,6$ мкс,

$$i = 1 - T_{\text{осл}1} \approx 34,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}1} \approx 48,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}1} \approx 90,6 \text{ мкс};$$

$$i = 2 - T_{\text{осл}2} \approx 35,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}2} \approx 49,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}2} \approx 63,6 \text{ мкс};$$

$$i = 3 - T_{\text{осл}3} \approx 36,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}3} \approx 50,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}3} \approx 64,6 \text{ мкс},$$

$$T_{\text{осл}3} \approx 78,6 \text{ мкс};$$

$$i = 4 - T_{\text{осл}4} \approx 65,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}4} \approx 79,6 \text{ мкс}, T_{\text{осл}4} \approx 93,6 \text{ мкс}.$$

При этом максимальное значение $T_{\text{осл}}$, соответствующее временной задержке $T_{\text{осл}4} \approx 93,6$ мкс, равно 118 мкс и удовлетворяет соотношению (3).

Наличие не менее двух оптимальных значений параметра $T_{\text{осл}}$ для каждого случайного состояния выхода ОУСЧ, обеспечивает надежность работы программы-интерфейса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство сбора аналоговых данных «Электроника МС 8201»: Техническое описание. Воронеж, 1981.—20 с.
2. Центральный процессор М2. «Электроника 60 М»: Техническое описание и инструкция по эксплуатации 3.858.382 ГО.—Воронеж, 1982.—120 с.

[illegible]

СОДЕРЖАНИЕ

1. Б. Багдасарян, А. В. Гипосян, Метод определения оптимальной геометрии режущего инструмента и зависимости от физико-механических свойств обрабатываемых материалов	157
Э. К. Безюк, Н. А. Белубекян, Разрешающая система уравнений неопорядных тонких полых гибких излоупругих оболочек	166
А. М. Аюлян, Совершенствование воздействий на круговую цилиндрическую оболочку, частично заполненную жидкостью	165
А. М. Саргсян, А. С. Хачикян, Г. Г. Нерсисян, Стационарные тепловые процессы в кусочно-однородных телах	171
Г. М. Никитин, Р. Е. Аюлян, Г. С. Семенов, Т. А. Пасляя, Е. А. Саакян, Некоторые алгоритмы тепловой диагностики статора мощного гидротурбинатора	177
Б. Е. Сафаров, Оптимизация пористых элементов частей для технического обслуживания технических средств АСУ	180
В. В. Овсепян, Исследование аддитивных свойств карбидных антифрикционных стальных АСАР	185
Г. А. Аюсян, В. В. Ахметов, Ш. М. Гюльсаян, Исследование силового режима работы среднего уровня в адаптивно-оптическом методе	189
А. А. Петрович, Оптимальный метод локального отбора при сжатии данных с помощью преобразования Хаффмана	193
А. В. Давидов, Н. А. Давидов, Г. С. Хачикян, Р. А. Ширинян, О влиянии напряженного состояния при деформации стали на сопротивление усталости соединений из композитных материалов	195
Ж. Т. Оганесян, Статистический анализ дефектов литейных изделий короткоцикловых электропечей	199
Г. А. Алексин, Г. Т. Бачурин, А. М. Мирзоян, Симонастраполюсный программный комплекс для организации совместную работу ОСД «Электроника 8201» и микро-ЭВМ	201