

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 5. 1. 1948 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Խ Մ Բ Ա Դ Բ Ա Կ Ե Ն Ի Կ Ե Մ

- Ռ. Մ. Մաքսիմովսկի (պատմաբանական խմբագիր), Վ. Վ. Ալեքսեևսկի,
Բ. Վ. Արսյան, Ռ. Ա. Ղազարյան, Ս. Մ. Ղազարյան, Մ. Վ. Խոսյան,
Ա. Հ. Սանթրյան, Յու. Լ. Սարգսյան, Մ. Դ. Ստեփանյան (պատմ. խմբ. տնօր.)
Ջ. Կ. Մանթրյան (պատմաբանական քննադատ), Վ. Ս. Խոստարյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Р. М. Мартиросян (ответственный редактор), В. В. Алексеевский,
Р. В. Атоян, Р. А. Казарян, С. М. Казарян, М. В. Касьян,
А. Г. Саакян, Ю. Л. Саркисян, М. Г. Стакия (зам. ответ. редактора),
З. К. Степанян (ответственный секретарь), В. С. Хачатрян.

Издательство АН АрмССР.

Известия АН АрмССР (серия техн. наук), 1969.

УДК 621.178.3:678.5

М. Г. СТАКЯН, С. А. КРОЯН, Г. А. МАПУКЯН, А. С. МНАЦАКАНЯН

ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ВОЗДУХЕ И В КОРРОЗИОННЫХ СРЕДАХ ПРИМЕНЕНИЕМ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КЛЕЕВ

Рассматривается влияние на сопротивление усталости слоя полимерного композиционного клея марки ГИПК 11—11, нанесенного на рабочую поверхность деталей типа валов и осей в зоне концентрации напряжений. Проведены сравнительные испытания на усталость образцов с покрытием и без него при переменном сложно-напряженном состоянии на воздухе и в пресной воде. Для количественной оценки повышения сопротивления усталости образцов с покрытием предложены коэффициенты $\beta_{\text{сп}}$ и $\beta_{\text{зд}}$, которые учитывают влияние клея в широком диапазоне долговечностей и перенапряжений. Показано, что применение покрытий эффективнее при наличии коррозионной среды и высокой концентрации напряжений.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

Պրաբերված է լիստեր և տետր տիպի մեքենամասերի բանվորական մակերեսայինների լարումների կառավարման գաղափարով ГИПК 11—11 մակերևի պոլիմերային կառուցվածքային սուսնից քաշերտի ազդեցությունը հոգնածային դիմադրության վրա: Փոփոխական բարդ լարվածային վիճակի դեպքում օդում և ջրում կատարված են պաշտպան փորձանմուշների (քաշերտով և առանց դրա) համեմատական հոգնածային փորձարկումներ: Հոգնածային դիմադրության բարձրացման քանակական գնահատման համար առաջադրված են $\beta_{\text{сп}}$ և $\beta_{\text{зд}}$ դրսևակիցները, որոնք հաշվի են առնում քաշերտի ազդեցությունը երկարակեցության և գերլարումների մեծ սահմաններում: Ցույց է մղված, որ քաշերտի ազդեցությունն առդյուրավորված բարձր է կոռոզիոն միջավայրի ազդեցության և լարումների մեծ կառավարման դեպքում:

Одним из перспективных направлений в области восстановления и повышения сопротивления усталости деталей машин является обработка их поверхностей нанесением слоя полимерного композиционного клея. Разработанные в последнее время клеи на основе эпоксидных смол обладают высокой статической прочностью и способностью создавать на металлических поверхностях слои с высокими адгезионными свойствами, выдерживающие длительное воздействие периодического нагружения. Их свойство «выглаживать» поверхностные неровности, всевозможные дефекты технологического и эксплуатационного характера, являющиеся основными источниками возникновения и развития усталостных микротрещин, а также сравнительно низкая себестоимость и несложная технология получения этих слоев без применения дорогостоящего оборудования выдвигает этот способ на первый ряд из всех альтернативных вариантов восстановления поврежденных деталей. Способность выдерживать длительное коррозионное воздействие среды в некоторых случаях делают этот способ незаменимым, что диктует необходимость наряду с разработкой эффективной технологии нанесения слоев создать методику расчета для количественной оценки эффекта

восстановления и повышения сопротивления усталости деталей, обработанных этим способом.

Испытаниям на усталость деталей с полимерным клеем свойственно значительное рассеяние изучаемых параметров, что связано с особенностями протекания процесса усталостного разрушения в среде «полимерный клей—металл», а также действием неконтролируемых факторов от неидентичности свойств ингредиентов композиционного клея и проведения процесса полимеризации, вызывающие разную степень адгезии и вариацию механических свойств самого клея. Это предполагает применение вероятностных методов оценки характеристик сопротивления усталости в реальном диапазоне циклических долговечностей.

Для количественной оценки влияния покрытий предложены коэффициенты β_m и β_{N_0} [1] для вероятностной оценки прочности и долговечности, которые основаны на уравнении семейства квантильных кривых усталости

$$\lg N = (\lg \bar{N} + z_p s_{N_0}) - (\bar{m} + z_p s_m) (\lg z - \lg \bar{z}) = C - m \lg z, \quad (1)$$

где $C = (\lg \bar{N} + z_p s_{N_0}) + \lg \bar{z} (\bar{m} + z_p s_m)$, $m = \bar{m} + z_p s_m$ — основные параметры кривой усталости, соответствующие заданному уровню вероятности разрушения $P(N)$.

Аналогично [1, 2], коэффициенты β_m и β_{N_0} являются функциями от N , σ и $P(N)$. В зависимости от размеров и взаимного расположения областей рассеяния циклических долговечностей, а также абсцисс точек перелома N_0 сопоставимых кривых усталости существуют зоны долговечностей и перенапряжений, в пределах которых структура этих функций неизменна и при использовании уравнения (1) они имеют следующий вид:

$$N < N_0 - \lg \beta_{m0} = S_1 + M_1 \lg N; \quad (2)$$

$$N > N_0 - \lg \beta_{m0} = S_2 + M_2 \lg N;$$

$$z \gg z_R - \lg \beta_{N_0} = \Delta C_1 + \Delta m_1 \lg z; \quad (3)$$

$$z < z_R - \lg \beta_{N_0} = \Delta C_2 + \Delta m_2 \lg z,$$

где коэффициенты S , ΔC учитывают уровень, а M , Δm — интенсивность эффекта упрочнения от наличия клея.

Проведены сравнительные испытания на усталость образцов из стали 45 в нормализованном состоянии ($d = 12$ мм, $D = 14$ мм, $\sigma_u = 680$ МПа) с V -образным контурным надрезом, имитирующим усталостную трещину ($r_n = 0,4$ мм, $r_e = 2,85$), и галтелью ($r_f = 0,6$ мм, $\alpha_f = 1,92$) с покрытием и без него (рис. 1). В качестве покрытия применяется полимерный композиционный клей на основе эпоксидных смол ГИПК 11—11 производства Кирово-Вятского НИО «Полимерклея». Образцы нагружались комбинированным циклическим изгибом и статическим кручением с постоянным отношением касательных и нормаль-

ных напряжений $\tau/\sigma = 0,6$, соответствующим регулярному режиму нагружения валов передаточных механизмов. Испытания реализованы на машине, работающей по принципу замкнутого силового контура и снабженной специальной коррозионной камерой [3]. В таблице представлены статистические параметры уравнения (1) для сравнительных испытаний.

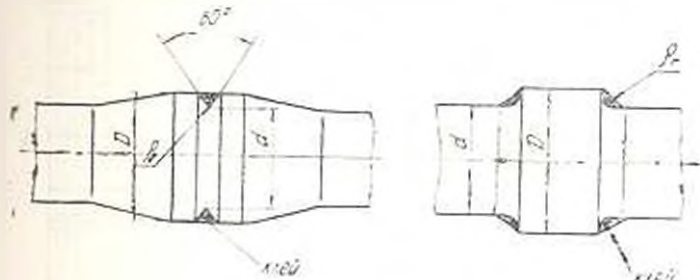


Рис. 1. Конструкции рабочей зоны образцов: а — с V-образным контурным надрезом; б — с галтелью.

Таблица

Конструкция образцов и условия испытания		m	C	$\lg \bar{\sigma}$	$\lg N$	β_{σ}	β_N	$\beta_{\sigma N}$		
Выточка	воздух	исходный	7,3910	22,1191	2,2481	5,5259	1,0320	0,1668	0,9461	
		с клеем	8,2475	24,3215	2,2593	5,6871	0,9608	0,1330	0,9616	
		исходный	5,6795	18,9190	2,2614	6,0752	0,6124	0,1383	0,9138	
		с клеем	5,7325	19,2415	2,3392	5,8320	0,7694	0,1655	0,9424	
Галтель	пресная вода	исходный	$N < N_0$	3,0176	12,4947	2,2106	5,8241	0,2272	0,1012	0,9600
			$N > N_0$	8,2224	23,3901	2,0179	6,7978	0,6513	0,1159	0,9729
		с клеем	$N < N_0$	3,9036	14,6284	2,2418	5,8785	0,5885	0,1681	0,9059
			$N > N_0$	8,2765	24,0848	2,0889	6,7961	1,1451	0,1589	0,9312

В связи с разной степенью рассеяния $\lg N$ сравнительных испытаний дисперсия величин β_{σ} и $\beta_{N\sigma}$ переменна, а их вероятностные значения на уровне пределов выносливости максимально расходятся от аналогичных медианных значений. Эффект повышения сопротивления усталости по напряжениям, оцениваемый функциями (2), для испытаний с V-образной выточкой и галтелью соответственно составляет: $\beta_{\sigma} = 1,1-1,18$ и $1,05-1,1$, что свидетельствует об эффективности применения клея (рис. 2а, 3а). Повышение сопротивления усталости по долговечности несколько выше ($\beta_{N\sigma} = 1,17-2,5$ и $1,1-2$), что следует из закономерностей развития процесса усталостного разрушения конструкционных материалов, описывающегося гиперболической зависимостью степени m между σ и N (рис. 2б, 3б). Как видно, эффект покрытия усиливается при наличии более высокой

концентрации напряжений: $\beta_{\text{пл.в}} > \beta_{\text{пл.г}}$, $\beta_{N_{\text{ж.в}}} > \beta_{N_{\text{ж.г}}}$, что указывает на приемлемость метода при восстановлении деталей с дефектами (трещинами), образованными в процессе эксплуатации под воздействием периодических нагрузок.

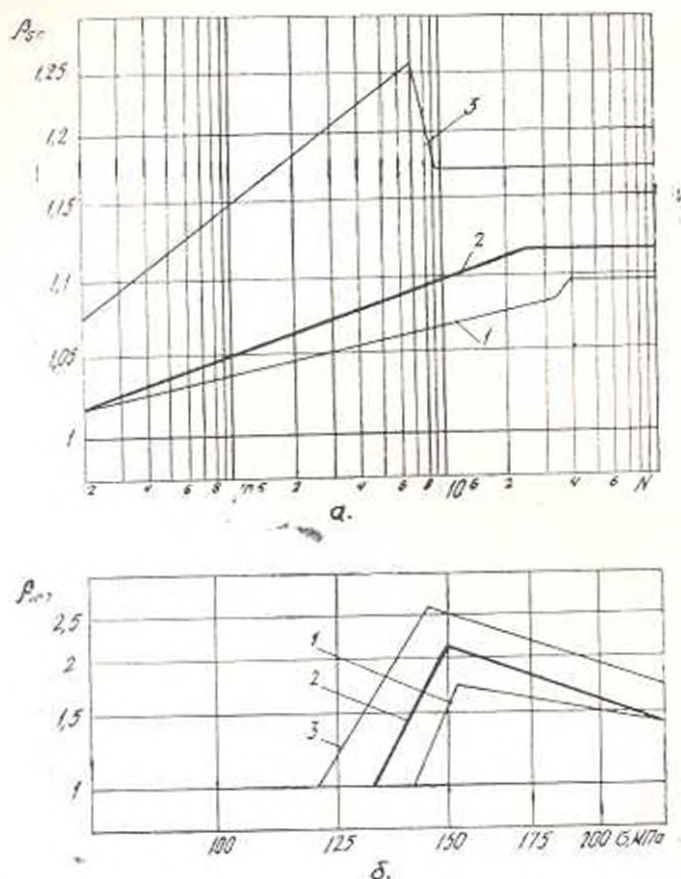


Рис. 2. Графики зависимостей $\beta_{\text{пл}} = f_1 [N, P(N)]$ и $\beta_{N_{\text{ж}}} = f_2 [N, P(N)]$ для выточки на воздухе при $P(N) = 0.1, 0.5$ и 0.999 (1, 2, 3).

Проведены также коррозионные испытания образцов с гальтёю в пресной воде при $\sigma_0 = 0.6$ (таблица). Некоторое расхождение видов функций $\beta_{\text{пл.кор}}$ и $\beta_{N_{\text{ж.кор}}}$ от аналогичных для испытаний на воздухе связано со ступенчатым расположением областей $\lg N$ при коррозионных испытаниях, если рассматривается интервал долговечностей $N = 10^4 - 10^6$; при этом процессы усталостного разрушения описываются двумя семействами кривых усталости (1) раздельно в зонах $N \leq N_{\text{ж}}$ [4]. Количественная оценка проходила аналогично (2), (3) и получены результаты влияния покрытия при наличии коррозионной среды ($\beta_{\text{пл.кор}} = 1.15 - 1.2$, $\beta_{N_{\text{ж.кор}}} = 2 - 6$) (рис. 3). Применение полимерно композиционного клея для повышения прочности и долговечности деталей, работающих в коррозионных средах, более целесообразно, что

объясняется двумя факторами: а) снижением начального эффективного коэффициента концентрации напряжений K_{σ} ; б) замедлением процессов коррозионно-усталостного разрушения при наличии антикоррозионного покрытия, исключающего контакт среды с поверхностью металла.

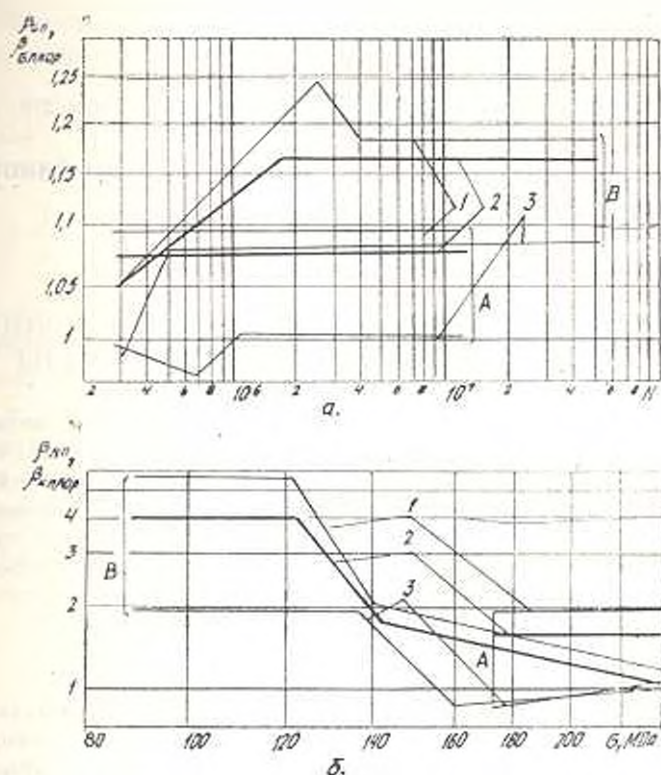


Рис. 3. Графики зависимостей $K_{\sigma \text{ eff}}$, $K_{\sigma \text{ eff, кор}} = f_3[N, P(N)]$ и $K_{N \text{ eff}}$, $K_{N \text{ eff, кор}} = f_4[c, P(N)]$ при $P(N) = 0,1, 0,5$ и $0,999$ (1, 2, 3): А — на воздухе; В — в пресной воде.

Предложенная методика повышения сопротивления усталости деталей из конструкционных сталей применением композиционных клеев наряду с традиционными может быть использована как в процессе конструирования новых типов машин, так и при ремонтно-восстановительных работах, как эффективное средство для «вылечивания» усталостных повреждений деталей, работающих под воздействием длительного периодического нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стахан М. Г., Манукян Г. А. Вероятностная оценка сопротивления усталости деталей, работающих в коррозионных средах // Теория и конструирование машин: Межвуз. тем. сб. науч. тр. по маш.— Ереван: Изд-во ЕрПИИ, 1986.— С. 21—25.
2. Стахан М. Г., Исаханян И. С. Циклическая прочность и долговечность шпоночных соединений // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.— 1982.— Т. 35, № 4.— С. 8—15.

3. Манукян Г. А., Стахян М. Г. Оценка сопротивления коррозионной усталости образцов при сложном-напряженном состоянии // Завод. лаборатория.— 1989.— Т. 55. № 2.— С. 80—82.
4. Стахян М. Г., Манукян Г. А. О форме кривой коррозионной усталости при сложном напряжении // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.— 1989.— Т. 42. № 5.— С. 213—218.

ЕрПН им. К. Маркса

15. VI. 1989

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 6, 1989, с. 268—272

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 539.3.621.89

Г. Дж. КОЧИНЯН, Г. Б. НАЛБАНДЯН

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕДОМОГО ДИСКА ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ

В цилиндрической системе координат рассмотрена температурная осесимметричная задача ведомого диска фрикционной муфты ГМП. Для определения напряженно-деформированного состояния получены дифференциальные уравнения. Рассмотрены три случая: 1. Температура и коэффициент трения материала диска постоянные; 2. Температура по радиусу и коэффициент трения от температуры меняются по линейному закону; 3. Температура по радиусу меняется по линейному закону, а коэффициент трения зависит от температуры по экспоненциальному закону. Решен численный пример для автопогрузчика модели 40912.

Ил. 1, Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

Կլանային կոորդինատային համակարգում դիտարկված է հիդրոմեխանիկական փոխանցման առիթի շփական կցորդի տարվող սկավառակի առանցքահամաչափ շերտային խզիրը: Լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակը բացահայտելու համար ստացված են դեֆերենցիալ հավասարումներ: Դիտարկված է երեք դեպք. 1. Ջերմաստիճանը և սկավառակի նյութի շփման գործակիցը հաստատուն են, 2. Ջերմաստիճանը ըստ շառավիղի և շփման գործակիցը ըստ շերտաստիճանի փոխվում են զծային օրենքով, 3. Ջերմաստիճանը ըստ շառավիղի՝ փոխվում է առաջին, իսկ շփման գործակիցը ըստ շերտաստիճանի՝ էքսպոնենցիալ օրենքով:

40912 մակնիշի ավտոբեռնիչի համար լուծված է թվային խնդիր:

При эксплуатации автопогрузчика в момент трогания, а также при работе в режиме ползучего хода происходит интенсивное буксование между ведомыми и ведущими дисками. В зоне буксования генерируется большое количество теплоты, которая оказывает непосредственное влияние на долговечность фрикционных дисков и коэффициент трения трущихся пар [1, 2].

Целью данной работы является определение влияния неравномерного температурного поля на напряженное состояние фрикционных муфт, применяемых в гидромеханических передачах (ГМП). Схема внешних нагрузок представлена на рисунке. Задачу напряженно-деформированного состояния для круглых дисков удобнее решать в цилиндрической системе координат. В основу дальнейших расчетов берется гипотеза недеформированных нормалей [3], согласно которой напряжение

ϵ_z и компоненты деформаций от внешних нагрузок $\epsilon_r, \epsilon_{\theta}, \epsilon_{rz}$ можно принять равными нулю. Пользуясь осесимметричностью задачи, выражениями компонентов деформаций $\epsilon_r, \epsilon_{\theta}, \epsilon_{rz}$ [3, 4] и обобщенным законом Гука [3], после некоторых преобразований, а также при учете значений объемных и кольцевых сил, действующих на элемент диска, получим следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{d^2 U}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU}{dr} - \frac{U}{r^2} + \beta(1+\nu) \frac{dT}{dr} - \frac{(1-\nu^2)\rho\omega^2}{E} r = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} - \frac{V}{r^2} + \beta \frac{dT}{dr} - \frac{\pi}{4G} (D^2 - d^2) pf - \frac{2\beta T}{r} = 0, \quad (2)$$

где E — модуль Юнга; β — коэффициент температурного расширения; ν — коэффициент Пуассона; ρ — плотность материала диска; G — модуль сдвига; ω — угловая скорость вращения диска; p, f — удельное давление и коэффициент трения между фрикционными дисками; D, d — наружный и внутренний диаметры дисков; T — температура в зоне трения; U, V — радиальное и угловое перемещение точек, расположенных в плоскости $Z=0$; r — промежуточное значение радиуса диска.

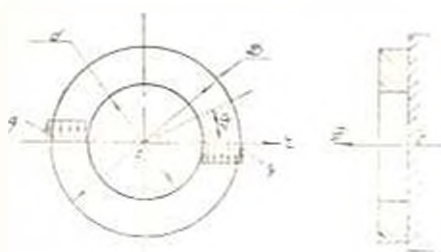


Рис.

Таким образом, выявление напряженно-деформированного состояния диска сводится к интегрированию дифференциальных уравнений (1) и (2) при заданных граничных условиях и функциях $f = f(T(r))$, $T = T(r)$.

С целью выявления влияния зависимости коэффициента трения от температуры и неравномерного распределения температуры в диске, рассмотрим следующие различные случаи.

1. $T = T_0 = \text{const}$, $f = f_0 = \text{const}$ — для определения нормальных и касательных напряжений получаем следующие уравнения:

$$\epsilon_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left\{ (1+\nu) C_{11} - \frac{(1-\nu^2)(3+\nu)\rho\omega^2 r}{8E} - \beta(1+\nu) T_0 - (1-\nu) \frac{C_{22}}{r} \right\}, \quad (3)$$

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left\{ (1+\mu) C_{11} - \frac{(1-\mu^2)(3\mu+1)\rho\omega^2 r}{8E} - \beta(1+\mu) T_0 + (1-\mu) \frac{C_{21}}{r} \right\}; \quad (4)$$

$$\tau_r = G \left\{ \frac{\pi}{12G} (D^2 - d^2) f \rho r - \frac{2C_{21}}{r^2} \right\}. \quad (5)$$

$$2. \quad T = a + br, \quad f = m + nr.$$

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left\{ (1+\mu) C_{11} - \frac{C_{21}}{r^2} (1-\mu) + \frac{2}{3} xr(2+\mu) + \frac{1}{4} yr^2(3+\mu) - \beta(1+\mu)(a+br) \right\}; \quad (6)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\mu^2} \left\{ (1+\mu) C_{12} + \frac{C_{22}}{r^2} (1-\mu) + \frac{2}{3} xr(2\mu+1) + \frac{1}{4} yr^2(3\mu+1) - \beta(1+\mu)(a+br) \right\}; \quad (7)$$

$$\tau_r = G \left\{ \frac{1}{3} x_1 r - \frac{1}{4} y_1 r^2 - \frac{2C_{21}}{r^2} - \beta(a+br) + 0,5C_1 \right\}, \quad (8)$$

где

$$x = -b\beta(1-\mu), \quad y = -\frac{(1-\mu^2)\rho\omega^2}{E}, \quad a = \frac{T_1 D - T_2 d}{D-d},$$

$$x_1 = 3\beta b + \frac{\pi}{4G} (D^2 - d^2) (m + na) \rho, \quad b = \frac{2(T_2 - T_1)}{D-d}, \quad (9)$$

$$y_1 = \frac{\pi}{4G} (D^2 - d^2) n b \rho, \quad C_1 = 2\beta a.$$

T_1, T_2 — температуры соответственно на внутреннем и наружном диаметре диска.

3. $T = a - br, \quad f = ke^{nr}$ — решение уравнения (1) в случае 3 идентично с решением в случае 2, а при решении (2) для касательных напряжений получаем

$$\tau_r = G \left\{ \frac{1}{3} x_1 r - \frac{2C_{21}}{r^2} + \frac{y_2 e^{nr}}{2a_2^2 r^2} (a_1^2 r^2 + 4a_2 r + 8a_3 - 4r(1+a_2^2)) - \beta(a+br) \right\}, \quad (10)$$

где

$$x_1 = 3\beta b, \quad a_1 = 2\beta a, \quad a_2 = a\beta, \quad y_1 = \frac{\pi}{4G} (D^2 - d^2) p k e^{na}. \quad (11)$$

В формулы для определения нормальных и касательных напряжений входят постоянные C_{ij} , $i = 1, 2, 3$, $j = 1, 2, 3$, которые являются постоянными интегрирования и определяются из известных граничных условий [3]. Как видно из полученных результатов, для определения напряжений, возникающих во фрикционных дисках, необходимо иметь значение давления нажимного устройства на пакет дисков, которое при решении задачи предполагается, что остается постоянным. Это предположение согласно [5] не оказывает существенного влияния на конечные результаты ввиду быстрогодействия гидравлической системы.

Давление нажимного устройства определяем из условия трогания автопогрузчика: $M_t > M_n$, где M_t — момент трения во фрикционе, а M_n — приведенный к валу фрикциона момент сопротивления. Согласно [5] для определения давления нажимного устройства получим следующую формулу:

$$p > \frac{16(G_A + G_r)r_1\psi}{\pi i(I + d)(I^2 - d^2)fl_v\gamma_v} \quad (12)$$

где G_A , G_r — вес и грузоподъемность автопогрузчика; r_1 , ψ — теоретический радиус и коэффициент качения ведущих колес; i_v , γ_v — общее передаточное число и КПД трансмиссии; i — число пар трения.

Решим рассмотренную задачу для автопогрузчика модели 40912 со следующими начальными данными (значения коэффициентов n , m , k и α взяты из [2]):

$G_A = 11000 \text{ Н}$, $G_r = 10000 \text{ Н}$, $r_1 = 0,3 \text{ м}$, $D = 0,15 \text{ м}$, $d = 0,1 \text{ м}$,
 $f_v = 0,18$, $\gamma_v = 0,78$, $i_v = 12,915$, $i = 4$, $\psi = 0,3532$, $\rho = 6 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$,
 $\mu = 22 \cdot 10^{-6} \text{ мм} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$, $\omega = 104,67 \text{ с}^{-1}$,
 $T_1 = 180^\circ\text{С}$, $T_2 = 250^\circ\text{С}$, $T_0 = 200^\circ\text{С}$, $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$,
 $n = -2 \cdot 10^{-4}$, $m = 0,45$, $k = 0,7$, $\alpha = -1,5 \cdot 10^{-3}$.

Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

r_2 мм	Случай 1		Случай 2		Случай 3	
	σ_{r1} Н/мм ²	τ_{r1} Н/мм ²	σ_{r1} Н/мм ²	τ_{r1} Н/мм ²	σ_{r1} Н/мм ²	τ_{r1} Н/мм ²
50	0	0	0	0	0	0
55	17800	—	24200	-12,2	24200	-13,9
60	22300	—	33000	-21,5	33000	-23
65	21070	—	30400	-29,1	30400	-30,3
70	13500	—	18000	-34,4	18500	-34,9
75	0	—	0	-39,1	0	-40

Таблица 2

Случай	r_1 мм	$\sigma_{r \max}$ Н/мм ²
1	61,2	23500
2	61,1	33500
3	61,1	33500

Значения касательных напряжений в первом случае гораздо меньше, чем для случаев 2 и 3. Это объясняется, в первую очередь, постоянством температуры и коэффициента трения. Нормальные напряжения

во втором случае больше первого на (25—30) %, а касательные напряжения в третьем случае больше второго на (7—14) %. Как показывает анализ данных табл. 1 и 2, учет зависимости коэффициента трения от температуры и неравномерное распределение температуры по радиусу может привести к существенным поправкам полученных конечных результатов. Следовательно, при проектировании новых конструкций необходимо иметь экспериментальные данные о зависимости коэффициента трения от температуры и распределения температурных полей в дисках фрикционной муфты.

При конструировании механизмов ползучего хода необходимо также учесть, что «ползучий ход» — это качественно новый режим эксплуатации с более высокими температурными и нагрузочными режимами. Отсутствие аналогичных конструкций на отечественных автопогрузчиках выдвигает обязательное условие всестороннего анализа влияния температурных и нагрузочных режимов на работоспособность, надежность и долговечность узлов и деталей ГМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский Н. В. Трение и износ. — М.: Машиностроение, 1968. — 480 с.
2. Чичинадзе А. В. Расчет и исследование внешнего трения при торможении. — М.: Наука, 1967. — 231 с.
3. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. — М.: Наука, 1975. — 575 с.
4. Новожилов В. В. Теория упругости. — Л.: Судпромгиз, 1958. — 370 с.
5. Лукин И. П., Гаспарянец Г. А., Родионов В. Ф. Конструкция и расчет автомобиля. — М.: Машиностроение, 1984. — 376 с.

БрПН им. К. Маркса

16. II. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТIII), т. XLII, № 6, 1989, с. 272—275

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.83.069

Э. Н. АРУТЮНЯН, Н. Б. ГРИГОРЯН

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В ШАРИКОВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАТЯГОМ

Рассмотрена задача расчета распределения нагрузки по длине соприкосновения шариковинтовой передачи с предварительным внутренним натягом. Получено интегральное уравнение распределения нагрузки и даны приближенные методы его решения.

Библиогр.: 2 назв.

Քննարկված է նախնական պրկվածքով զնդրկատուտակային փոխանցման մեջ բառ նրա նրկարթյան բեռնվածքների բաշխման նաշխարկման խնդիրը Ստացված է բեռնվածքների բաշխման ու զծային ինտեգրալային նաշխարում և տրված է նրա լուծման մոտավոր եղանակները:

Рассматривается метод расчета распределения нагрузки по длине свинчивания шариковинтовой передачи с предварительным внутренним натягом. Предполагается, что после приложения осевого усилия натяг не снимается. В общем балансе осевых перемещений точек контакта, вследствие их превалирования, учитываются только контактные деформации.

Условие совместности деформаций в шариковой резьбе имеет вид [1]

$$\Delta_1 + \Delta_2 = [\delta_1(z) + \delta_2(z)] - [\delta_1(0) + \delta_2(0)], \quad (1)$$

где Δ_1 и Δ_2 — удлинение и укорочение участков винта и гайки от 0 до z ; $[\delta_1(z) + \delta_2(z)]$ — сумма контактных деформаций в сечении z соединения; $[\delta_1(0) + \delta_2(0)]$ — то же, в сечении 0 (индекс 1 соответствует винту, 2 — гайке).

На основе [1, 2] представим

$$\Delta_1 + \Delta_2 = \beta \int_0^z \int_0^{z_1} q(z_2) dz_2 dz_1, \quad (2)$$

$$\delta_1(z) + \delta_2(z) = \gamma^* \left[(P_{1n} + K_1 q(z))^{\frac{2}{3}} - P_{1n}^{\frac{2}{3}} \right], \quad (3)$$

где $q(z)$ — интенсивность распределения осевых сил в сечении z соединения; P_{1n} — нормальное усилие по длине контактной линии, вызванное предварительным натягом; γ^* , K_1 — упруго-геометрический параметр шариковой резьбы и безразмерный коэффициент;

$\beta = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{E_i F_i}$, а E_i , F_i — модуль упругости материала и площадь поперечного сечения винта (гайки).

С учетом (2) и (3) уравнение (1) запишем в виде

$$\beta \int_0^z \int_0^{z_1} q(z_2) dz_2 dz_1 = \gamma^* (P_{1n} + K_1 q(z))^{\frac{2}{3}} - C, \quad (4)$$

где постоянная $C = \gamma^* (P_{1n} + K_1 q(0))^{\frac{2}{3}}$.

Интегрируя (4) в пределах от 0 до H (H — длина соединения), получаем

$$C = \frac{\gamma^*}{H} \int_0^H (P_{1n} + K_1 q(z))^{\frac{2}{3}} - \frac{\beta}{H} \int_0^H \int_0^z \int_0^{z_1} q(z_2) dz_2 dz_1 dz.$$

Если внести значение C в (4), то получим следующее интегральное уравнение:

$$\lambda(q) = N(q), \quad (5)$$

где

$$L(q) = (P_{in} + K_1 q(z))^{\frac{2}{3}}; \quad (6)$$

$$N(q) = \frac{\beta}{L^*} \left[\int_0^z \int_0^{z_1} q(z_2) dz_2 dz_1 - \frac{1}{H} \int_0^H \int_0^z \int_0^{z_1} q(z_2) dz_2 dz_1 dz \right] + \\ + \frac{1}{H} \int_0^H (P_{in} + K_1 q(z))^{\frac{2}{3}} dz, \quad (7)$$

Уравнение (5) может быть решено методом последовательных приближений по схеме

$$L(q_{(j+1)}) = N(q_{(j)}), \quad (8)$$

где $q_{(j)}$ и $q_{(j+1)}$ — исходное и последующее приближения для искомой функции $q(z)$.

Принимаем в первом приближении $q_{(1)} = q_{cp} = \frac{Q}{H}$, где Q — осевое усилие на соединение. Тогда для второго приближения получим

$$q_{(2)} = \frac{1}{K_1} \left[\frac{\beta}{2\chi^*} \left(z^3 - \frac{1}{3} H^3 \right) q_{cp} + (P_{in} + K_1 q_{cp})^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} - \frac{P_{in}}{K_1}.$$

Определив $q_{(2)}(z)$, можно на основании (8) получить третье приближение $q_{(3)}(z)$ и т. д. Расчет заканчивается при достаточной близости двух соседних приближений. Рассмотрим приближенное решение уравнения (5). Следуя [1], положим

$$(P_{in} + K_1 q)^{\frac{2}{3}} = a + b (P_{in} + K_1 q), \quad (9)$$

где

$$a = \frac{1}{3} (P_{in} + K_1 q_{cp})^{\frac{3}{2}}, \quad b = \frac{2}{3} \frac{1}{P_{in} + K_1 q_{cp}}.$$

С учетом (9) уравнение (5) будет иметь вид

$$q(z) = \frac{\beta}{K_1 b \chi^*} \left[\int_0^z \int_0^{z_1} q(z_2) dz_2 dz_1 - \frac{1}{H} \int_0^H \int_0^z \int_0^{z_1} q(z_2) dz_2 dz_1 dz \right] + q_{cp}. \quad (10)$$

Дважды дифференцируя последнее уравнение по z , получим

$$\frac{dq}{dz} = \frac{\beta}{K_1 b \chi^*} \int_0^z q(z_1) dz_1, \quad \frac{d^2 q}{dz^2} = \frac{\beta}{K_1 b \chi^*} q. \quad (11)$$

Обозначая $m = \sqrt{\frac{\beta}{K_1 b \lambda^*}}$, получим известное дифференциальное уравнение распределения нагрузки в резьбе

$$\frac{d^2 q}{dz^2} - m^2 q = 0, \quad (12)$$

общее решение которого имеет вид

$$q(z) = A \operatorname{sh} mz + B \operatorname{ch} mz. \quad (13)$$

Граничные условия получаются из (11):

$$\frac{dq}{dz}(0) = 0, \quad \frac{dq}{dz}(H) = m^2 Q.$$

Определяя с помощью этих условий значения постоянных A , B и внося в (13), получаем известный закон распределения нагрузки в соединении типа болт-гайка

$$q(z) = \frac{Qm}{\operatorname{sh} mH} \operatorname{ch} mz, \quad (14)$$

однако параметр m в этом случае зависит от величины предварительного натяга. С увеличением величины предварительного натяга неравномерность распределения нагрузки увеличивается, что объясняется нелинейной зависимостью контактных деформаций от нагрузки.

Полученные зависимости уточняют ранее известные связи и позволяют при проектировании шариковинтовых передач учесть влияние предварительного натяга.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Биргер Н. А., Арутюнян Э. П. Распределение нагрузки по виткам шариковой резьбы // Вестник машиностроения. — 1971. — № 3. — С. 20—24.
2. Арутюнян Э. П., Григорян Н. Б. К расчету шариковинтовой передачи с предварительным натягом // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. — 1987. — Т. XI, № 3. — С. 37—40.

Лен. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

3. IX. 1987

УДК 621.396.677.71

С. К. ОГАНДЖАНИАН

ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА С СИММЕТРИЧНО-ПРОТИВОФАЗНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ В ЛЕПЕСТКАХ

Предлагается волноводно-щелевая антенна, представляющая собой пакет из двух волноводов, заполненных диэлектриком и возбуждаемых от симметричной полосковой линии. Прорезанные на противоположных широких стенках волноводов щели создают диаграмму направленности с двумя главными лепестками, электромагнитные поля в которых симметрично-противофазны.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 13 назв.

Առաջարկվում է արժատար ճեղքային անտենա, որը դիվերտրիկով լցված երկու ավազաններից կազմված փաթեթ է և որը գրգռվում է համաչափ շերտավոր դծի կողմից: Արժատարների հակադրած լայն պատկերին արված ճեղքերը ստեղծում են ուղղորդվածության դիագրամ երկու դիստվոր թերթիկներով, որոնք էլեկտրամագնիսական դաշտերը համաչափ հակափուլ են:

Использование волноводов, заполненных диэлектриком, в сочетании с некоторыми элементами объемных интегральных схем СВЧ позволяет получить новую разновидность волноводно-щелевых антенн, имеющую оригинальные свойства диаграммы направленности. В работе представлена волноводно-щелевая антенна, имеющая два лепестка диаграммы направленности с симметрично-противофазными электромагнитными полями в лепестках.

В качестве волноводов, заполненных диэлектриком, применяются полосы фольгированного материала ФФ-4 толщиной 2,5 мм с металлизированными боковыми торцами. Это позволяет получить волноводную структуру. Пакетирование двух отрезков такого волновода и возбуждение их от симметричной полосковой линии дает возможность получить антенну, имеющую два лепестка диаграммы направленности с симметрично-противофазными электромагнитными полями в лепестках.

На рис. 1 показана переменнo-фазная волноводно-щелевая антенна с продольными щелями на широких стенках волноводов. Она представляет собой пакет из двух отрезков волноводов 1, описанных выше, имеющих общую широкую стенку. На противоположных широких стенках волноводов выполнены продольные щели 2. Указанные волноводы возбуждаются плавным переходом 3 от симметричной полосковой линии. Гоконсующий проводник симметричной полосковой линии является продолжением общей широкой стенки волноводов. Плавный переход 3 обеспечивает противофазное возбуждение пары отрезков волноводов и силу свойств электромагнитного поля, распространяющегося в симметричной полосковой линии. Вследствии этого электромагнитные поля в ле-

пестках диаграммы направленности, расположенных симметрично относительно плоскости, параллельной широким стенкам волновода, и содержащей их продольную ось, являются симметрично противофазными.

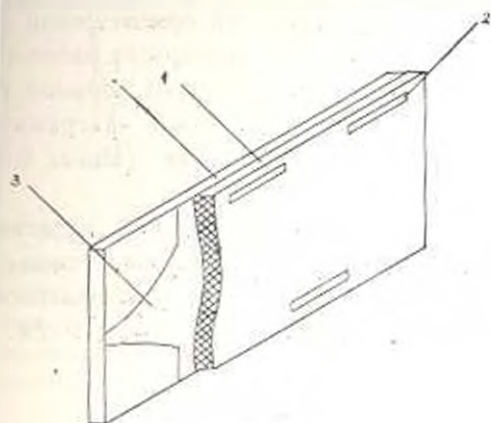


Рис. 1.

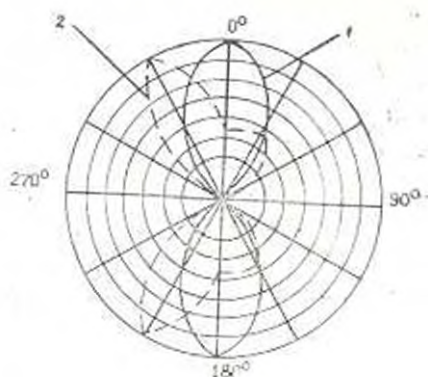


Рис. 2.

На рис. 2 (кривая 1) показана экспериментально определенная диаграмма направленности описанной антенны. Для резонансной волноводно-щелевой антенны, т. е. антенны, имеющей на конце режим короткого замыкания, зависимость КСВ (K) от частоты (f) показана на рис. 3.

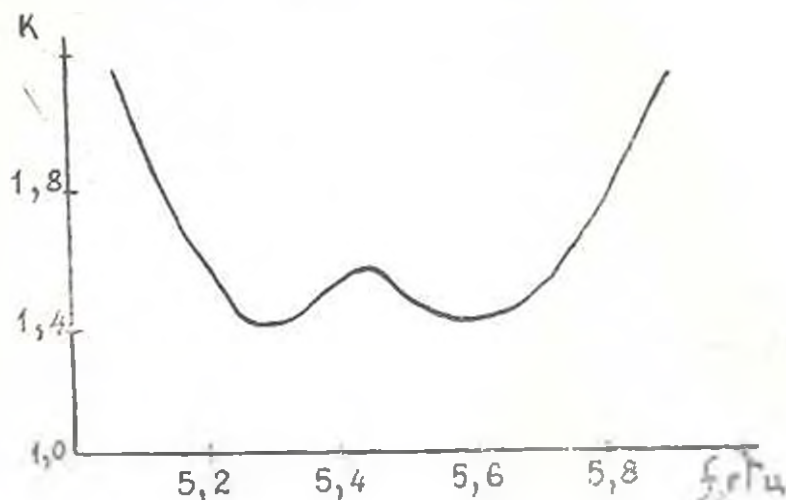


Рис. 3.

Исходя из необходимости распространения по волноводам волны только низшего типа и подавления высших типов волн, в диапазоне 4—6 ГГц размер широкой стенки волноводов выбирается равным 50 мм. Расчет длины и ширины щелей, а также расстояний между ними и отклонения от продольной оси волноводов производится по методике расчета обычных волноводно-щелевых антенн [1]. Плавный переход рассчитывается по методике, изложенной в [2].

Как известно из [3], направление максимума диаграммы направленности зависит от выбора расстояния между щелями. При расстоянии между щелями, равном половине длины волны, распространяющейся в волноводе, максимум диаграммы направленности ориентирован в направлении нормали к продольной оси волновода. При других расстояниях между щелями максимум излучения отклоняется от нормали к продольной оси волновода. На рис. 2 (кривая 2) показана диаграмма направленности антенны при расстояниях между щелями, равных 0,6 длины волны в волноводе.

На симметричность диаграммы направленности большое влияние оказывает разброс геометрических размеров щелей. В таблице показана зависимость угла отклонения максимума диаграммы направленности $\Delta\varphi$ от отклонения длины щели Δl от расчетной на частоте 5,3 ГГц.

Таблица

$\Delta l, \text{мм}$	0,45	0,95	1,35	1,85	2
$\Delta\varphi^\circ$	5	10	15	20	30

Наличие двухлепестковой диаграммы направленности с симметрично-противофазными электромагнитными полями в лепестках позволяет облегчить решение ряда специальных радионавигационных задач, таких как: определение равноудаленности объектов от базового, контроль диаметрально противоположного или иного расположения объектов и др. без механического сканирования.

Волноводно-щелевые антенны указанного типа выполняются с использованием техники и технологии печатных плат, чем достигается высокая технологичность и значительное снижение весогабаритных показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антенны и устройства СВЧ. / Под ред. проф. И. И. Вокресянского. М.: Радио и связь, 1981. — 432 с.
2. A. M. Khilla, Optimum Continuous Microstrip Tapers are Amenable to Computer-Aided Design//Microwave J. — May (1983). — P. 223—225.
3. Дробкин А. Л., Зузенко В. Л., Кислов А. Г. Антенно-фидерные устройства. — М.: Сов. радио, 1974. — 536 с.

ВНИИРИ

25. X. 1988

УДК 621.3.049

С. И. КУПЧИНОВ

ПРИКЛАДНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БИС В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИНВАРИАНТНОЙ САПР

Рассматриваются вопросы организации прикладного математического обеспечения подсистемы размещения элементов БИС, проектируемых по И²Л, И³Л, п-МОП и КМОП технологиям. Предложен алгоритм размещения компонентов в матричных БИС, основанный на применении структурно-топологических моделей элементной базы БИС, реализованный программно на алгоритмическом языке высокого уровня ФОРТРАН и позволяющий обеспечить выполнение этапа трассировки соединений на 95—98%.

Библиогр.: 5 назв.

Դիտարկվում են И²Л, И³Л, п-УРЧ տեխնոլոգիաներով նախագծվող մեծ ինտեգրալ սխեմաների տարրերի տեղավորման ենթահամակարգի կիրառական մաթեմատիկական ապահովման հարցերը: Առաջարկվում է մատրիցային մեծ ինտեգրալ սխեմաների բաղադրիչների տեղավորման ալգորիթը: Այն օգտագործում է մեծ ինտեգրալ սխեմաների կառուցվածքային տալադրիական մոդելների տարրական բազան: Նրան համապատասխանող ՖՈՐՏՐԱՆ լեզվով իրականացված ծրագրեր սխեմայի էլեկտրական միացումների փուլը իրագործում է 95—98 %-ով:

Тенденция более широкого применения больших интегральных схем (БИС) в качестве элементной базы электронно-вычислительной техники, а также недостатки, присущие существующим в настоящее время системам автоматизированного проектирования, основным из которых является необходимость перехода на новую САПР при изменении технологического процесса изготовления БИС, выдвигают на первый план задачу создания технологически-инвариантной (ТИ) САПР, т. е. САПР, имеющей альтернативное программное обеспечение и операционную систему автоматизированного проектирования, позволяющую выбирать совокупность машинных программ применительно к заданному объекту проектирования в зависимости от технологии его изготовления [1].

Важной частью топологического проектирования БИС является этап размещения элементов БИС [2]. В данной статье рассматривается математическое обеспечение (МО) подсистемы размещения элементов БИС, входящей в состав ТИ САПР, ориентированной на проектирование БИС по одной из технологий базового множества T

$$T = \{И^2Л, И^3Л, п-МОП, КМОП\}.$$

Множество S является множеством слоев, которые при t_j технологии изготовления БИС ($t_j \in T$) являются коммутационными. Используются следующие условные обозначения: P — слой поликремния, M_1 — первый слой металлизации, M_2 — второй слой металлизации.

Как известно [3], МО включает в себя математические методы, модели и алгоритмы. В качестве размещаемых элементов в рассматриваемой подсистеме предлагается использовать структурно-топологические модели элементной базы БИС.

Элементной базой биполярных (ИЭЛ, ИЭЛ) БИС являются биполярные транзисторы, число коллекторов у которых не превышает четырех. Целесообразно использовать транзисторы, которые имеют четыре коллекторные области, т.е. их геометрические размеры одинаковы. В этом случае число рабочих коллекторов определяется наличием контактных окон к этим областям. Структурно-топологическая модель такого транзистора может быть представлена прямоугольником с расположенными по его периметру выводами от полупроводниковых областей (И — инжектор, Б — база, К — коллектор):

$$R_i = \{K_1, K_2, K_3, K_4, И, Б\}.$$

Отличие этих технологий состоит в том, что в ИЭЛ БИС имеет место однослойная металлизация, а в ИЭЛ БИС в качестве коммутационных используется три слоя (полукремний и два слоя металла). Это существенно влияет на количество возможных топологических вариантов реализации транзистора и выбор весовых коэффициентов целевой функции размещения.

Элементной базой л-МОП и КМОП технологий являются инверторы и созданные на их основе параллельным и последовательным включением логических транзисторов логические схемы И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Число входов логического элемента может достигать ста. Используются следующие условные обозначения: Вх — вход, Вых — выход, Е — питание, З — земля:

$$R_j = \{Вх_1, \dots, Вх_{160}, Вых, Е, З\}.$$

Функциональное назначение того или иного выходного контакта может быть определено следующим образом:

$$V_j = \begin{cases} S \& R, & \text{если } d_{i,j}^{t_j} = 1, \\ \varnothing, & \text{если } d_{i,j}^{t_j} = 0, \end{cases}$$

где $d_{i,j}^{t_j}$ — показывает, возможно ли для технологии t_j расположение вывода j в слое S_k , $R = R_1 \cup R_2$.

Геометрические размеры СТМ для каждой из технологий множества определяются с учетом конструкторско-технологических ограничений и зависят от количества входов логического элемента при МОП-технологии.

Информация о структурно-топологических моделях хранится в локальной базе знаний ЛБЗ подсистемы размещения в виде фреймов, состоящих из а) имени фрагмента; б) описания стороны структурно-то-

топологической модели (СТМ); в) описания контактов, расположенных на стороне СТМ; г) описания слоя, в котором расположен контакт.

По оценкам, приведенным в [4], использование СТМ элементной базы БИС в процессе размещения позволяет сократить время обращения к ЛБЗ в несколько раз, а хранение библиотечных элементов топологических разновидностей транзисторов и логических элементов необходимым.

В состав МО подсистемы размещения входят пять алгоритмов размещения (один универсальный и четыре специализированных). Все алгоритмы ориентированы на размещение фрагментов топологии в матричных БИС с использованием описанных выше СТМ элементной базы. Целевая функция размещения учитывает суммарную длину соединений, количество пересечений, равномерность заполнения поверхности кристалла и требования к тепловому режиму. Однако в зависимости от технологии каждое из перечисленных требований учитывается в большей или меньшей степени.

Поскольку в ИСЛ БИС имеет место однослойная металлизация, то на первое место становится критерий обеспечения минимального числа пересечений с целью облегчения последующей трассировки, который может быть записан в виде

$$F = \sum_{i=1}^{R_x} \sum_{j=1}^{R_y} \left(\sum_{k=1}^c P_{ijk} \right)^2,$$

где R_x , R_y — количество рядов опорных прямоугольников соответственно по координатам X и Y , P_{ijk} — плотность k -й цепи в опорном прямоугольнике, c — количество цепей.

При вычислении плотности k -й цепи в опорном прямоугольнике цепь оценивается прямоугольником и рассматриваются и анализируются перекрытия этих прямоугольников. Процедура размещения состоит из двух этапов: последовательного и итерационного. Этап последовательного размещения начинается установкой закрепленных компонентов. Весь кристалл рассматривается как начальная свободная область, т.к. все остальные полупроводниковые структуры, включая и периферийные, размещаются в центре кристалла. Далее происходит деление пополам наибольшей свободной области и полупроводниковые структуры из начального центра области перераспределяются в центры полученных вновь областей. Этот процесс длится до тех пор, пока не будут определены посадочные места для каждой компоненты матричной БИС. Размещение выбранного из списка нераспределенных компонентов очередного компонента осуществляется в менее заполненную область при условии, что его установка даст минимальное приращение целевой функции. Полученное размещение полупроводниковых структур оптимизируется с помощью итерационной процедуры, причем, перестановки выполняются только внутри заданной для каждого типа компонентов ограниченной области соседства. Тип компонента определяется его типоразмером.

Для остальных технологий из базового множества T разработаны свои специализированные алгоритмы размещения. Подсистему размещения можно условно разбить на две основные части. В первой части решаются вопросы, связанные с организацией настройки подсистемы на заданный технологический вариант изготовления БИС. Процесс настройки подсистемы осуществляется в два этапа. На первом этапе происходит выделение информации, необходимой для размещения элементов БИС, изготавливаемой по t_j технологии, а на втором — осуществляется выбор из базового множества алгоритмов A специализированного алгоритма a_k .

Во второй части подсистемы размещения элементов БИС осуществляется непосредственно само размещение на основе СТМ элементной базы либо специализированным алгоритмом a_k , либо универсальным алгоритмом $a_v \in A$, если $t_j \in T$, т. е. представляет собой технологию, для которой не подходит частный алгоритм a_k .

Методика организации процедуры размещения элементов БИС на основе СТМ их элементной базы в ТИ САПР может быть представлена следующим образом.

1. Ввод исходной информации для размещения.
2. Задание номера i технологического варианта изготовления БИС t_i .
3. Если $I = n$, где $n = 1, 2, 3, 4$, то переход к п. 4, иначе — переход к п. 5.
4. Выбор множества конструкторско-технологических ограничений БИС для t_i технологии.
5. Выбор метрических параметров для БИС, изготавливаемой по t_i технологии.
6. Если $I = n$, то переход к п. 7, иначе — переход к п. 8.
7. Выбор специализированного алгоритма a_k , $a_k \in A$. Переход к п. 9.
8. Выбор универсального алгоритма a_v , $a_v \in A$.
9. Вывод информации.
10. Конец работы.

Представленные в работе методика организации математического обеспечения подсистемы размещения элементов БИС, специализированный алгоритм размещения элементов ИЭЛ БИС, а также структурно-топологические модели элементной базы БИС [5] делают подсистему открытой и обеспечивают возможность включения ее в состав ТИ САПР, что, в свою очередь, приводит к ряду преимуществ по сравнению с существующими САПР БИС [4, 5].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Яким В. В. Процедура расслоения совмещенной топологии БИС в технологически-инвариантной САПР // Автоматизация проектирования электронной аппаратуры: Междисц. тематич. науч. сб. — Таганрог, 1988. — Вып. 5. — С. 62—69.

2. Свлютин В. А. Автоматизированное проектирование топологии БИС. — М.: Радио и связь, 1983. — 112 с.
3. Морозов К. К., Одинокое В. Г., Курейчик В. М. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1983. — 280 с.
4. Боло Л. А., Купчиков С. Н. Универсальная модель элементной базы БИС микропроцессорных систем управления // Элементы, узлы, устройства и математическое обеспечение микропроцессорных систем управления: Междучед. тематич. науч. сб. — М., 1987. — С. 176—183.
5. Купчиков С. Н. Моделирование элементной базы СБИС и технологически-инвариантных САПР // Проблемы создания и развития интегрированных автоматизированных систем в проектировании и производстве: Тез. докл. Всесоюзной науч. конф. — М.: Радио и связь, 1987. — С. 102—103.

Татарский радиотехн. ин-т

25. 11. 1988

Изв. АН АрССР (сер. ТН), т. XLII, № 6, 1989, с. 283—288

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 691.327:539.376

А. П. КИРИЛЛОВ, Э. Я. БАГРИЙ, В. Н. ЗАВЯЛОВ К ВОПРОСУ О ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ БЕТОНА ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Представлены некоторые результаты экспериментально-теоретического исследования ползучести тяжелого бетона при даухосном сжатии. Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими по предложенным аналитическим зависимостям позволило добиться удовлетворительного результата при описании относительных деформаций ползучести в направлении каждого из действующих напряжений.

Ил. 3. Библиограф.: 7 назв.

Ներկայացված են լայն բնույթի օպերի տեսական-փորձարարական հետազոտման որոշ արդյունքները ծանր կոնկրետի սեղմման դեպքում: Համապատասխան վերլուծական կախումներով տեսական և փորձարարական տվյալների համադրումը թույլ է տվել յուրաքանչյուր զործող լարման ուղղությամբ առանցքային սեղմման դեֆորմացիաների նկարագրման դեպքում համեմատաբար արդյունավետ:

В большинстве случаев бетон массивных пространственных и плоскостных железобетонных конструкций находится в условиях сложного напряженного состояния. В настоящее время наметилось два подхода к оценке длительных деформаций бетона в таких сложных условиях силовых воздействий.

В первом из них [1—3] реализуется основанная на том или ином учете нелинейных деформаций ползучести бетона система физических уравнений, связывающих относительные деформации бетона во времени по любому направлению с соответствующими величинами тензора напряжений. Во втором [4—6] влияние сложного напряженного состояния учитывается своеобразной трансформацией функции удельных относительных деформаций ползучести, например, в виде

$$C_{2x} = C_x / (1 + \sigma_y / \sigma_x),$$

$$C_{2x} = C_x [1 - 2 \sqrt{2} \sigma_y / \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 + \sigma_y^2}], \quad (1)$$

$$C_{2x} = C_x (1 - \sigma_y / \sigma_x) [2 - e^{\lambda(\sigma_y / \sigma_x)^2}].$$

с последующим использованием аналитических зависимостей одноосного напряженного состояния.

Для дополнительного изучения этого вопроса было проведено несколько серий экспериментальных исследований ползучести стареющего бетона в условиях двухосного сжатия, которые отличались составами, прочностными характеристиками, возрастом бетона и момент загрузки, режимами нагружения и относительными уровнями действующих напряжений в опытных образцах.

Все длительные испытания проводились на бетонных неизолированных образцах-призмах размером $10 \times 10 \times 40$ см. Расчетный состав бетона для опытных образцов первой серии следующий (кг на 1 м^3 бетона): портландцемент марки 500—140, песок—620, щебень—1160, вода—190. Для создания в образцах сжимающих напряжений применялись рычажные установки обычной конструкции и мембранные обжимающие приспособления [6].

Загружение образцов длительной нагрузкой производили в возрасте t , равном 5, 9, 15, 28 и 70 сут. Относительные уровни напряжений для различных возрастов загрузки находились в диапазоне от 0,125 до 0,71 призмочной прочности в момент загрузки. Отношения напряжений σ_y / σ_x изменялись от 0,05 до 1. Одновременно с двухосным сжатием загружались одноосно загруженные образцы с теми же величинами напряжений σ_x . При каждом виде напряженного состояния испытывались по два образца-близнеца. Температурно-влажностные деформации в каждой из серий замеряли на четырех образцах. Для измерения деформаций использовались индикаторы часового типа и тензометры.

Коэффициент упругих поперечных деформаций при одноосном сжатии $\nu_1(t)$ по мере роста уровня напряжений σ_x увеличивался от 0,14 до 0,26, а коэффициент $\nu_1(t)$, вычисленный по формулам обобщенного закона Гука при двухосном сжатии, также проявлял тенденцию к увеличению по мере роста σ_x и суммы $(\sigma_x + \sigma_y)$ и был несколько больше, чем для одноосного нагружения. Величина коэффициента поперечной деформации ползучести при двухосном сжатии $\nu_2(t, \tau)$ с учетом деформаций по всем направлениям также зависит от уровней и соотношения напряжений σ_x и σ_y и на всем диапазоне измерений для отмеченных видов напряженного состояния была близка к $\nu_1(t)$ двухосно нагруженных образцов.

В качестве примера на рис. 1 и 2 для образцов первой и второй серий испытаний представлены усредненные кривые относительных деформаций ползучести бетона в направлении действующих напряжений σ_x и σ_y . Для всех исследованных режимов нагружения необходимо отме-

тить резкое снижение деформаций ползучести в направлении σ_x уже при небольших величинах σ_y , что отмечалось и в ранее проведенных исследованиях [4, 6].

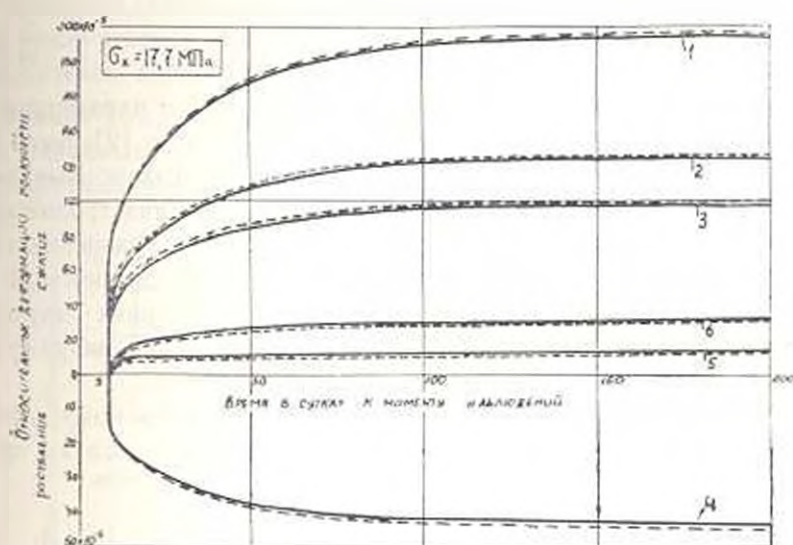


Рис. 1. Относительные деформации ползучести бетона при двухосном сжатии (1-я серия опытов): — экспериментальные значения; ---- теоретические значения. 1, 2, 3 — $\sigma_x(t, \tau)$ (при $\sigma_y = 0.6$ и 10 МПа), 4, 5, 6 — $\sigma_y(t, \tau)$ (при $\sigma_x = 0.6$ и 10 МПа).

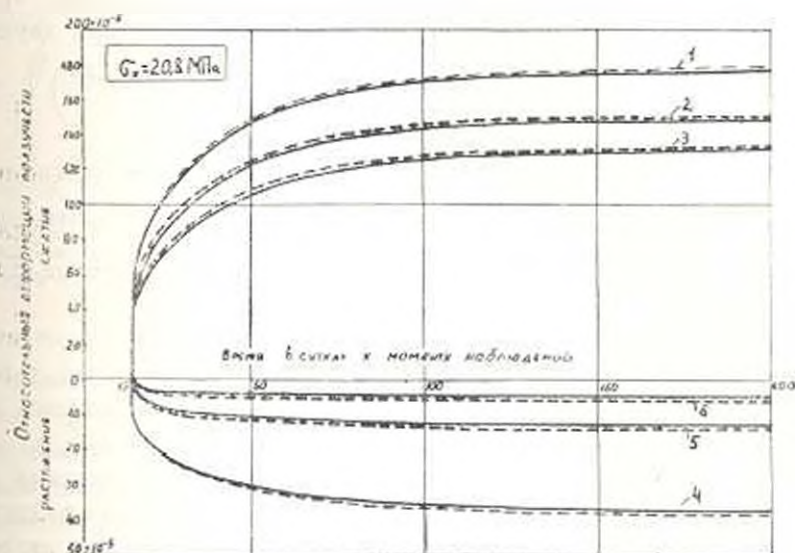


Рис. 2. Относительные деформации ползучести бетона при двухосном сжатии (2-я серия опытов): — экспериментальные значения; ---- теоретические значения. 1, 2, 3 — $\sigma_x(t, \tau)$ (при $\sigma_y = 0.2$ и 4 МПа), 4, 5, 6 — $\sigma_y(t, \tau)$ (при $\sigma_x = 0.2$ и 4 МПа).

Учитывая необходимость разработки аппарата теории расчета железобетонных конструкций с учетом ползучести бетона при разнообразных режимах нагружения в условиях сложного напряженного состояния, авторы статьи в своих теоретических исследованиях следовали первому из отмеченных выше подходов. Однако при теоретической обработке экспериментальных данных с учетом нелинейной ползучести бетона [1] даже при очень хорошем подборе функций и параметров, входящих в выражение для $C(\sigma, t, \tau)$ для осевого сжатия [2], было отмечено неудовлетворительное соответствие сравниваемых кривых деформирования опытных образцов. В этой связи, сохраняя традиционный подход к аналитическим зависимостям физических уравнений теории упруго-ползучего тела, для описания относительных деформаций ползучести бетона при постоянных во времени напряжениях двухосного сжатия были введены обобщенные нелинейные функции напряжений и функции влияния режимов нагружения.

С учетом выявленного выше близкого соответствия коэффициентов поперечных деформаций для постоянных напряжений сжатия предлагаются следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \epsilon_x(t, \tau) &= f_x(\sigma_x, \sigma_y) (\sigma_x - \nu \sigma_y) [C_x(t, \tau) + F_x(\sigma) C_n(t, \tau)]; \\ \epsilon_y(t, \tau) &= f_y(\sigma_x, \sigma_y) (\sigma_y - \nu \sigma_x) [C_y(t, \tau) + F_y(\sigma) C_n(t, \tau)], \end{aligned} \quad (2)$$

где $F_x(\sigma) = \left(\frac{\sigma_x - \nu \sigma_y}{\sigma_0} \right)^m$ и $F_y(\sigma) = \left(\frac{\sigma_y - \nu \sigma_x}{\sigma_0} \right)^m$ — обобщенные нелинейные функции напряжений соответственно в направлении σ_x и σ_y ; ν — коэффициент поперечной деформации ползучести при двухосном сжатии, равный $\nu_2(t, \tau)$; $f_x(\sigma_x, \sigma_y) = \left| 1 - A_x \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_l} \right)^a \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_l} \right)^b \right|$ и $f_y(\sigma_x, \sigma_y) = \left| 1 - A_y \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_l} \right)^a \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_l} \right)^b \right|$ — функции влияния режимов нагружения; σ_l — интенсивность нормальных напряжений; σ_0 — условное напряжение, равное 0,1 МПа; A_x, A_y, a, b — эмпирические коэффициенты.

Как видно из рис. 1 и 2, получено удовлетворительное соответствие экспериментальных и теоретических величин относительных деформаций ползучести бетона при двухосном сжатии, что наблюдалось и для образцов с другими соотношениями напряжений сжатия σ_x и σ_y .

Для описания длительных деформаций бетона при сложных режимах нагружения в условиях двухосного сжатия использован раздельный учет линейной и нелинейной составляющих ползучести [2] с введением аналогичных по физическому смыслу функций влияния режимов нагружения. В этом случае физические уравнения представляются в следующем виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x(t, \tau) &= (\sigma_x - \nu \sigma_y) [f_\lambda(\sigma_x, \sigma_y) C_\lambda(t, \tau) + f_n(\sigma_x, \sigma_y) F_x(\sigma) C_n(t, \tau)]; \\ \varepsilon_y(t, \tau) &= (\sigma_y - \nu \sigma_x) [f_\lambda(\sigma_x, \sigma_y) C_\lambda(t, \tau) + f_n(\sigma_x, \sigma_y) F_y(\sigma) C_n(t, \tau)], \end{aligned} \quad (3)$$

где $f_\lambda(\sigma_x, \sigma_y) = \left[1 - A \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right)^a \right]$, $f_n(\sigma_x, \sigma_y) = \left[1 - B \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right)^b \right]$ — функции влияния режимов нагружения, учитывающие соответственно снижение линейных $C_\lambda(t, \tau)$ и нелинейных $C_n(t, \tau)$ составляющих деформаций ползучести бетона.

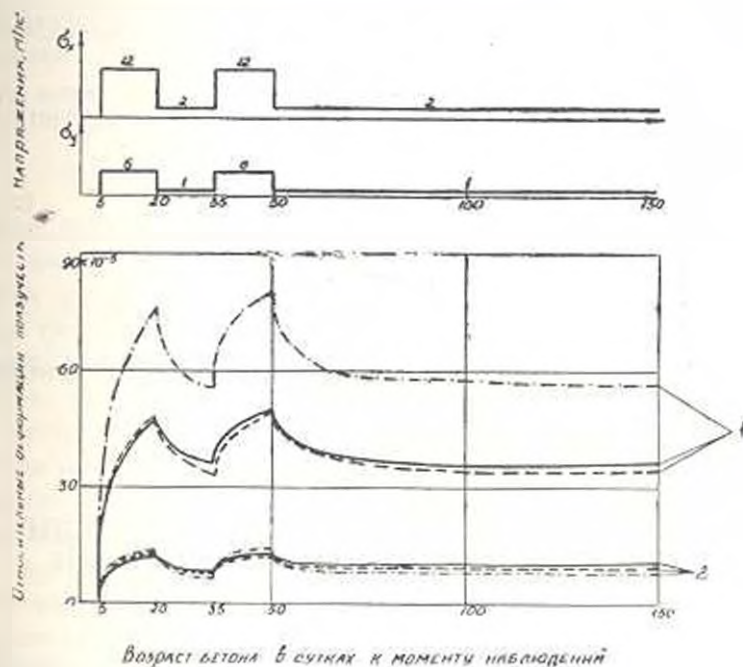


Рис. 3. Относительные деформации ползучести бетона при ступенчатых режимах нагружения: 1 — $\varepsilon_x(t, \tau)$; 2 — $\varepsilon_y(t, \tau)$. — — — экспериментальные значения; модифицированный принцип наложения воздействий по выражению (3); то же, но без учета функций влияния режимов нагружения.

Указанные предложения были апробированы при теоретической обработке деформаций ползучести бетонных образцов для простого (пропорционального) нагружения в условиях двухосного сжатия. При этом был использован модифицированный принцип наложения воздействий с различным учетом линейных и нелинейных деформаций ползучести на этапах догрузки и разгрузки [7]. Как видно из рис. 3, предлагаемые выражения для совершенствования аппарата теории нелинейной ползучести бетона в условиях двухосного сжатия в целом удовлетворительно отражают сложную картину деформирования бетона.

1. Друтюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. — М.: Гостехиздат, 1952. — 324 с.
2. Александровский С. В., Полкова О. М. Нелинейные деформации бетона при сложных режимах загрузки. // Бетон и железобетон. — 1970. — № 1. — С. 27—31.
3. Бондиренко В. М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. — Харьков: Изд-во Харьк. Гос. ун-та, 1968. — 324 с.
4. Лившиц Я. Д., Ткачук В. М. Исследование ползучести бетона при азотном и азотно-железном состоянии. // Бетон и железобетон. — 1973. — № 11. — С. 27—29.
5. Прокопович И. Е., Яременко А. Ф. Об особенностях ползучести бетона на дисках при двухосном сжатии. // Изв. вузов. Стр. и архит. — 1975. — № 9. — С. 20—23.
6. Нрядко Н. В., Малайкин Ю. Н. Ползучесть бетона при двухосном сжатии. // Бетон и железобетон. — 1980. — № 5. — С. 40—41.
7. Александровский С. В., Колесников Н. А. Нелинейная ползучесть бетона при ступенчато изменяющихся напряжениях. // Бетон и железобетон. — 1971. — № 5. — С. 24—27.

МО Атомэнергoproект

20 VI. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ГН), т. XLII, № 6, 1989, с. 288—293

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 534.833

Ю. А. ГАСПАРЯН, С. А. МАРГАРЯН, Б. Ю. ГАСПАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ ИМПЕДАНСНЫМ МЕТОДОМ

Работа посвящена определению динамических характеристик упругой связи ЛХУС низкочастотных звукопоглотителей, широко применяемых на практике. Расчет производится резонансным и импедансным методами с учетом акустических потерь в источнике распространения и коэффициента затухания в упругих связях. Рассмотрена количественная оценка между геометрическими и акустическими параметрами при определении импедансных характеристик резонатора. Сравнение теоретических и экспериментальных данных дает уверенность, не превышающую допустимую ошибку акустических измерений.

Ил. 2, Библиогр.: 3 назв.

Արհեստները նվիրված է գործնականում լաբորանկն կիրառվող քանի համախառնության ձայնակիրներին առաջական կապի դինամիկ բնութագրերի որոշմանը: Հաշվարկը կատարվում է ռեզոնանսային և իմպեդանսային մեթոդներով՝ նկատի ունենալով առաջական կապերում տարածման հաստատունի և ծարման զործակցի ձայնադիտական կորուստները: Ռեզոնանսորի իմպեդանսային բնութագրերի որոշման ժամանակ դիտարկվում է ներհաշվական և ձայնադիտական ցուցանիշների բանական գնահատականը: Տեսական և փորձնական սովորելների համեմատումը տալիս է ձայնադիտական լաբորանկների թույլատրելի սխալը չտերզանգող չեղում:

Рассмотрим резонансный звукопоглотитель [1], представляющий собой колебательную систему с двумя степенями свободы и состоящий

из массы входной лицевой панели M_1 , массы воздуха M_0 в щелевом отверстии и резонирующей полости, находящегося под панелью резонатора, комплексных жесткостей пружины $k_{1,3} = k_0(1 + j\eta)$ и упругости воздуха в резонирующей полости и щели резонатора $k_2 = \rho c^2(V_{\text{ш}} + V_0)j\omega$, приводимой и вынужденные колебания периодической силой $Fe^{j\omega t}$, которая приложена к массе панели (рис. 1). На основе дифференциальных уравнений движения колебательной системы имеем

$$\begin{aligned} M_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 - k_2 (x_2 - x_1) &= Fe^{j\omega t}, \\ M_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Решение этих уравнений ищем в виде комплексных скоростей [2, 3], затем находим комплексные амплитуды скоростей, которые на резонансных частотах бесконечно большие, а на антирезонансных частотах равны нулю.

Резонансный метод. При двухсистемной полости двухсекционного резонатора вследствие образования трехмассовой системы возрастает число степеней свободы, отчего изменяется дифференциальное уравнение движения колебательной системы (1). Дальнейшее увеличение числа степеней свободы позволяет измерять динамические характеристики на трех резонансных $\omega_{1,3,5}$ и двух антирезонансных частотах $\omega_{2,4}$. При этом массы первой и второй панели резонатора будут: $M_1 = M_{n1}$, $M_3 = M_{n2}$, $M_2 = M_{np}$, следовательно, динамическая жесткость резонатора определяется из следующих выражений:

$$\begin{aligned} k_{zp} &= \frac{(\omega_{1,3,5}^2 M_{n1} - k_1) [(M_{n2} + M_n) k_2 - M_{n2} M_n \omega_{1,3,5}^2]}{(M_{n1} + M_n) k_3 + M_{n2} (k_1 + k_2) - \omega_{1,3,5}^2 M_{n2} (M_{n1} + M_n)}; \\ k_{za} &= \frac{\omega_{2,4}^2 (M_{n2} + M_n) k_3 - \omega_{2,4}^2 M_{n2} M_{n1}}{k_2 - \omega_{2,4}^2 M_{n2}}; \quad \omega = 2\pi f_{\text{гнз}} \end{aligned} \quad (2)$$

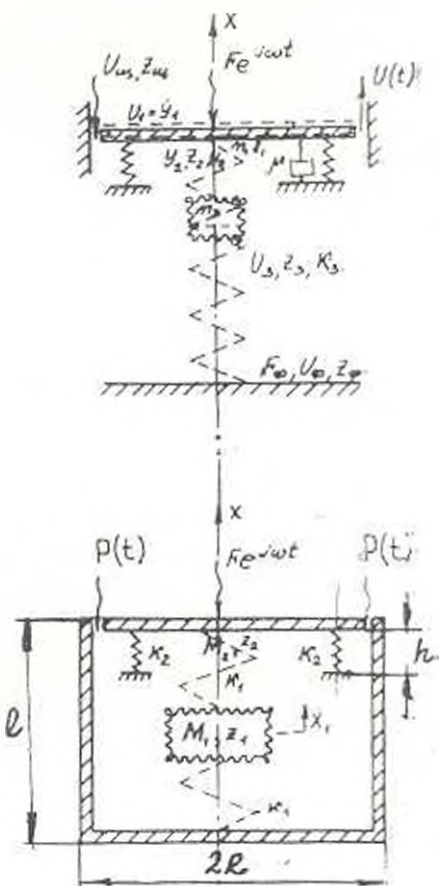


Рис. 1. Схема колебательной системы односекционного резонансного звукопоглотителя.

При отсутствии потерь ($\eta_1 = \eta_2 = 0$) и приравняв нулю знаменатель и числитель выражений амплитуды скоростей, получаем при двух-трехмассовой системе следующие резонансные и антирезонансные частоты:

$$\omega_{2,4} = [k_2 / (M_n + M_p)]^{1/2}; \quad (3)$$

$$\omega_{1,3,5} = \left(\frac{k_2}{M_n} \right)^{1/2} \left[0,5 \left(\frac{M_n + M_p}{M_n} + \frac{M_p k_1}{M_n k_2} \right) \right]^{1/2} \pm \pm 0,5 \left[\left(\frac{M_n + M_p}{M_n} + \frac{M_n k_1}{M_n k_2} \right)^2 - \frac{4 M_p k_1}{M_n k_2} \right]^{1/2}. \quad (4)$$

При малой массе панели M_n или большой жесткости, когда $\omega_{1,3,5}^2 M_n \ll k_2$, формула (2) приобретает вид $k = \omega^2 (M_n + M_p)$.

Частота первого резонатора, на которой можно производить измерение, определяется из условия $\omega^2 M_n \geq 0,2 k_2$, откуда получаем: $f \geq 0,5 \pi (0,2 k_2 / M_n)^{1/2}$.

Рассмотрим частные случаи значения (2). При $k_1 = 0$: $k_2 = \omega^2 M_n M_p / (M_n + M_p)$, т. е. получается одна резонансная частота с приведенной массой $M_n M_p / (M_n + M_p)$. Меняя соотношение между массами M_{n1} , M_{n2} , M_p , можно изменить резонансную частоту в соотношениях 1:3, 1:5, $(k_1 + k_2)^{1/2}$, $k_1 k_2 / M_n$ и k_1 / M_n .

Импедансный метод. Динамические характеристики звукопоглотителей могут быть определены не только резонансным методом по амплитуде скорости, но и по реактивной компоненте импеданса практически на любой частоте. Условие резонанса в реальных колебательных системах с двумя степенями свободы, в которых имеются потери, характеризуются компонентами импеданса резонатора, т. е. отношением приложенной силы к панели и скорости колебаний, откуда

$$Z = R + jY = F e^{j\omega t} / \dot{x}_{1,2}.$$

$$R(f) = \frac{k_1 \gamma_n (A^2 + B^2) + k_2 \omega^4 M_p^2 \gamma_{n2}}{\omega (A^2 + B^2)}, \quad Y = \frac{R(f)}{k_2 \omega} - \frac{\omega^2 M_n M_p}{k_2}, \quad (5)$$

$$Y(f) = \frac{[(\omega^2 M_n - k_1 - k_2) A + k_2^2] A - k_2^2 (\omega \gamma_{n2})^2 (M_n + M_p - k_1 \omega^2)}{\omega (A^2 + B^2)}.$$

Угол сдвига фазы между возбуждающей силой и скоростью определяется из выражений $\varphi = \arctg \frac{Y}{R}$. $A = k_2 - \omega^2 M_n$, $B = k_1 \gamma_n$.

Количество динамических характеристик упругой связи (ДХУС) может быть увеличено путем определения компонентов постоянной распространения γ и затухания α , акустических материалов и упругих связей конструкций.

$$k_1 = \frac{\omega^2 M_0}{k^2} \frac{k^2 - a^2}{(a^2 + k^2)}, \quad \gamma = \frac{2ak}{k^2 - a^2}, \quad \eta = \frac{f_{\text{pec}}}{\Delta f}, \quad \gamma = a + jk. \quad (6)$$

В этом случае импедансные характеристики определяются по формулам:

$$R_1 = \left(\frac{S_2 - S_1}{S_1} \right)^2 \frac{M_{\text{ac}}}{h} \frac{\text{sh}(2ak) - 0,5\gamma \sin(2kh)}{\text{ch}(2ak) + \cos(2kh)}, \quad (7)$$

$$Y_1(f) = \frac{(S_2 - S_1)^2}{S_1} \frac{M_{\text{ac}}}{h} \gamma \frac{0,5\text{sh}(2ak) + \sin(2kh)}{\text{ch}(2ak) + \cos(2kh)}. \quad (8)$$

Динамическую жесткость двухсекционных акустических конструкций можно определить по резонансу скоростей

$$\frac{\text{tg } kl}{kl} = \frac{M_{n1} + M_n - k_0/\omega^2}{(M_n M_{n2})(kl)^2 (M_{n1} - k_0/\omega^2) - M_{n1}}. \quad (9)$$

Корни kl уравнений могут быть определены по методике А. И. Крылова, откуда можно найти динамическую жесткость, полагая, что $kl = \text{tg } kl$ (ошибка не более 10–13%, если $kl \leq 0,5$), которая соответствует верхней граничной частоте $f \leq c/12l$. Из уравнений (9) имеем, что жесткость для двухсекционных звукопоглотителей при резонансных и антирезонансных колебаниях равна

$$k_{\text{р}} = \frac{(\omega^2 M_0 - k_1) M_n}{M_{n1} + M_{n2} + M_n - k_1/\omega^2}, \quad k_{\text{а}} = \omega^2 M_{n1}. \quad (10)$$

При $\text{tg } kl = kl + 0,3(kl)^3$, $kl \leq 0,895$ и $f = c/7l$, ошибка не превышает 10%. В этом случае уравнение (9) принимает вид

$$k_2 = (\omega^2 M_{n1} - k_1) M_n \left[\frac{M_{n1} + M_n - k_1/\omega^2}{1 + 0,3\omega^2 M_{n2}/k_1} + M_{n2} \right]^{-1}. \quad (11)$$

Если панель не нагружена ($M_n = 0$), из (9) для резонансных колебаний имеем: $(kl)^{-1} \text{tg } kl = k_1^2 - \omega^2 M_{n1}/\omega^2 M_{n2}$, а для антирезонансных колебаний — $\text{tg } kl \rightarrow \infty$ ($kl = 0,5\pi$, $n = 1, 3, 5, \dots$). При закреплении конца образца ($M_n = \infty$) для резонансных колебаний получаем $kl \text{tg } kl = \omega^2 M_{n1}/\omega^2 M_{n2} - k_1$, а для антирезонансных колебаний — $\text{tg } kl = 0$ ($kl = \pi$, $n = 1, 2, 3, \dots$). Решение уравнения при условии $f \leq c/12l$ дает $k_1 = \omega^2 M_n - k_1$, а при $f \leq c/7l$ жесткость более точно определяется из уравнения $k_2 = (\omega M_{n1} - k_1)(1 + 0,3\omega^2 M_{n2}/k_1)$.

Если к одной стороне панели присоединен входной импеданс $Z_{\text{вх}}$, а к другой — упругая связь-пружина с коэффициентом жесткости k и демпфером с коэффициентом сопротивления μ , то согласно уравнениям движения (1) и последовательному дифференцированию, с учетом трансформирования по поверхности получим

$$Z_{вх} = \left(\frac{S_s - S_n}{S_n} \right)^2 Z_0 \frac{Z_k + jZ_0 \operatorname{tg} kl}{Z_k + jZ_0 \operatorname{tg} kl}, \quad (12)$$

$$Z_k = \mu + j \left(\omega M - \frac{k}{\omega} \right), \quad Z_0 = S_0 c = (\mu SE)^{1/2}.$$

Освобождаясь от комплексного знаменателя, получаем

$$Z_{вх} = \left(\frac{S_s - S_n}{S_n} \right)^2 \frac{Z_0 Z_k (1 + \operatorname{tg}^2 kl) - j \operatorname{tg} kl (Z_0^2 + Z_k^2)}{Z_0^2 + (Z_k \operatorname{tg} kl)^2}, \quad (13)$$

следовательно, активные и реактивные компоненты равны

$$R(f) = \left(\frac{S_s - S_n}{S_n} \right)^2 \frac{Z_0 Z_k (1 + \operatorname{tg}^2 kl)}{Z_0^2 + (Z_k \operatorname{tg} kl)^2},$$

$$Y(f) = \left(\frac{S_s - S_n}{S_n} \right)^2 \frac{j (Z_k^2 + Z_0^2) \operatorname{tg} kl}{Z_0^2 + (Z_k \operatorname{tg} kl)^2}. \quad (14)$$

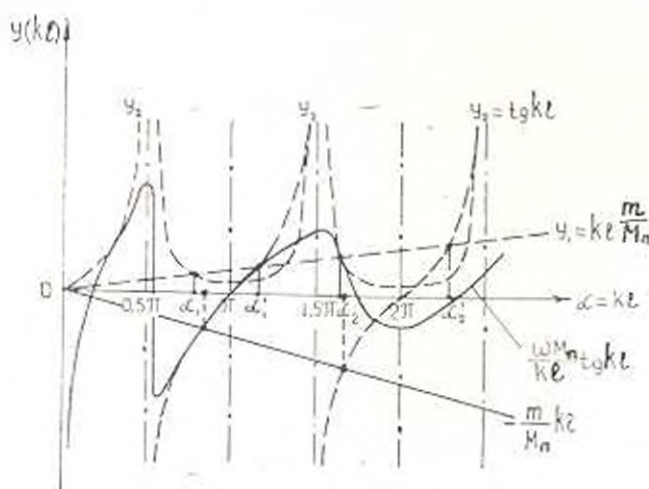


Рис. 2. Характеристики реактивного импеданса резонансного одно- (---) и двухсекционного (—) звукопоглотителя при заданном движении подающей панели.

При резонансе реактивная часть входного импеданса равна нулю, откуда $(Z_0^2 + Z_k^2) \operatorname{tg} kl = 0$, которое распадается на два уравнения: $Z_k^2 + Z_0^2 = 0$ при $\operatorname{tg} kl \neq 0$ и $\operatorname{tg} kl = 0$. В инженерной практике графическим методом строят графики функций $Y_1 = \operatorname{tg} kl$, $Y_2 = Z_0^2 + Z_k^2$ и находят абсциссы точек пересечения этих кривых. Как видно из рис. 2, присоединенные массы смещают резонансные частоты в сторону низких частот $\frac{\omega M}{kl}$ и $\operatorname{tg} kl$.

Акустический эффект количественной оценки возникновения дополнительной инерционности, вследствие размещения лицевой панели в полости резонатора на упругих опорах, устанавливался экспериментальным путем, между концевой поправкой щелевого зазора-толщины панели и его параметрами (частота звука, глубина зазора, высота, диаметр упругих связей-пружин). Количественную оценку влияния параметров δ , γ , ε на величину $\delta_{\text{опт}}$ проводили экспериментально при различных вариантах: для толщины деревянной панели $\varepsilon = 0,3-1,2$ см, металлических панелей $\varepsilon = 0,1-0,3$ см при зазоре $\delta = 0,1-0,5$ см и для коэффициента щелевой перфорации $\gamma = \frac{S_1 - S_2}{S_2} = 0,01-0,05$, высоты упругих связей $h = 1, 1,5, 2$ см и диаметра пружин $D = 0,5-1,5$ см. Сравнение теоретических и экспериментальных данных показывает при $\delta_{\text{опт}} = 0,1-0,3$ см, $h = 1,5$ см наблюдается дополнительное увеличение инерционности системы, влияющее на смещение резонансной частоты, что дает погрешность, не превышающую допустимую ошибку акустических измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1463884 СССР, МКИ: Е04В 1/84. Резонансный звукопоглотитель / Ю. А. Гаспарчи, Ю. М. Чудинов, Л. А. Борисов, С. А. Маргарян (СССР). — № 1244867. Заяв. 31.3.87. Опубл. 7.3.1989, БИ, № 9. — 3 с.
2. Пиповко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний в упругих телах. — М.: Машиностроение, 1976. — 317 с.
3. Росин Г. С. Измерение динамических свойств акустических материалов. — М.: Стройиздат, 1972. — 173 с.

ЕрПН им. К. Маркса

18. VI, 1988

Изв. АН АрмССР (сер. Техн.), т. XLII, № 6, 1989, с. 293—297

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 658.52.011.56.012.3

С. С. ЗАХАРЬЯН, А. П. МАТЕВОСЯН

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Описывается имитационная модель технологической линии, состоящей из последовательно соединенных производственных модулей, включающих технологическое оборудование, межоперационный склад, контрольное устройство, а также систему транспортировки. Разработанная модель представляется удобным средством для определения параметров технологической линии, таких, как: производительность и требуемая надежность технологического оборудования; максимальные вместимости и минимальные запасы на межоперационных складах; время восстановления технологического оборудования и др.

Ил. 1, Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.

Նկարագրված է տեխնոլոգիական զմի նմանակային մոդելը Գիծը բաղկացած է հաջորդաբար միացված արտադրական միավորներից, որոնք բնորոշվում են հաստոց, միջանցիկ պահեստ, անուղղի սարք և ինչպես նաև տրանսպորտային համակարգ: Մշակված մոդելը իրենից ներկայացնում է հարմար մեթոդ տեխնոլոգիական զմի այնպիսի պարամետրերի որոշման համար, որոնց քվին են պատկանում հաստոցի արտադրողականությունը և պահանջվող հուսափությունը, միջանցիկ պահեստների առավելագույն ունեկությունը և պատրենների նվազագույն ծավալը, հաստոցների վերականգնման ժամանակը և այլն:

В работе предлагается имитационная модель технологической линии (ТЛ) дискретного производства, реализованная на языке GPSS [3], которая может быть использована в качестве основного инструмента при проектировании или рационализации ТЛ.

В отличие от ранее опубликованных работ [1, 2, 4 и др.] предлагаемая имитационная модель позволяет исследовать функционирование ТЛ с учетом постоянных страховых заделов и возможности резервирования основного технологического оборудования. Введение страховых заделов и резервирования во многих случаях оказывается экономически оправданным, т. к. позволяет значительно повысить надежность ТЛ.

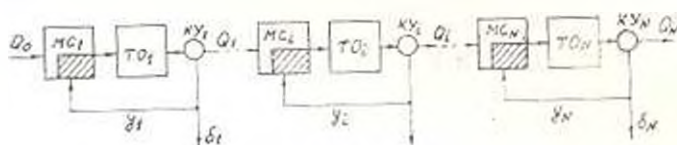


Рис.

Технологическая линия дискретного производства (рис.) в общем случае состоит из последовательно соединенных производственных модулей. Каждый производственный модуль может включать технологическое оборудование (ТО), межоперационный склад (МС), контрольное устройство (KV), а также систему транспортировки. После операции контроля материальный поток распределяется по трем направлениям: поток годных деталей Q_i , поток деталей с устранимыми дефектами y_i и поток бракованных деталей δ_i .

При проектировании рассматриваемого типа ТЛ требуется установить основные ее параметры, в том числе: производительность, требуемую надежность ТО, вместимости МС и величины страховых заделов, расчетное время восстановления ТО и другие. Рассматриваемая задача относится к классу многовариантных, оптимизационных, нелинейных и стохастических. Для ее решения представляется удобным применение метода имитационного моделирования, главным достоинством которого является возможность учета в процессе исследования динамических и стохастических аспектов функционирования ТЛ.

Основным показателем, определяющим выбор оптимальных параметров и структуры ТЛ, является ее экономическая оценка по минимуму приведенных затрат при заданном объеме выпуска готовых изделий. Рассматриваемая задача формализована с помощью математической модели, включающей целевую функцию вида

$$Z^{TL} = \sum_{i=1}^N (Z_i^{TO} + Z_i^{MC} + Z_i^{KY} + Z_i^{TP} - Z_i^A - Z_i^{PO} + Z_i^B + Z_i^{PB}) + Z^Y - m\pi, \quad (1)$$

где Z^{TL} — приведенные затраты на ТЛ; N — число технологических модулей; Z_i^{TO} , Z_i^{MC} и Z_i^{KY} — приведенные затраты соответственно на ТО, МС и КУ; Z_i^{TP} , Z_i^A , Z_i^{PO} — затраты, связанные соответственно с техническим обслуживанием, страховым заделом и резервным оборудованием; Z_i^B — ущерб от технологического брака; Z_i^{PB} — затраты на мероприятия, направленные на сокращение доли дефектной продукции; Z^Y — ущерб, связанный с невыполнением плановых показателей и графика поставок.

Математическая модель включает также ряд ограничений:

$$0 \leq V_i^{MC} \leq V_{i\max}^{MC}; \quad (2)$$

$$P_{i\min} \leq P_i \leq P_{i\max}; \quad (3)$$

$$0 < H_i \leq H_{i\max}; \quad (4)$$

$$T_{i\min} \leq T_i^B \leq T_{i\max}^B; \quad (5)$$

$$0 < \beta_i \leq \beta_{i\max}; \quad (6)$$

$$S^{TL} \leq S_{\max}^{TL}; \quad (7)$$

$$Z^{TL} \leq Z_{\max}^{TL}, \quad (8)$$

где V_i^{MC} — объем МС, P_i — производительность ТО, H_i — надежность ТО, T_i — среднее время восстановления ТО, β_i — доля дефектной продукции, S^{TL} — площадь производственного поглощения, $Z_{\max}^{TL}$ — лимитная цена на создание ТЛ.

Предлагаемая имитационная модель состоит из шести сегментов: работы ТЛ, отказов и восстановления ТО, замены инструмента, резервного оборудования, сбора данных о содержимом МС, таймера.

В первом сегменте имитируется работа ТЛ. Для ТЛ, содержащей N технологических модулей, в сегменте циркулируют N транзактов. Каждый из транзактов, прежде чем поступить на «обслуживание», проверяет ограничения на наличный запас и на максимально допустимое количество деталей на МС последующего модуля. При выполнении этих условий содержимое МС уменьшается на единицу, после чего транзакт продвигается в блок, моделирующий занятие станка. По истечении времени обработки транзакт поступает в блок, имитирующий КУ, который по заданному вероятностному закону либо осуществляет «отбраковку», либо пропускает транзакт в блок, в котором осуществляется увеличение на единицу числа деталей на МС следующего модуля. В случае устранимого дефекта транзакт возвращается на вход блока моделирующего занятие станка, а при неустранимом дефекте поступает в блок регистрации бракованных деталей, после чего возвращается на вход

сегмента. Второй сегмент модели обеспечивает, в соответствии с функциями распределения времени безотказной работы, блокировку станков на время восстановления. Третий сегмент обеспечивает в определенные моменты времени отключение каждого из станков на время, необходимое для замены инструмента, после чего станок вновь включается в работу. В четвертом сегменте модели имитируется включение резервного оборудования в производственный процесс при аварийных и сбойных ситуациях. Время включения зависит от конкретной организации производственного процесса. Пятый сегмент предназначен для регистрации и сбора данных, позволяющих оценить распределение числа деталей, находящихся на МС. Шестой сегмент модели обеспечивает вычисление приведенных затрат согласно целевой функции, а также завершения моделирования в заданный момент времени.

Таблица 1

Входной параметр	№ модуля				
	1	2	3	4	5
Среднее время наработки на отказ станков, ч	170	150	130	140	175
Среднее и среднеквадратичное отклонение числа обрабатываемых деталей одним режущим инструментом, шт	700	1000	1000	900	48000
	15	30	30	25	1800
Среднее и среднеквадратичное отклонение времени замены режущего инструмента, с	360	120	120	240	2200
	10	4	4	8	80
Такт работы станков, с	66	49	51	45	62
Вероятность появления деталей с устранимым дефектом	0,006	0,005	0,005	0,006	0,009
Вероятность появления деталей с неустраняемым дефектом	0,004	0,003	0,003	0,0045	0,005

В качестве примера рассмотрена ТЛ по производству валов электродвигателей, состоящая из пяти модулей. В первом модуле осуществляется подрезка и центровка заготовки, во втором и третьем — токарная обработка, в четвертом — фрезеровка шпоночного паза, в пятом — шлифовка диаметра под сердечник ротора. Время наработки на отказ станков распределено экспоненциально, а число обрабатываемых деталей одним режущим инструментом и время его замены подчиняются нормальному распределению. Исходная информация приведена в табл. 1. Моделирование осуществлялось на ЭВМ ЕС 1033. В процессе моделирования для каждого станка было задано по три разных значения среднего времени восстановления, распределенного экспоненциально, а также соответствующие им приведенные затраты. В результате были определены оптимальные величины среднего времени восстановления каждого из станков, вместимости МС и величины страховых запасов. Полученные значения параметров приведены в табл. 2.

Выходной параметр	№ модуля				
	1	2	3	4	5
Среднее время восстановления, мин	135	120	120	100	130
Вместимость склада, ячейки		235	220	200	210
Величина задела, шт		125	110	110	90

Описанная выше имитационная модель обладает высокой гибкостью, дающей возможность производить настройку модели на произвольную последовательно-параллельную структуру ТЛ с необходимым числом элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имитационное моделирование производственных систем / Под общ. ред. А. А. Вавилова. — М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. — 416 с.
2. Марасова Г. А., Синекон Ю. С. Моделирование прохождения изделий по технологической линии // Автоматизация проектирования в электронике. — 1987. — № 36. — С. 57—61.
3. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GIPSS. — М.: Машиностроение, 1980. — 72 с.
4. Savsar Mehmet, Biles William E. A simulation model for automated multi-stage production lines // Ann. Int. Ind. Eng. Conf., Chicago, Ill., May 6—10, 1984. — Norcross, Ga, 1984. — P. 517—525.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 6, 1989, с. 297—302

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62.501.7

В. К. БРУТЯН

К СТОХАСТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ МАРКОВСКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На закон управления марковскими системами, состояние которых задается стохастическими дифференциальными уравнениями Ито, а функционал качества выражениями, накладывающими нелинейные ограничения. Для заданных нелинейных структур законов стохастического управления в пространстве состояний методами статистической линейаризации определяются приемлемые приближенные решения. Показывается, что при заданных структурных ограничениях решение эквивалентной линейной задачи достаточно точно сходится к субоптимальному решению исходной задачи. На конкретном примере полученные результаты применяются для определения закона стохастического управления двумерными марковскими системами.

Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.

Աշխատանքում հստակ նորմալիզացիայի գերակշռությամբ խափանողից լար-
վածությամբ նախադրվողի կոմպարտման օրենքի վրա հիմնված են ոչ գծային սահմանափակում-
ներ, խափանման արագ բերողովում է բառակազմային ֆունկցիոնալով, հիմնված ոչ գծային

Выходной параметр	№ модуля				
	1	2	3	4	5
Среднее время восстановления, мин	135	120	120	100	130
Вместимость склада, ячейки		235	220	200	210
Величина задела, шт		125	110	110	90

Описанная выше имитационная модель обладает высокой гибкостью, дающей возможность производить настройку модели на произвольную последовательно-параллельную структуру ТЛ с необходимым числом элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имитационное моделирование производственных систем / Под общ. ред. А. А. Вавилова. — М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. — 416 с.
2. Марасова Г. А., Синекон Ю. С. Моделирование прохождения изделий по технологической линии // Автоматизация проектирования в электронике. — 1987. — № 36. — С. 57—61.
3. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GIPSS. — М.: Машиностроение, 1980. — 72 с.
4. Savsar Mehmet, Biles William E. A simulation model for automated multi-stage production lines // Ann. Int. Ind. Eng. Conf., Chicago, Ill., May 6—10, 1984. — Norcross, Ga, 1984. — P. 517—525.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 6, 1989, с. 297—302

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62.501.7

В. К. БРУТЯН

К СТОХАСТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ МАРКОВСКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На закон управления марковскими системами, состояние которых задается стохастическими дифференциальными уравнениями Ито, а функционал качества выражениями, накладывающими нелинейные ограничения. Для заданных нелинейных структур законов стохастического управления в пространстве состояний методами статистической линейаризации определяются приемлемые приближенные решения. Показывается, что при заданных структурных ограничениях решение эквивалентной линейной задачи достаточно точно сходится к субоптимальному решению исходной задачи. На конкретном примере полученные результаты применяются для определения закона стохастического управления двумерными марковскими системами.

Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.

Աշխատանքում հստակ նորմալիզացիայի գերակշռությամբ օպտիմալիզացիայի լար-
դիանտ ֆունկցիաների կոմպոզիցիան օրենքի վրա դրված են ոչ գծային սահմանափակում-
ներ: Նշանակարանի արժեք բերողում է բաժանաչափի ֆունկցիոնալով: Տրված ոչ գծային

ստատիստիկ կառավարման օրենքների համար որոշվում են մոտավոր բնորոշելի լուծումներ փիճակագրական զոնայացման մեթոդներով դրոթյունների տարածության մեջ: Որոշված է, որ տրված կառուցվածքային սահմանափակումների ղեկավարում համարվեք զոնային խնդրի լուծումը բավական ճիշտ դուգամիտվում է ելքային խնդրի համարյա լավագույն լուծմանը: Որոշակի օրինակով ստացված արգյունները կիրառվում են երկչափանի մարկովյան համակարգի օտո- խոստիկ կառավարման օրենքի համար:

Рассматривается динамическая управляемая система, описываемая векторным стохастическим дифференциальным уравнением типа Ито [1]:

$$\dot{x}(t, \omega) = [Ax(t, \omega) + Du(t, \omega)] dt + G d\xi(t, \omega), \quad x(0, \omega) = x_0(\omega), \quad (1)$$

где $x(t, \omega)$ является n -мерным векторным стохастическим процессом в евклидовом пространстве R^n , представляющим состояние системы; $u(t, \omega)$ — r -мерный вектор нелинейного управления, значения которого находятся в выпуклом компактном подмножестве $U \subset R^r$; $\xi(t, \omega)$ — l -мерный винеровский процесс с нулевым математическим ожиданием и корреляционной матрицей $M[d\xi(t, \omega)d\xi'(\tau, \omega)] = S(t)|t - \tau|$; A , D и G — $n \times n$, $n \times r$ и $n \times l$ -мерные матрицы параметров, соответственно; ω — общая точка вероятностного пространства.

Предполагается, что начальное состояние $x_0(\omega)$ является нормальным случайным вектором с нулевым математическим ожиданием, не зависящим от $\xi(t, \omega)$ и имеющим корреляционную матрицу $M[x_0(\omega)x_0'(\omega)] = \Gamma_0$, где штрих обозначает транспонирование. Предполагается также, что решение уравнения (1) представляет собой марковский управляемый процесс с математическим ожиданием $\bar{x}(t) = M[x(t, \omega)]$, корреляционной матрицей $\Gamma = M[(x(t, \omega) - \bar{x}(t))(x(t, \omega) - \bar{x}(t))']$ и n -мерной плотностью распределения вероятностей

$$p(x) = (2\pi)^{-n/2} |\Gamma|^{-1/2} \exp[-0.5(x - \bar{x})' \Gamma^{-1}(x - \bar{x})]. \quad (2)$$

Здесь и в дальнейшем для краткости принимаются: $\bar{x}^A = \bar{x}(t)$, $\Gamma^A = \Gamma(t)$, а символ ω опускается.

Задача состоит в определении такого закона стохастического нелинейного управления $u = v(x)$ типа обратной связи, который в подмножестве U минимизирует ожидаемый квадратичный функционал

$$J = M \left\{ x_T' \Gamma_T x_T + \int_0^T (x' B x + u' E u) dt \right\}$$

на основе априорной плотности распределения вероятностей $p(x_0)$ для начального состояния, где $\Gamma_T \gg 0$, $B \gg 0$ и $E \gg 0$ являются соответственно измеримыми, локально ограниченными симметрическими матрицами. Решение этой задачи при наличии заданной нелинейной струк-

туре закона стохастического управления в подмножестве U неизвестно [2, 3]. При этом условия суть большинства методов решения описывается на разложении нелинейной функции $v(x)$ в ряд Тейлора, что имеет следующие недостатки. Во-первых, при больших интенсивностях внешних процессов алгоритмы могут давать расходящиеся результаты вследствие эффекта подчеркивания случайности операциями дифференцирования, которые участвуют в разложении [4, 5]. Во-вторых, разложение справедливо только для непрерывных законов нелинейного управления [4, 6]. Одним из возможных подходов к рассматриваемой задаче, свободным от этих недостатков, является метод статистической линеаризации [1, 4–8].

Решение задачи. В соответствии с методом статистической линеаризации закон стохастического нелинейного управления $u = v(x)$ заданной структуры в подмножестве U заменяется на линейное стохастическое управление $w = u_1 x + u_2$, где u_1 есть некоторая $r \times n$ -мерная матрица. Эквивалентные коэффициенты r -скалярных компонент нелинейного стохастического управления $v_i(x)$ являются вектор-строками u'_i матрицы u_1 и скалярными смещениями u_{2i} . Согласно методу статистической линеаризации эквивалентные коэффициенты u_{1i} и u_{2i} определяются из условий

$$M[u_i] = M[w_i], \quad i = 1, \dots, r, \quad (3)$$

$$M[(u_i - \bar{u}_i)(u_j - \bar{u}_j)] = M[(w_i - \bar{w}_i)(w_j - \bar{w}_j)], \quad (4)$$

$$i, j = 1, \dots, r.$$

Подставляя $u_i = v_i(x)$ и $w_i = u'_{1i} x + u_{2i}$ в выражение (3), можно получить

$$u_{2i} = \int_{R^n} v_i(x) p(x) dx - u'_{1i} \bar{x}.$$

Учитывая, что $\bar{u} = M[u] = M[v(x)]$, $\bar{w} = M[w] = u_1 \bar{x} + u_2$ и

$$M[(w - \bar{w})(w - \bar{w})'] = M[u_1(x - \bar{x})(x - \bar{x})' u_1'] = u_1 \Gamma u_1',$$

$$M[(u - \bar{u})(u - \bar{u})'] = M[v(x)v'(x)] = M\{v(x)\}M\{v'(x)\},$$

из условия (4) можно определить

$$u_1 \Gamma u_1' = \int_{R^n} v(x)v'(x)p(x)dx - \int_{R^n} v(x)p(x)dx \int_{R^n} v'(x)p(x)dx.$$

Это матричное соотношение соответствует скалярным соотношениям

$$u'_{1i} \Gamma u_{1j} = \int_{R^n} v_i(x)v_j(x)p(x)dx - \int_{R^n} v_i(x)p(x)dx \int_{R^n} v_j(x)p(x)dx. \quad (5)$$

В соответствии с модифицированным методом статистической линейризации коэффициенты u_{11} и u_{21} находятся из условия [1, 5, 6, 8]

$$\min \int_{R^n} |v_i(x) - u'_{1i} x - u_{2i}|^2 p(x) dx.$$

В этом методе эквивалентные коэффициенты u_{11} и u_{21} определяются в виде

$$\bar{u}_{11} = \Gamma^{-1} \int_{R^n} (x - \bar{x}) v_i(x) p(x) dx,$$

$$\bar{u}_{21} = \int_{R^n} v_i(x) p(x) dx - u'_{11} \bar{x}.$$

Из полученных выражений очевидно, что оба метода дают различные значения для u_{11} и одинаковые — для u_{21} .

В частных случаях, если в подмножестве U закон стохастического управления заданной структуры линейный и нечетный (т. е. $v_i(x) = k'_i x$ и $v_i(-x) = -v_i(x)$), можно избежать вычисления кратных интегралов, т. к. $\bar{x} = u_2 = 0$ и $u_{11} = \lambda_i k_i$, где λ_i — скалярные величины. В этом частном случае для метода статистической линейризации из соотношения (5) следует

$$\lambda_i^2 k_i \Gamma k_i = \int_{-\infty}^{\infty} v_i^2(y) p(y) dy$$

или

$$\lambda_i = \left[h_i^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} v_i^2(y) p(y) dy \right]^{1/2},$$

где $y = k'_i x$, $h_i = k'_i \Gamma k_i$, $p(y) = (2\pi h)^{-1/2} \exp(-y^2/2h)$.

Величина $\bar{\lambda}_i$ будет равна

$$\bar{\lambda}_i = h_i^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} y v_i(y) p(y) dy.$$

Отметим, что если в подмножестве U закон стохастического управления заданной структуры содержит элемент:

а) с релейной характеристикой [4, 5, 7, 8]:

$$v_i(x) = \text{sign}(k'_i x),$$

то $\lambda_i = h_i^{-1/2}$, $\bar{\lambda}_i = (2/\pi)^{1/2} h_i^{-1/2}$.

б) с характеристикой типа насыщения [4, 5, 7, 8]:

$$v_i(x) = \begin{cases} k_i x, & \text{если } |k_i x| \leq 1, \\ \text{sign}(k_i x), & \text{если } |k_i x| > 1, \end{cases}$$

то

$$\lambda_i = [h_i^{-1} - (2/\pi) \cdot h_i^{-1} \exp(-(1/2) h_i) + (1 - h_i^{-1}) \text{erf}(h_i^{-1})]^{-1},$$

$$\bar{\lambda}_i = \text{erf}(h_i^{-1}),$$

где erf обозначает интеграл вероятности ошибки [7]

Ниже сравниваются значения функционалов качества при управлении методами статистической линеаризации и субоптимальным методом полиномиальной аппроксимации [1, 9].

Пример. Пусть динамическая марковская система описывается уравнениями $dx_1 = x_2 dt + d\bar{z}$, $dx_2 = -u dt$, $|u| \leq 1$, $M[d\bar{z}(t)d\bar{z}'(t)] = S|t - \tau|$, $M[d\bar{z}(t)] = 0$ и требуется провести анализ для следующих двух случаев.

Случай 1. Функционал качества и структура закона стохастического управления описываются выражениями

$$J = \int_0^T x_1^2 dt, \quad u = \text{sign}(k_1 x_1 + k_2 x_2).$$

Вычисления по изложенным методам дают значения коэффициентов k_1 и k_2 для которых могут быть найдены соответствующие величины функционала качества, причем, при использовании $\bar{\lambda}$ и λ получаются различные значения J . Для такой структуры закона стохастического управления с помощью метода полиномиальной аппроксимации находится также субоптимальное управление. Сравнение результатов приводится в табл. 1, где столбец 1 соответствует методу статистической линеаризации, а 2 — модифицированному методу статистической линеаризации. Из этой таблицы очевидно, что в данном случае наилучшая сходимость к результатам субоптимального метода полиномиальной аппроксимации получается при модифицированном методе статистической линеаризации.

Случай 2. Функционал качества и структура закона стохастического управления описываются выражениями

$$J = \int_0^T (x_1^2 + u^2) dt,$$

$$u = \begin{cases} \text{sign}(k_1 x_1 + k_2 x_2), & \text{если } |k_1 x_1 + k_2 x_2| > 1, \\ k_1 x_1 + k_2 x_2, & \text{если } |k_1 x_1 + k_2 x_2| \leq 1. \end{cases}$$

В этом случае сравнения результатов приводятся в табл. 2, из которой очевидно, что метод статистической линеаризации дает по срав-

нению с субоптимальным методом полиномиальной аппроксимации лучшие результаты, чем модифицированный метод.

Таблица 1

Значение коэффициента интенсивности в перовского процесса	Значение функционала качества		
	при управлении методом полиномиальной аппроксимации	при управлении методами статистической линеаризации	
		1	2
0,5	0,198	0,123	0,142
1	1,263	0,791	0,921
2	8,018	5,245	5,845
3	25,347	11,456	17,196
4	52,175	23,918	34,137
5	92,126	57,719	67,239

Таблица 2

Значение коэффициента интенсивности в перовского процесса	Значение функционала качества		
	при управлении методом полиномиальной аппроксимации	при управлении методами статистической линеаризации	
		1	2
0,5	0,354	0,353	0,353
1	1,437	1,421	1,426
2	5,985	6,059	6,434
3	14,296	13,833	17,657
4	36,739	35,416	40,199
5	61,782	59,825	67,976

Из проведенного численного анализа следует, что в общем случае тот или иной метод статистической линеаризации не может быть рекомендован как наилучший, т. к. конечные результаты зависят от структуры закона стохастического управления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Брильян В. К. Основные аспекты теории непрерывных марковских управляемых систем и ее приложение. — Ереван: Агастап, 1984. — 296 с.
2. Ройтенберг Я. Н. Автоматическое управление. — М.: Наука, 1978. — 552 с.
3. Пугачев В. С., Синицын И. Н. Стохастические дифференциальные системы. — М.: Наука, 1985. — 560 с.
4. Бессекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. — М.: Наука, 1966. — 992 с.
5. Пулков К. А. Статистический расчет нелинейных систем автоматического управления. — М.: Машиностроение, 1965. — 399 с.
6. Казаков Н. Е., Мальчиков С. В. Анализ стохастических систем в пространстве состояний. — М.: Наука, 1983. — 384 с.
7. Брильян В. К. Некоторые вопросы применения марковских процессов к исследованию нелинейных автоматических систем. — Ереван: Изд-во ЕрГУ, 1974. — 197 с.
8. Казаков Н. Е., Досгуллаев Б. Г. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем. — М.: Физматгиз, 1962. — 332 с.
9. Брильян В. К. Об одной задаче синтеза нелинейных марковских управляемых систем методом полиномиальной аппроксимации // Автоматика и телемеханика, — 1980, — № 7. — С. 51—51.

Р. Р. КАМАЛЯН

О СУЩЕСТВОВАНИИ И ПОСТРОЕНИИ НЕКОТОРЫХ
РАСПИСАНИЙ С ПРЕДПИСАНИЯМИ

Рассмотрена одна задача о существовании и построении некоторых расписаний с предписаниями. Даны множество I требований, множество E единичных временных интервалов и множество B приборов, предназначенных для обслуживания требований множества A в течение временных интервалов множества E . Даны также ряд дополнительных условий, выражающих предписания пожелания участников (требований и приборов) процесса обслуживания. Требуется выяснить, существует ли удовлетворяющее заданным условиям расписание обслуживания и, в случае существования, построить его. Предложен полиномиальный алгоритм решения рассмотренной задачи.

Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

Պահանջված է նախապատվերներով որոշ կարգադրեցականի գոյության և կառուցման մի խնդիրը Տրված են պահանջների A բազմությունը, միավոր ժամանակային հատվածների E բազմությունը և A բազմության պահանջների E բազմության ժամանակային հատվածների բնթացքում սպասարկման համար նախատեսված սարքերի B բազմությունը: Տրված են նաև մի շարք լրացուցիչ պայմաններ, որոնք արտահայտում են սպասարկման պրոցեսի մասնակիցների (պահանջների և սարքերի) նախապատվերները: Պահանջվում է պարզել, գոյություն ունի արդյոք տրված պայմաններին բավարարող սպասարկման պրոցեսի կարգադրեցակ և դրա գոյության դեպքում կառուցել այն: Առաջարկված է խնդրի լուծման արդյունավետ ալգորիթը:

При составлении расписаний (производственных, учебных, транспортных и т. д.) часто встречаются дополнительные трудности — предписания, обусловленные индивидуальными пожеланиями исполнителей, спецификой условий труда (желание преподавателя быть свободным в определенные часы, недопустимость выполнения особо ответственных работ в ночное время и т. д.). Работа посвящена одной задаче о существовании и построении расписания с предписаниями для обслуживания требований параллельными идентичными приборами (в роли приборов могут выступать станки, бригады, вычислительные машины, железнодорожные пути, учебные помещения, а в качестве требований — обрабатываемые детали, заказы, выполняемые программы, поезда, группы студентов и т. п.). Предложено эффективное решение этой задачи путем сведения ее к задаче о целочисленном потоке в сети. Ранее идея сведения задачи о расписании к задаче о максимальном потоке была предложена в [1, 2], а неопределяемые понятия можно найти в [3, 4].

Пусть $c = \{c_1, \dots, c_r\}$ — множество временных интервалов единичной длительности, $e_i = (i-1, i)$, $i = 1, \dots, r$. $A = \{A_1, \dots, A_r\}$ — множество требований, $B = \{B_1, \dots, B_q\}$ — множество приборов, которые должны обслуживать требования множества A при следующих условиях:

1. Для каждого прибора B_j , $j = 1, \dots, q$ даны:

а) целые неотрицательные числа $h(B_j)$ и $H(B_j)$, $h(B_j) \leq H(B_j)$, ограничивающие снизу и сверху суммарное время работы прибора B_j ;

б) три подмножества $T_1(B_j)$, $T_2(B_j)$, $T_3(B_j)$ временных интервалов из e , $T_k(B_j) \cap T_l(B_j) = \emptyset$ при $1 \leq k < l \leq 3$, $\bigcup_{k=1}^3 T_k(B_j) = e$ так, что прибор B_j обязательно должен работать в течение временных интервалов из $T_1(B_j)$, может работать в течение временных интервалов из $T_2(B_j)$, не может работать в течение временных интервалов $T_3(B_j)$.

2. Для каждого требования A_i , $i = 1, \dots, p$ даны:

а) целые неотрицательные числа $h(A_i)$ и $H(A_i)$, $h(A_i) \leq H(A_i)$, ограничивающие снизу и сверху суммарное время обслуживания требования A_i ;

б) три подмножества $T_1(A_i)$, $T_2(A_i)$, $T_3(A_i)$ временных интервалов из e , $T_k(A_i) \cap T_l(A_i) = \emptyset$ при $1 \leq k < l \leq 3$, $\bigcup_{k=1}^3 T_k(A_i) = e$ так, что требование A_i обязательно должно обслуживаться в течение временных интервалов из $T_1(A_i)$, может обслуживаться в течение временных интервалов из $T_2(A_i)$, не может обслуживаться в течение временных интервалов из $T_3(A_i)$.

3. Для каждой пары (A_i, B_j) , $i = 1, \dots, p$, $j = 1, \dots, q$ даны три подмножества $T^1((A_i, B_j))$, $T^2((A_i, B_j))$, $T^3((A_i, B_j))$, $T^k((A_i, B_j)) \cap T^l((A_i, B_j)) = \emptyset$, $k \neq l$, $1 \leq k < l \leq 3$, $\bigcup_{k=1}^3 T^k((A_i, B_j)) = e$ так, что требование A_i должно обязательно обслуживаться прибором B_j в течение временных интервалов из $T^1((A_i, B_j))$, A_i может обслуживаться B_j в течение временных интервалов из $T^2((A_i, B_j))$, A_i не может обслуживаться из B_j в течение временных интервалов из $T^3((A_i, B_j))$.

4. Предполагается, что если требование A_i , $i = 1, \dots, p$ обслуживается прибором B_j , $j = 1, \dots, q$ в течение временного интервала e_s , $s = 1, \dots, r$, то B_j обслуживает A_i в течение всего e_s , в течение каждого временного интервала из e каждый прибор может обслуживать не более одного требования и каждое требование может обслуживаться, не более, чем одним прибором.

Требуется выяснить, существует ли расписание обслуживания требований множества A приборами множества B в течение временных интервалов из множества e , удовлетворяющее указанным условиям, и, в случае существования, построить такое расписание.

Рассмотрим ориентированную сеть G (рис.), множество $V(G)$ узлов и множество $U(G)$ дуг которой определяются следующим образом:

$$V(G) = \{S, T, x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_q, x_1^1, \dots, x_1^r, x_2^1, \dots, x_2^r, \dots, \\ x_p^1, \dots, x_p^r, y_1^1, \dots, y_1^r, y_2^1, \dots, y_2^r, \dots, y_q^1, \dots, y_q^r\},$$

где S — источник, T — сток в G ;

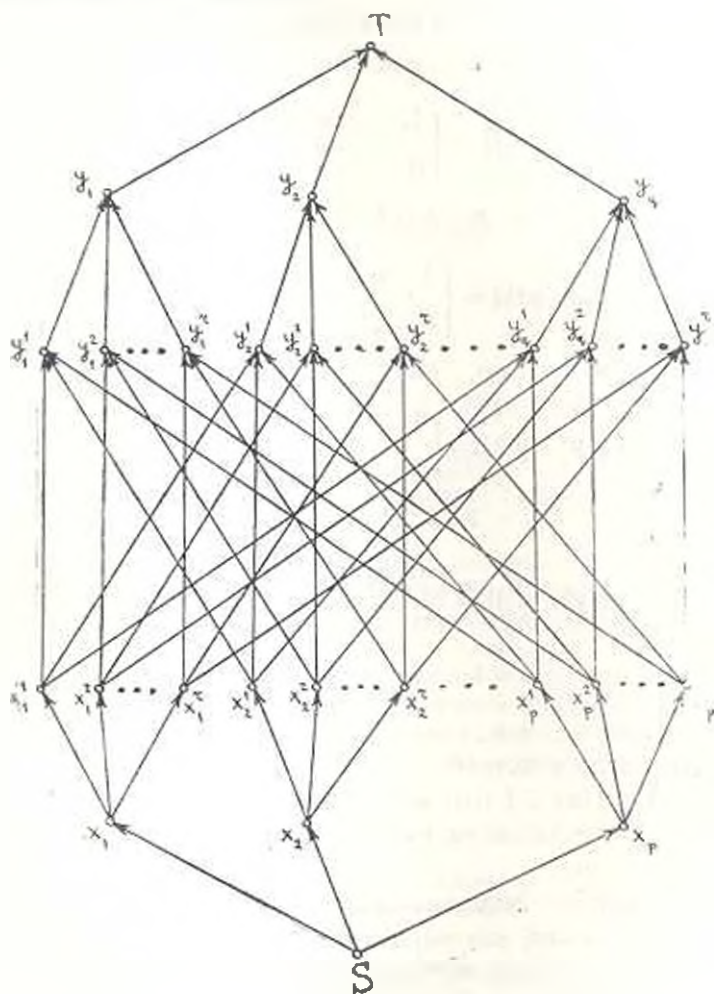


Рис.

$$U(G) = \{(S, x_i) | 1 \leq i \leq p\} \cup \{(x_i, x_i^k) | 1 \leq i \leq p, 1 \leq k \leq r\} \cup \\ \cup \{(x_i^k, y_j^1) | 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq q, 1 \leq k \leq r\} \cup \{(y_j^k, y_j) | 1 \leq j \leq q, \\ 1 \leq k \leq r\} \cup \{(y_j, T) | 1 \leq j \leq q\}.$$

На множестве $U(G)$ определим целочисленные функции l и L :

$$l((S, x_i)) = h(A_i), \quad L((S, x_i)) = H(A_i), \quad i = 1, \dots, p;$$

$$l((y_j, T)) = h(B_j), \quad L((y_j, T)) = H(B_j), \quad j = 1, \dots, q;$$

$$l((x_i, x_i^k)) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_k \in T_1(A_i), \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$i = 1, \dots, p, \quad k = 1, \dots, r$$

$$L((x_i, x_i^k)) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_k \in T_2(A_i), \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$i = 1, \dots, p, \quad k = 1, \dots, r$$

$$l((x_i^k, y_j^k)) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_k \in T^1((A_i, B_j)), \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$i = 1, \dots, p, \quad j = 1, \dots, q, \quad k = 1, \dots, r$$

$$L((x_i^k, y_j^k)) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_k \in T^2((A_i, B_j)), \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$i = 1, \dots, p, \quad j = 1, \dots, q, \quad k = 1, \dots, r$$

$$l((y_j^k, y_j)) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_k \in T_1(B_j), \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$j = 1, \dots, q, \quad k = 1, \dots, r$$

$$L((y_j^k, y_j)) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_k \in T_2(B_j), \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$j = 1, \dots, q, \quad k = 1, \dots, r$$

Легко заметить, что искомое расписание существует тогда и только тогда, когда в сети G существует целочисленный поток f , для которого $l(u) \leq f(u) \leq L(u)$ на каждой дуге u из $U(G)$. Отметим, что в случае существования нужного потока f построение искомого расписания очевидно.

Проиллюстрируем некоторые возможности рассматриваемой модели. Покажем, например, как выразить в ее терминах понятие директивного срока. Пусть выполнение заказа P должно быть завершено к директивному сроку $t(P)$. Очевидно, для выражения этого условия достаточно включить в множество $T_2(P)$ те и только те временные интервалы, которые следуют после момента $t(P)$. Если же требуется, например, чтобы бригада Q отработала в месяц не менее r_1 и не более r_2 рабочих дней, то достаточно положить $h(Q) = r_1$, $H(Q) = r_2$.

1. Гордон В. С., Танаев В. С. Прямые сроки в однофазных детерминированных системах обслуживания // Оптимизация систем сбора, передачи и обработки аналоговой и дискретной информации в локальных ИВС: Мат. 1 совещания, сов. болгар. ссср. ИТК АН БССР—ИТК БАН, 28 мая—1 июня 1973 г.—Минск, 1973.—С. 54—58.
2. Horn W. A. Some simple scheduling algorithms // Nav. Res. Log. Quart. — 1974. — 21, № 1. — P. 177—185.
3. Танаев В. С., Гордон В. С., Шафранский И. М. Теория расписаний. Одностадийные системы. — М.: Наука, 1984. — 384 с.
4. Форд Л. Р., Фалкерсон Д. Р. Потоки в сетях. — М.: Мир, 1966. — 276 с.

ВЦ АН АрмССР

18. XI. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 6, 1988, с. 307—312

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 528.5

Р. А. МОВСЕСЯН, К. С. ГЮЛЮНЯН, Е. А. АЙРАПЕТЯН, Г. А. БАБАЯН

НОВЫЙ МАКЕТ СВЕТОДАЛЬНОМЕРА ДВСД-1200 И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ

Разработали и предложен новый макет светодиодномера ДВСД-1200, в котором внедрены основные достижения СВЧ светодиодномеров в условиях сильных возмущающих воздействий: резких перепадов температур, турбулентности атмосферы, запыления воздуха и т. д. Благодаря введению электронного счетного устройства, времени проведения измерений уменьшилось в пять раз, что позволяет увеличить количество измерений и уменьшить случайную ошибку определения домера фазового сигнала.

Лабораторные и производственные испытания макета на компараторах ЕРФИ, ИФВЭ и на створной сети ИЯИ АН СССР показали надежность и высокую точность измерения макета.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Մշակված և առաջադրված է ДВСД-1200 լուսաճնոաչափի նոր մակետ, որտեղ ներգրված են ժամանակակից լուսաճնոաչափերի աշխատանքային հիմնական նվաճումները օդի ընթացականի կտրուկ փոփոխումների, մթնոլորտի մրրկայնության, օդի աղտոտվածության և այլ ուժեղ զրգոլի ազդեցությունների տակ, էլեկտրոնային հաշվիչ սարքի կիրառման շնորհիվ չափման ժամանակը պակասել է մոտավորապես հինգ անգամ, որը թույլ է տալիս ավելացնել չափումների թիվը և փոքրացնել չափման պատահական սխալի մեծությունը:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի, բարձր էներգիայի ֆիզիկայի ինստիտուտի և Պորտրալի Միության Գիտությունների ակադեմիայի ղեկավարման քանչևրում կատարված լաբորատոր և արտադրական փորձարկումները ցույց են տվել մակետի աշխատանքի հուսալիությունը և չափման բարձր ճշտությունը:

Среди исследований по основным параметрам и недостаткам макетов светодиодномеров ДВСД-1200 наиболее полную информацию содержат работы [1, 2], в которых в результате проведенных исследований выявлен ряд существенных недостатков: ограниченность темпера-

турного диапазона работы светодальномера; погрешность в отсчетном устройстве домера фазового цикла и недостаточная стабильность частоты СВЧ генератора, без устранения которых нецелесообразно производство приборов ДВСД-1200 [3].

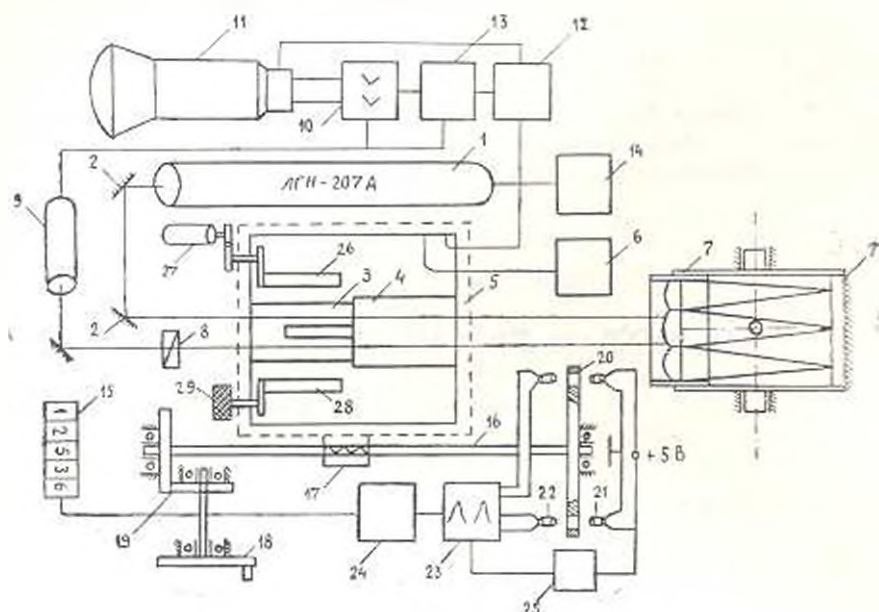


Рис. 1.

Функциональная схема нового макета светодальномера ДВСД-1200 приведена на рис. 1. Плоско поляризованный луч лазера 1 типа ЛГН-207 А зеркалами 2 направляется в модулятор света 3 на кристалле КДР, установленном в цилиндрическом резонаторе с центральным проводником 4. Резонатор установлен на кистирочном столике 5, закрепленном на направляющих для перемещения модулятора света по пути прохождения луча на 140—150 мм. В резонаторе модулятора света от СВЧ генератора 6 возбуждается волна типа E_m . Модулированный луч направляется на зеркально-линзовый отражатель, состоящий из подвижных объектов 7 и неподвижного зеркала 7' диаметром 90 мм. Канавка на кристалле со стороны максимума напряженности электрического поля резонатора уменьшает потери модулятора и включает поступление отраженных от выходного торца кристалла лучей передающего канала на фотоприемник 9, установленный после анализатора 8. В зависимости от того, какое положение занимает модулятор света, на фотоприемник 9 типа ФЭУ-68 поступает интенсивность света I_m , амплитуда которого зависит от величины напряжения U на кристалле и интенсивности приемного луча I [1]

$$I_m = 0,5I \{1 - I_0 [2\pi U / U_\pi \cos(2\pi D / \lambda_m)]\}, \quad (1)$$

где I_0 — функция Бесселя нулевого порядка; U_π — напряжение, которое надо приложить на кристалл для поворота поляризации на 90° .

Эффективность от повышения мощности заключается в том, что происходит перемодуляция света, расширяются или удваиваются максимумы интенсивности света и в области минимумов света происходит повышение крутизны демодуляционных кривых, показанных на рис. 2. Условное обозначение «уровень индикации» на рис. 2 относится к минимальному отношению I_m/I , образующему различительный сигнал на индикаторе светодальномера. Для нового макета экспериментально определенный «уровень индикации» составлял $I_m/I = 1,2 \cdot 10^{-4}$. Для всех точек D' на уровне индикации, по которым определяется положение минимума света, имеет место равенство

$$1,2 \cdot 10^{-4} = 0,5 [1 - I_0 (2 - U/U_\pi \cos(2\pi D'/\lambda_m))].$$

откуда

$$D' = \frac{\lambda_m}{2\pi} \arccos \frac{49 \cdot 10^{-4}}{U/U_\pi}. \quad (2)$$

Для определения степени влияния величин, входящих в выражение (2), на крутизну демодуляционных кривых, когда задан уровень индикации $I_m/I = 1,2 \cdot 10^{-4}$, лучше всего дифференцировать выражение (1) по D' :

$$\frac{dI_m/I}{dD'} = -\frac{2\pi^2}{\lambda_m} \cdot \frac{U}{U_\pi} \sin\left(\frac{2\pi D'}{\lambda_m}\right) I_0 \left(2\pi \frac{U}{U_\pi} \cos \frac{2\pi D'}{\lambda_m}\right). \quad (3)$$

Расчеты по выражению (3) при различных интенсивностях приемного света I и отношениях U/U_π показали, что при изменении величины I в n раз крутизна меняется в $n^{0,5}$ раза. Кроме того, увеличение интенсивности света не всегда приводит к повышению точности измерения. Характеристики ФЭУ показывают, что для повышения крутизны кривых на рис. 2 уровень индикации должен быть на уровне слабой интенсивности света. Импульсы с выхода ФЭУ подаются на усилитель 10, усиливаются по амплитуде и подаются на сигнальные пластинки малогабаритной трубки 11 типа 6ЛОИИ.

Для временной развертки и синхронизации наблюдаемых на экране трубки импульсов используются импульсы модулятора света, которые усиливаются в виде пилообразных импульсов и с выхода формирователя импульсы развертки 12 подаются на трубку 11. В этом случае амплитуда развертки на экране трубки показывает настройку модулятора света на резонанс.

На рис. 3 показаны сигналы индикации, которые характерны для следующих условий работы: а) приемный луч не имеет флуктуаций и нарушений поляризации, в частоте модуляции не имеются гармоники; б) в приемном луче имеются нарушение поляризации и флуктуации, в частоте гармоники отсутствуют; в) приемный луч нормальный, в частоте имеются гармоники слабых амплитуд; г) амплитуда гармоник увеличена и в приемном луче имеется нарушение.

Импульсы *a, б* на рис. 3 имели место при питании модулятора от лампового генератора с выходной мощностью $P = 100 \text{ Вт}$ без вентиля развязки между модулятором и генератором. Импульсы *в, г* получены при транзисторном генераторе с вентилем развязки ($P = 150 \text{ Вт}$). Наличие гармоник в частоте модуляции уменьшает эффективность модуляции света и приводит к наличию остаточного света.

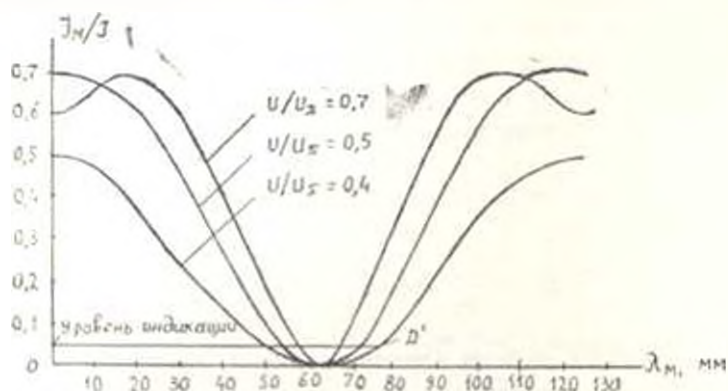


Рис. 2.

В резонатор модулятора введены две пластинки из кристалла КДР. Одна из пластинок 26 соединена с электродвигателем 27 и управляется с передней панели прибора, а другая пластинка 28 соединена с ручкой 29, находящейся внутри прибора. Обе пластинки вращаются вокруг своих осей и меняют резонансную частоту модулятора. Ручкой 29 частота устанавливается ступенчато, в зависимости от температуры среды, а электродвигателем 27 — плавно, в зависимости от величины нагрева кристалла в процессе работы прибора.

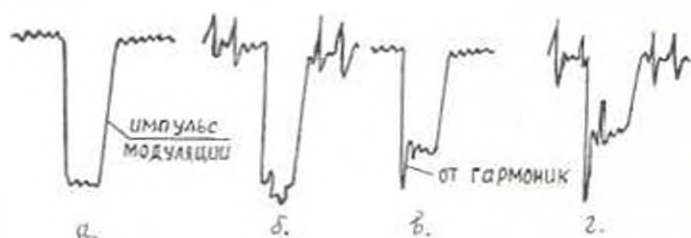


Рис. 3.

Макет нового светодальномера выполнен в двух вариантах, один с меньшим наклоном приемопередатчика — $(12-14)^\circ$, другой с большим — $(50-60)^\circ$. Первый макет предназначен для работы на фиксированной частоте в режиме ДВСД, а второй — в режиме ВСД с сеткой масштабных частот. Для этого разработаны два варианта СВЧ генератора. Основой для обоих генераторов является промышленный термостатированный задающий кварцевый генератор «ГИАЦИНТ» на частоте 5 МГц.

В новых макетах светодоальномера осуществлены изменения устройства для перемещения модулятора света и отсчетного устройства домера фазового цикла. Для этого применяется высокоточный винт 16 шагом 4 мм, установленный неподвижно между двумя опорами. Винт 16 соединен со столиком 5 модулятора света через гайку 17 из фторопласта. Для защиты ограничителей перемещения от внешних усилий, приложенных на ручку вращения 18 винта 16, применено фрикционное соединение 19. Для работы счетного устройства 15 на другом конце винта установлен диск 20 со щелями с шагом 0,5—0,6 мм. Счетные импульсы формируются при прохождении света от светодиодов 21 через щели диска 20 к фотодиодам 22. С помощью электронного умножителя импульсов 23 при одном обороте диска 20 формируются 400 импульсов. При этом положение модулятора определяется с ошибкой 0,01 мм. В сумматоре импульсов 24 суммируются импульсы при перемещении модулятора в одну сторону и отнимаются при изменении направления перемещения. Кроме того, записывается каждый отсчет положения минимума приемного сигнала и выдается среднее значение на табло счетного устройства 15. По команде наблюдателя можно получить каждый отсчет.

Счетное устройство 15 представляет из себя пятиразрядное цифровое табло, на котором высвечивается домер фазового цикла в миллиметрах, например, 125,36. Благодаря введению электронного счетного устройства и сумматора отсчетов, время проведения измерений уменьшилось примерно в 5 раз, а одна серия измерений из пяти двойных приемов выполняется за 30 с.

Конструктивно новый макет светодоальномера состоит из трех блоков: приемо-передатчика, СВЧ генератора и отражателя. Приемо-передатчик построен на разделенных цепях питания 13, 14 и 25. Малогабаритный блок питания лазера 14 установлен в приемо-передатчике. Питание трубки 11, фотоприемника 9, цепей усилителя и развертки осуществляется из одного источника 13, а все счетное устройство имеет свое стабилизированное питание 25. Потребляемая мощность приемо-передатчика составляет всего 17 Вт, из которых 10 Вт потребляет лазер. СВЧ генератор на транзисторах потребляет 18 Вт, из которых около 8 Вт потребляет термостат кварцевого генератора.

Лабораторные и производственные испытания макета на компараторах ЕрФИ, ИФВЭ и на створной сети ИЯИ АН СССР в 1986 г. показали, что макет надежен в работе и после перевозки оптические узлы не требуют выстировки, электрические цепи—наладки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнберг В. Я., Широков Ф. В. Исследования макетов светодоальномера типа ДВСД-1200 с зеркальной коллимирующей системой // Геодезия и картография — 1983. — № 4. — С. 17—20.
2. Pothhoff H. Untersuchungen am elektrooptischen Präzisions-Entfernungsmessgerät DVSD-1200. Vermessungstechnik. — 1980. — 28, Heft 10. — S. 325—328.

3. Мовсесян Р. А. и др. Високоточный электрооптический дальномер ТВСД-1200 // Геодезия и картография — 1973. — № 9. — С. 14—18.
4. Экспресс-информация «Радиолокация, телевидение, радиосвязь». — 1966. — № 24. — С. 1—11.

ЕрГУ

15. 1. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 6, 1989, с. 312—316

ГИДРАВЛИКА

УДК 556.343.24

С. Ш. НУРЦДЖАНЫ

ФИЛЬТРАЦИЯ В НЕОГРАНИЧЕННЫЙ ПЛАСТ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩА КРУГЛОЙ ФОРМЫ С ПЕРЕМЕННЫМ УРОВЕННЫМ РЕЖИМОМ

Разработан метод прогноза фильтрации воды из круглого в пласте водоохранилища, в котором уровень воды колеблется по закону косинуса. Фильтрация происходит в неограниченном пласте, расположенном на горизонтальном водоупоре. Получены аналитические выражения для определения депрессионной поверхности, расхода воды из стока из водоохранилища.

Библиогр.: 2 назв.

Մանրագրություն 1-ը քիմիական կիր Նախագիծով ջրամբարից, որտեղ քիմիական ջրի մակարդակը տատանվում է կոսինուսի օրենքով: Մանրագրի տեղի է ունենում դեպի անսահման փակ շերտ, որը տեղագրված է տեղաբաժանից փոխանակել շերտի վրա: Ստացված են փոխանակել արտահայտություններ դեպրեսիոն մակերևույթի ջրամբարից քիմիական ջրի հոսքի և կորուստների որոշման համար:

Наблюдения за уровнем режимом целого ряда водоохранилищ, расположенных в горных и предгорных районах, показали, что на многих из них наблюдаются периодические сезонные колебания. В некоторых случаях эти колебания могут быть описаны зависимостью вида

$$h(t) = A_1 - A_2 \cos(2\pi t/T), \quad (1)$$

где $A_1 = 0.5(h_1 + h_2)$, $A_2 = 0.5(h_1 - h_2)$, h_1 и h_2 — максимальная и минимальная глубины воды в водоохранилище. T — период колебания.

Рассмотрим фильтрацию воды из водоохранилища круглой формы в неограниченный пласт, когда колебания уровня воды в нем могут быть описаны зависимостью (1). Дифференциальное уравнение безнапорной плоскорадиальной нестационарной фильтрации в пласте, расположенном на горизонтальном водоупоре, при постоянном коэффициенте фильтрации k имеет вид [1]

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r h \frac{\partial h}{\partial r} \right), \quad (2)$$

где μ — коэффициент гравитационной емкости при насыщении и гравитационной водоотдачи при осушении пласта.

Кривые условия будут

$$h(r, 0) = h(r), \quad h(r_0, t) = h(t). \quad (3)$$

Уравнение (2) нелинейное и его решение при краевых условиях (3) может быть получено только численными методами. Для аналитического решения, которое имеет большую ценность по сравнению с численным, необходимо произвести линеаризацию уравнения (2). Существуют два основных способа линеаризации этого уравнения.

1. *Первый способ.* Уравнение (2) записывается в виде

$$\frac{\partial h}{\partial \tau} = \frac{aT}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial h}{\partial r} \right), \quad a = \frac{kh_s}{\mu}, \quad \tau = \frac{t}{T}, \quad (4)$$

где a — коэффициент уровнестепроизводительности, h_s — средняя глубина потока.

Задача сводится к решению уравнения (4) при краевых условиях (3). Введем новую функцию $v(r, \tau) = h(r, \tau) - h(\tau)$. Тогда уравнение (4) и краевые условия (3) будут

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} = \frac{aT}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) - 2\pi A_s \sin 2\pi\tau; \quad (5)$$

$$v(r, 0) = h(r) - h_0, \quad v(r_0, \tau) = 0. \quad (6)$$

Решение уравнения (5) может быть найдено с помощью преобразования Вейера [2]

$$\bar{v}(p, \tau) = \int_0^\infty r H(pr) v(r, \tau) dr \quad (7)$$

с ядром преобразования

$$H(pr) = J_0(pr) Y_0(pr_0) - J_0(pr_0) Y_0(pr), \quad (8)$$

где $J_0(pr)$ и $Y_0(pr)$ — функции Бесселя нулевого порядка первого и второго родов.

Применив преобразование (7) к уравнению (5), получим

$$\frac{d\bar{v}(p, \tau)}{d\tau} + m_p \bar{v}(p, \tau) - (4A_s p) \sin 2\pi\tau = 0, \quad (9)$$

где $m_p = aTp^2$.

Решение этого уравнения известно и имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{v}(p, \tau) = \frac{A_s}{\pi^2 p^2 \omega_{1p}} [m_p \sin 2\pi\tau - 2\pi (\cos 2\pi\tau - \exp(-m_p \tau))] + \\ + \bar{v}(p, 0) \exp(-m_p \tau), \end{aligned} \quad (10)$$

$$\omega_{1p} = 1 + (m_p/2\pi)^2.$$

Применив к (10) формулу обращения для преобразования Всбера в виде

$$v(r, z) = \int_0^{\infty} \frac{\bar{v}(p, z) p H(pr)}{J_0^2(pr_0) + Y_0^2(pr_0)} dp, \quad (11)$$

найдем оригинал искомой функции $v(r, z)$. Возвращаясь к функции $h(r, z)$, получаем

$$h(r, z) = h(z) + \frac{A_2}{\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{H(pr) [R_{1p}(z) + V_{1p}(z)]}{J_0^2(pr_0) + Y_0^2(pr_0)} \cdot \frac{dp}{p} + \\ + \int_0^{\infty} \frac{\bar{v}(p, 0) p H(pr)}{J_0^2(pr_0) + Y_0^2(pr_0)} \exp(-m_p z) dp, \quad (12)$$

где $R_{1p}(z) = (m_p \sin 2\pi z - 2\pi \cos 2\pi z) / \omega_{1p}$, $V_{1p}(z) = 2\pi \exp(-m_p z) / \omega_{1p}$.

Отсюда видно, что через несколько циклов колебаний влияние начального условия практически перестает сказываться и процесс принимает квазистационарный характер, а выражение (12) упрощается и принимает вид

$$h_1(\bar{r}, z) = h(z) + \frac{A_2}{\pi^2} [I_1(\eta, \bar{r}) \sin 2\pi z - 2\pi I_2(\eta, \bar{r}) \cos 2\pi z], \quad (13)$$

где $\bar{r} = r/r_0$, $x = pr_0$, $H(\bar{r}x) = J_0(\bar{r}x) Y_0(x) - J_0(x) Y_0(\bar{r}x)$,

$$\eta = \alpha T_1 r_0^2, \quad \omega_{1x} = 1 + (\eta x^2 / 2\pi)^2,$$

$$I_1(\eta, \bar{r}) = \eta \int_0^{\infty} \frac{x H(\bar{r}x)}{J_0^2(x) + Y_0^2(x)} \cdot \frac{dx}{\omega_{1x}},$$

$$I_2(\eta, \bar{r}) = \int_0^{\infty} \frac{H(\bar{r}x)}{J_0^2(x) + Y_0^2(x)} \cdot \frac{dx}{x \omega_{1x}}.$$

Расход через весь периметр водохранилища в случае квазистационарного режима будет

$$q(1, z) = \frac{2kh_s A_2}{\pi^2} [I_3(\eta) \sin 2\pi z - 2\pi I_6(\eta) \cos 2\pi z], \quad (14)$$

где

$$I_3(\eta) = \eta \int_0^{\infty} \frac{x}{J_0^2(x) + Y_0^2(x)} \cdot \frac{dx}{\omega_{1x}}, \quad I_6(\eta) = \int_0^{\infty} \frac{dx}{x \omega_{1x} [J_0^2(x) + Y_0^2(x)]}.$$

Фильтрационный сток через весь периметр водохранилища за время t от начала цикла колебания будет

$$W(1, \tau) = \frac{\hbar h_s T A_2}{\pi^2} |(1 - \cos 2\pi\tau) I_0(\tau) - 2\pi I_0(\tau) \sin 2\pi\tau|, \quad (15)$$

$$0 \leq \tau \leq 1.$$

11. *Второй способ.* Уравнение (2) записывается в виде

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{aT}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right), \quad u(r, \tau) = 0,5h^2(r, \tau) \quad (16)$$

при краевых условиях

$$u(r, 0) = u(r), \quad u(r_m, \tau) = 0,5h^2(\tau).$$

Вводя новую функцию $v(r, \tau) = u(r, \tau) - 0,5h^2(\tau)$, получаем

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial \tau} &= \frac{aT}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) = -2A_2(2A_1 \sin 2\pi\tau - A_2 \sin 4\pi\tau), \\ v(r, 0) &= u(r) - 0,5h^2, \quad v(r_m, \tau) = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Применив к уравнению (17) преобразование Вебера (7), имеем

$$\frac{d\bar{v}(p, \tau)}{d\tau} + m_p \bar{v}(p, \tau) = \frac{2A_2}{p^2} (2A_1 \sin 2\pi\tau - A_2 \sin 4\pi\tau) = 0.$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{v}(p, \tau) &= \frac{A_2}{\pi^2 p^2} \left\{ \frac{A_1}{\omega_{1p}} [m_p \sin 2\pi\tau - 2\pi (\cos 2\pi\tau - \exp(-m_p \tau))] - \right. \\ &- \frac{A_2}{8\omega_{2p}} [m_p \sin 4\pi\tau - 4\pi (\cos 4\pi\tau - \exp(-m_p \tau))] \Big\} + v(p, 0) \exp(-m_p \tau), \\ \omega_{2p} &= 1 + (m_p 4\pi)^2. \end{aligned} \quad (18)$$

Применив к (18) формулу обращения (11), находим оригинал исходной функции и, возвращаясь к переменной $h(r, \tau)$, получаем

$$\begin{aligned} h(r, \tau) &= \left\{ h^2(\tau) + \frac{2A_2}{\pi^2} \int_0^\tau \left\{ \frac{A_1}{\omega_{1p}} [m_p \sin 2\pi\tau - 2\pi (\cos 2\pi\tau - \exp(-m_p \tau))] - \right. \right. \\ &- \frac{A_2}{8\omega_{2p}} [m_p \sin 4\pi\tau - 4\pi (\cos 4\pi\tau - \exp(-m_p \tau))] \Big\} \frac{H(pr)}{J_0^2(pr_0) + Y_0^2(pr_0)} \\ &\quad \left. \frac{dp}{p} + 2 \int_0^\tau \frac{v(p, 0) \exp(-m_p \tau) p H(pr)}{J_0^2(pr_0) + Y_0^2(pr_0)} dp \right\}^{1/2}. \end{aligned}$$

В случае квазиустановившегося режима будем иметь:

$$h(r, z) = \left| h^2(z) + \frac{2A_2}{\pi^2} \left[A_1 I_1(z, \bar{r}) \sin 2\pi z - 2\pi A_1 I_1(z, \bar{r}) \cos 2\pi z - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{A_2}{8} I_2(z, \bar{r}) \sin 4\pi z + \frac{\pi A_2}{2} I_2(z, \bar{r}) \cos 4\pi z \right] \right|^{1/2},$$

где

$$I_2(z, \bar{r}) = \gamma \int_0^{\bar{r}} \frac{H(rx)}{J_0^2(x) + Y_0^2(x)} \cdot \frac{dx}{\omega_{2r}},$$

$$I_1(z, \bar{r}) = \int_0^{\bar{r}} \frac{H(rx) dx}{x \omega_{2r} [J_0^2(x) + Y_0^2(x)]}, \quad \omega_{2r} = 1 + (rx^2/4\pi)^2;$$

$$q(1, z) = \frac{4kA_2}{\pi^2} \left[A_1 I_1(z) \sin 2\pi z - 2\pi A_1 I_1(z) \cos 2\pi z - \right. \\ \left. - \frac{A_2}{8} I_2(z) \sin 4\pi z + \frac{\pi A_2}{2} I_2(z) \cos 4\pi z \right],$$

где

$$I_1(z) = \gamma \int_0^{\infty} \frac{x}{J_0^2(x) + Y_0^2(x)} \cdot \frac{dx}{\omega_{2x}}, \quad I_2(z) = \int_0^{\infty} \frac{dx}{x \omega_{2x} [J_0^2(x) + Y_0^2(x)]};$$

$$W(1, z) = \frac{2kTA_2}{\pi^2} \left[A_1 I_1(z) (1 - \cos 2\pi z) - 2\pi A_1 I_1(z) \sin 2\pi z - \right. \\ \left. - A_2 I_2(z) (1 - \cos 4\pi z) / 16 + \frac{\pi A_2}{4} I_2(z) \sin 4\pi z \right].$$

Полученные решения могут быть использованы для прогнозирования подпора подземных вод при фильтрации из водоемов круглой формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полубарнинова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод.— М.: Наука, 1977.— 664 с.
2. Диткин В. А., Прудников А. И. Интегральные преобразования и операционное исчисление.— М.: Физматгиз, 1961.— 524 с.

БрШЗ им. К. Маркса

22. VI. 1988

СОДЕРЖАНИЕ XLII ТОМА

Изв. АН АрмССР (серия техн. наук)

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Г. Л. Артемьян. Вибронадежность роторов асинхронных двигателей малой мощности	5	209
Э. П. Арутюнян, Н. Б. Григорян. Расчет распределения нагрузки в шариковой передаче с предварительным натягом	6	272
Б. С. Асмянян. Динамика вращационного движения грузовой тележки с жестко подвешенным грузом	3	105
Г. Б. Багдасарян, А. В. Гинюсян. Метод определения оптимальной геометрии режущего инструмента в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемых материалов	1	157
А. А. Григорян. Совместный изгиб и растяжение пластически неоднородного конического листа	2	56
Г. Дж. Кочинян, Г. Б. Налбандян. Напряженно-деформированное состояние ведомого диска фрикционной муфты	6	268
Л. М. Муридян, Р. Н. Бирсегян. Термопластичность корки затвердевающего сланка	1	3
Г. А. Налан. Особенности обработки хрупких материалов абразивным инструментом при круговом поступательном движении	2	51
Г. Л. Петросян, Г. К. Аскиджян, Г. В. Мусаелян. Методика учета упрочнения при исследовании процессов прокатки пористых заготовок	5	218
Ю. Л. Саркисян, Р. П. Джанализян, А. А. Касамиян, Э. А. Аюпджанян. Систематизация функций положения пространственных четырехзвенных кинематических цепей ЦСПЦ	3	101
М. Г. Стакин, Г. А. Манукян. О форме кривой коррозионной усталости при сложном нагружении	5	213
М. Г. Стакин, С. А. Кроян, Г. А. Манукян, А. С. Мнацаканян. Повышение сопротивления усталости деталей машин на воздухе и в коррозионных средах применением конструктивных полимерных клеев	6	263

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Т. Г. Карапетян, А. А. Киригезов. О точности измерения неэффективности потерь в приборах с зарядовой связью	1	20
Н. Киричюков. Прикладное математическое обеспечение подсистемы размещения элементов БИС в технологически-инвариантной САПР	6	279
К. Ованнисян. Волново-шелевая антенна с симметрично-противофазными электромагнитными полями в лепестках	6	276
А. Симонян, С. А. Шашикян. Автоматический измеритель выходного сопротивления лабораторных источников питания	2	60

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. Г. Кюргян, Р. А. Акопян, А. М. Барзударян. Анализ погрешности измерения массы жидкости в вертикальных резервуарах пьезометрическим методом 3 — 129
- С. Н. Папоян. Исследование динамической погрешности при тестовых методах повышения точности измерительных устройств 5 — 244

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Н. Г. Никитян, М. Е. Пондем, Г. К. Джанибекян. Контроль магнитных свойств сердечников электрических машин малой мощности 1 — 12
- Т. М. Нумени, Р. Е. Акопян, Г. С. Семёнова, Т. А. Наслян, Е. А. Саакян. Некоторые алгоритмы тепловой диагностики статора мощного гидрогенератора 4 — 177

ЭНЕРГЕТИКА

- С. Г. Акопян. Модифицированная форма теоремы Теллелджана применительно к гидравлическим цепям систем транспорта газа 2 — 64
- А. М. Саргсян, А. С. Хачикян, Г. Г. Персисян. Стационарные тепловые процессы в кусочно-однородных телах 4 — 171
- С. Н. Цатурян, С. С. Маркелов. Влияние нестационарных сосредоточенных подкачек и отборов на давление газа в магистральном газопроводе 3 — 121

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. Н. Кунчинов. Прикладное математическое обеспечение подсистемы размещения элементов БИС в технологически-зависимой САПР 6 — 279
- Э. Н. Манукян, К. П. Манукян. Об одном методе экспресс-диагностики технологических процессов изготовления интегральных схем 5 — 340

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- А. М. Алоян. Сейсмические воздействия на круговую цилиндрическую оболочку, частично-заполненную жидкостью 4 — 165
- Э. К. Везоли, А. А. Белубекян. Разрешающая система уравнений неоднородных тонких пологих гибокких вязкоупругих оболочек 4 — 161
- Ю. А. Гаспарян, Ю. М. Чудинян, Э. А. Борисов, С. А. Маргарян. Расчет частотных характеристик звукопоглощения объемных конструкций с упругой датливой панелью 5 — 233
- Ю. А. Гаспарян, С. А. Маргарян, Б. Ю. Гаспарян. Определение динамической жесткости низкочастотных звукопоглотителей наплавленным методом 6 — 288
- Р. А. Котикян, К. А. Саакян. Исследование прогибов и трещиностойкости железобетонных ядер жесткости многоэтажных зданий при малоинтенсивном нагружении 5 — 278
- А. Н. Кириллов, Э. Я. Багрий, В. Н. Заявлов. К вопросу о длительном деформировании бетона при сложном и напряженном состоянии 5 — 283
- В. Д. Погослов. Устойчивость ортотропных вязкоупругих неоднородно-статических оболочек 3 — 144

ГИДРАВЛИКА

- Р. Е. Аюбян, И. Г. Кристостурьян, В. Г. Сакоян. Математическое моделирование гидро- и пневмотранспорта в напорных системах 1 — 27
- Э. П. Ащиянц. Расчет гидравлического удара в нагнетательном трубопроводе насосной станции при плавной остановке напоя 3 — 138
- В. С. Багдасарян, А. А. Гарян. Об одном методе аналитического определения статического объема парогазовых квантационных пузырьков 1 — 32
- К. П. Иванюв, А. А. Карлов, П. Ф. Морозов, В. Я. Риквинд. Об оптимизации формы канала малого проходного сечения 1 — 36
- Р. А. Мовсисян, К. С. Гюнасян, Е. А. Айрапетян, Г. А. Бабалян. Новый макет стеклоалометра ДВСД-1200 и результаты испытания 6 — 307
- С. Ш. Нуриджанян. Фильтрация в неограниченный пласт из водохранилища круглой формы с переменным уровнем режимом 6 — 312
- С. В. Сакоян, Г. М. Егиазарян. Изучение влияния тупиковых пор и застойных зон на кинетику опреснения раствора при промывке засоленных земель 3 — 133
- В. С. Саркисян, А. А. Саргсян. Массообмен при фильтрации жидкости, содержащей взвешенные, эмульгированные и растворенные вещества, через двухслойную пористую среду 1 — 23
- С. В. Саркисян, В. С. Саркисян. Прогноз растворения и вымыва солей при фильтрации химических реагентов 2 — 81

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Ю. А. Аветисян, В. Г. Горбач, Н. Ю. Волосевич. Структурные изменения стали Х18Н10Т при циклическом деформировании с жестким напряжением 5 — 224
- С. А. Аветисян, Э. Л. Назарян, К. Т. Аветян, М. М. Арикелян. Распределение точек напряжений при двукратной деформации 2 — 87
- С. А. Митинян, Ю. А. Аветисян, С. Г. Мамян. Концентрационные условия образования аустенита в углеродной стали 60 при термическом цикле 3 — 110
- А. Е. Ласоян, А. Н. Каринетян. Влияние модифицированных минеральных наполнителей на триботехнические свойства композиции на основе сополимера СФД 1 — 7

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Г. Г. Ариньян, Е. А. Шарайхьян, М. А. Рафаелян. Автоматизированный логический структурный синтез САУ технологических параметров химико-технологических объектов 5 — 251
- В. К. Баян. К стохастическому управлению марковских автоматических систем 6 — 297
- В. Г. Варламян. Идентификация параметров математических моделей линейных динамических биосистем 2 — 79
- С. С. Бадарян, А. П. Митеносян. Имитационная модель для определения параметров проектируемой технологической линии 6 — 293
- С. С. Бадарян, А. Н. Аветисян. Контроль состояния многопараметрических систем с помощью метода уплотнения переменных 2 — 75
- Р. Р. Камалян. О существовании и построении некоторых расписаний с предписаниями 6 — 303
- А. М. Каринетян, С. Х. Оганесян, И. С. Хачатрян. Анализ и выбор вероятностной модели состояний при контроле работоспособности сложных систем 3 — 125

В. П. Овсепян. Исследование асимптотических свойств корневых годографов линейных стационарных МСАР	1 — 185
Б. Е. Сафиров. Оптимизация норматива запасных частей для технического обслуживания технических средств АСУ	4 — 180
С. Е. Чилишкян. Квадратичные оценки качества процессов для классов линейных многосвязных САУ	5 — 242

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

М. П. Аветян. О моделировании вольтамперных характеристик туннельных диодов	2 — 92
Г. А. Абгарян, В. В. Александрян, Ш. М. Григорян. Исследование силовых режимов рабочего органа рыхлителя поляризационно-оптическим методом	4 — 180
С. С. Аюбян, Э. А. Гомкцян, Э. Г. Саркисян. Синхронизация, запоминание и коммутация исследуемого процесса прерывистого резания	5 — 297
Г. А. Алексанян, Г. Л. Картирджян, А. М. Мирзоян. Самонастраивающийся программный интерфейс, организующий совместную работу ОССД «Электроника» 8201 и Микро-ЭВМ	1 — 201
В. А. Вагаршакян, Т. И. Густин, А. А. Казарян, А. Р. Матевосян. Устройство управления масштабно-координатным столом на базе микропроцессора КР 580ВМ80А	3 — 150
В. А. Вагаршакян, В. Г. Никогосян, А. М. Кркеян, С. Л. Лорян. Автоматизированная система исследования динамических характеристик металлорежущих станков на базе МИКРОЭВМ «Электроника 60»	1 — 40
А. Б. Диндян, И. А. Домбаева, А. С. Хачикян, Р. А. Ширинян. О влиянии напряженного состояния краев поверхности стыка на сопротивление усталости соединений из разнородных материалов	1 — 195
М. А. Есаян, А. А. Митхашян. К вопросу о стабильности качества обрабатываемой поверхности деталей класса «Вал»	3 — 143
Г. Г. Каралетян. Возбуждение волнового магнитоэлектрических волн полусферической антенной	1 — 47
Р. Г. Кшошкерян, М. Э. Полосян, С. Л. Габриелян. Оптимизация геометрии затеки по критерию эквивалентности упругих шарниров	3 — 142
Э. И. Минукян. Оценка параметров электрических цепей методом малых малых-физического правдоподобия	1 — 44
Ж. Т. Оганесян. Статистический анализ дефектов заливки стержней короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей	1 — 199
А. А. Петросян. Оптимальный метод зонального отбора при сжатии данных с помощью дискретного преобразования Харгли	4 — 193

Մ. Դ. Ստակյան, Ս. Լ., Կոռյան, Դ. Հ. Մանուկյան, Ա. Ս. Մնացականյան: Ոգում և և կոռոզիոն միջավայրում մերկամասերի հողածածկին դիմադրության բարձրացումը պոլիմերային կառուցվածքային ստիկների կիրառումով	263
Հ. Ս. Քափեյան, Կ. Բ. Խաչատրյան: Շփական հոսքի տարվող ակտիվացված լարվածության գնահատման մեթոդ	265
Խ. Կ. Հատարյունյան, Ն. Ս. Իրիգորյան: Նուսենական սյրվածքով վերականգնատուական փոխանցման մեջ բնական մեքենայի բաշխման նախարկը	272
Ո. Կ. Սևանյան: Քիմիական համադրվող նախափուլ էլեկտրաձեռնարկական դաշտերով արդյապարհական անտեսող	278
Ս. Ն. Կուպչիկով: Տեխնոլոգիական ինժեներներ ՍՍՀ մեծ ինտեգրացվող սեռմաների դասավորման և ինժեներական կիրառական մաթեմատիկական ապահովումը	279
Ա. Պ. Կիրիլով, Է. Յա. Քալեր, Վ. Ն. Պավլյով: Քարշ լարվածային գինեկի զննումը բնական և արհեստական զննումային հարցի վերաբերյալ	283
Յոս. Լ. Խաչատրյան, Ո. Ս. Մալոխով, Բ. Յու. Գալադյան: Քարշ նախապատկանության մոլեկուլայինները գնահատելու կոռուկության որոշումը բնականության մեխանիզմով	288
Ո. Ս. Պավլյան, Ա. Պ. Մալոխով: Նմանական մոդել նախադիմող տեխնոլոգիական զորք արհեստական զննման նման	293
Վ. Կ. Քուստան: Մարկված ամրամաստ նախադիմողի ստատիստիկ կատարման մասին	297
Ի. Բ. Քալայան: Նախապատկաններով արդյապարհականների զոռյան և կոռուկման մասին	303
Ի. Հ. Մովսիսյան, Կ. Ս. Կոռյան, Խ. Լ. Հայրապետյան, Հ. Լ. Բարսյան: ДВС-1200 լուսավորման և փորձարկման արդյունքները	307
Ո. Շ. Նուրիջանյան: Փոփոխական սեռման վարձարկի շրջանակների ծածկումը զգալի անալիզական շերտ	312

СОДЕРЖАНИЕ

М. Г. Сталкин, С. А. Кроян, Г. А. Манукян, А. С. Мнацаканян: Повышение сопротивляемости усталости деталей машин на изломе и в коррозионных средах применением конструктивных параметров	263
Г. Дж. Качишян, Г. Б. Налбандян: Напряженно-деформированное состояние ведомого диска фрикционной муфты	265
Э. В. Арутюнян, Н. Б. Григорян: Расчет распределения нагрузки в шариковой передаче с предварительным натягом	272
С. К. Овсепян: Влияние электрических полей на деформации электромеханических систем	278
С. Н. Купчинко: Прикладное математическое обеспечение подсистемы размещения элементов БИС в технологически-вариативный САПР	279
А. П. Карапетян, Э. Я. Басрий, В. Н. Завяло: К вопросу о длительном деформировании бетона при сложном напряженном состоянии	283
Ю. А. Гаспарян, С. А. Маргарян, Б. Ю. Гаспарян: Определение динамической жесткости пьезокерамических звукопоглощающих	288
С. С. Зихарьян, А. Н. Матевосян: Математическая модель для определения параметров проектируемой технологической линии	293
В. К. Буртман: Стохастическое управление марковскими автоматическими системами	297
Р. Р. Камалян: О жесткости и устойчивости некоторых пластических с предписаниями	303
Р. А. Мовсисян, К. С. Гюмюшян, Е. А. Айрапетян, Г. А. Бабалян: Новый макет светодиода ДВС-1200 и результаты испытаний	307
С. Ш. Нуриджанян: Физическая и неограниченный пласт из водохранилища круглой формы с переменной скоростью	312