

Журнал издается с 5.01. 1948 г.

Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirosian (Editor-in-Chief), R.V. Atoian (Vice-Editor-in-Chief), S.M. Ghazarian, M.V. Kassian, V.S. Khachatrian, H.J. Kochinian, N.V. Manoukian, V.Z. Maroukhan, F.T. Sarkissyan, V.X. Sarkissyan, Yu.L. Sarkissyan, M.G. Stakian (Vice-Editor-in-Chief), Z.K. Stepanian (Secretary-in-Chief), H.A. Terzian (Vice-Editor-in-Chief).

© Издательство ГИУЛ Армении

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук). 1995

В.А. АВАКЯН, К.С. БАБЛЯН, В.С. МКРТЧЯН

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИЙ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ТОЧЕНИИ

Շրջաձիւնի համար իրականացված է տեսական հետազոտություն, որտեղ հաստատվի տատանումները դիտարկված են որպես պատահական գործընթաց: Մշակված է մեքենամասի մակերևույթի սպիկարային մոդել, որը թույլ է տալիս գտնել անկյունություններ մեքենամասի և գործիքի հարուրերական տատանումների և մշակված մակերևույթի երկայնական և լայնական հատույթների խորայնորոգությունների միջև:

Проведено аналитическое исследование процесса токарной обработки на основе представления колебаний станка как случайных процессов. По результатам исследования разработана спектральная модель формообразования детали, которая позволяет устанавливать функциональную связь между относительными колебаниями детали и инструмента и неровностями обработанной поверхности в продольном и поперечном сечениях.

Ил. 3. Библиогр.: 9 назв.

An analytical study of a lathe work process on the basis of lathe oscillations as random processes is given. Due to the results of investigation a part has been developed that enables to establish a bond between relative oscillations of the part and the tool and irregularities of the machined surfaces in longitudinal and cross sections.

Ил. 3. Ref. 9.

Одними из первых работ, в которых исследовались причины тех или иных видов микрогеометрических отклонений деталей, обработанных на токарных станках, были [1, 2]. В этих работах, ограничившись рассмотрением чисто гармонических колебаний при относительном движении резца и обрабатываемой детали, авторы получили зависимости, описывающие влияние частоты и амплитуды относительных колебаний на параметры шероховатости и искруглости обработанных поверхностей.

Однако известно, что колебательный процесс при резании является случайным и не всегда однозначно интерпретируется доминирующими гармоническими колебаниями. В частности, в [3, 4] был применен аппарат корреляционного анализа с целью установления характерных статистических особенностей профилограмм и круглограмм деталей, обработанных на токарных станках. Этот подход позволяет отделить детерминированные гармонические макрогеометрические компоненты от микрогеометрических, в которых доля случайных составляющих существенна. В [5] с этой целью наряду с корреляционной функцией была использована также и спектральная плотность.

Для правильной интерпретации результатов спектрального анализа макро- и микрогеометрических отклонений необходимо располагать соответствующими моделями формообразования. Но разработанные в [1, 2] модели не являются стохастическими и поэтому не подходят. В [6] на основе теоретико-вероятностного подхода рассматривается процесс формообразования при шлифовании: в результате исследования взаимосвязи шероховатости инструмента и

детали процесс абразивной обработки представлен линейным преобразованием. В [7, 8] решена задача моделирования при токарной обработке.

В настоящей работе дано изложение стохастической модели формообразования. Рассмотрим процесс формообразования детали при токарной обработке. На рис. 1а изображена обработанная деталь в двух проекциях, где приняты следующие обозначения: $y(x)$ - функция неровности обработанной поверхности по произвольной образующей цилиндрической поверхности детали; x - текущая координата вдоль образующей; $r(\theta)$ - функция некруглости в произвольном поперечном сечении; θ - угол поворота детали. Для удобства дальнейших выкладок целесообразно перейти к временным функциям, вводя при этом следующие обозначения: $y(t) = y(x/v_0)$ и $r(t) = r(\theta/\Omega_0)$ - функции неровности и некруглости поверхности в реальном времени обработки резанием; v_0 - скорость подачи резца; Ω_0 - скорость вращения детали.

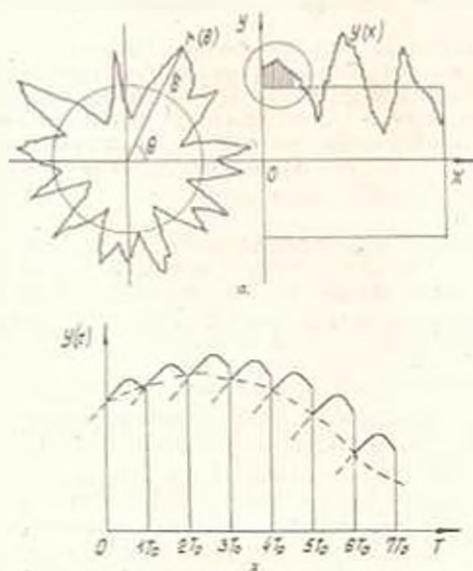


Рис. 1.

Тип кривой функции неровности поверхности $y(x)$ определяется процессом токарной обработки и по форме напоминает профиль осевого сечения винта с переменным диаметром. При определенной идеализации функция $y(t)$ может быть выражена кусочно-гладкой функцией времени, изображенной на рис. 1б, и представлена в виде свертки

$$y(t) = \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} z(nT_0) \delta(t - nT_0) \right] \otimes \Phi(t), \quad (1)$$

где $z(t)$ - функция относительных колебаний инструмента и детали в направлении, перпендикулярном обрабатываемой детали; $\delta(t)$ - дельта-функция Дирака; $T_0 = 2\pi/\Omega_0$ - период вращения обрабатываемой детали; $\Phi(t)$ - импульсная функция времени длительностью T_0 .

характеризующая динамику резания и зависящая от формы режущей кромки инструмента, материала обрабатываемой детали и свойств упругой системы СПИД: \otimes - символ свертки.

Формула (1) представляет собой уравнение свертки и выражает амплитудно-импульсную модуляцию $\Phi(t)$ [9] функцией колебаний $z(t)$.

Применив преобразование Фурье к (1) и учитывая свойства этого преобразования [9], получим выражение для спектра неровностей

$$Y(f) = F \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} z(nT_0) \delta(t - nT_0) \right\} F \{ \Phi(t) \}. \quad (2)$$

где свертка временных функций перешла в произведение их спектров. Оператор преобразования Фурье F используется в следующей форме:

$$Y(f) = F \{ y(t) \} = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \exp(-j2\pi ft) dt \dots$$

Рассмотрим первый член в правой части уравнения (2). Используя свойства преобразования Фурье, в частности, свойство свертки, но применительно к спектрам, и вводя обозначения $Z(f) = F \{ z(t) \}$, получим следующую последовательность преобразований:

$$\begin{aligned} F \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} z(nT_0) \delta(t - nT_0) \right\} &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} F \{ z(t) \delta(t - nT_0) \} = \\ &= Z(f) \otimes F \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_0) \right\} = \frac{1}{T_0} Z(f) \otimes \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kf_0), \end{aligned} \quad (3)$$

где $f_0 = 1/T_0$ - частота вращения детали.

Используя фильтрующее свойство дельта-функции Дирака, упростим последнюю свертку выражения (3)

$$Z(f) \otimes \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kf_0) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z(f) \otimes \delta(f - kf_0) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z(f - kf_0). \quad (4)$$

Используя результаты (3) и (4) и вводя обозначения $\Phi(f) = F \{ \Phi(t) / T_0 \}$, из (2) получим окончательное выражение для спектра функции неровности $y(t)$ в виде

$$Y(f) = \Phi(f) \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z(f - kf_0), \quad (5)$$

где $\Phi(f)$ выражает частотную характеристику фильтра, играющего роль формирователя поверхности.

Свойства формулы (5) иллюстрирует рис. 2, где для наглядности импульсная функция $\Phi(\tau) = l(\tau) - l(\tau - T_0)$ представлена в виде прямоугольного окна Дирихле, а $l(\tau)$ - единичная ступенчатая функция Хевисайда. При этом частотная характеристика фильтра выражается формулой

$$|\Phi(f)| = \left| \sin(\pi f / f_0) / (f / f_0) \right|.$$

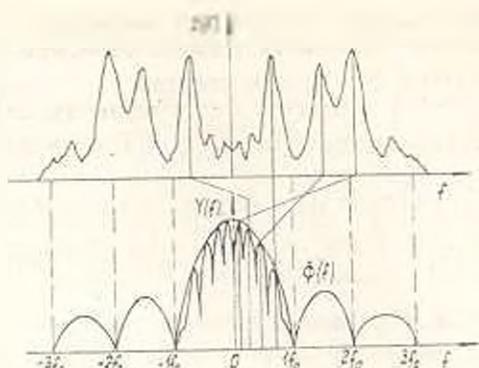


Рис. 2.

что соответствует простейшему идеализированному случаю, когда режущая кромка резца прямоугольная, а упругая система СПИД безынерционная. Практически режущая кромка отличается от прямоугольной, а упругая система СПИД обладает динамической податливостью. При таких признаках отличия в частотной характеристике снижаются уровни боковых лепестков. Наряду с этим, в процессе токарной обработки имеет место эффект механического сглаживания обрабатываемой поверхности, который приводит к снижению эффективной полосы фильтра $\Phi(f)$ и изменению формы частотной характеристики.

Как следует из (5), спектр продольных неровностей обработанной поверхности $Y(f)$ получается в результате циклического наложения спектра колебаний резца $Z(f)$ с шагом по частоте, равной частоте вращения обрабатываемой детали. Когда в спектре колебаний присутствует составляющая с частотой f , то в спектре неровностей она проявляется на множестве маскированных частот: $f, |f \pm f_0|, |f \pm 2f_0|, \dots, |f \pm kf_0|$. Таким образом, связь спектров $Y(f)$ и $Z(f)$ наблюдается через эффект наложения, т.к. подобно стробоскопическому явлению, функция $z(t)$ "высвечивается" с периодом T_0 в функции $y(t)$.

Рассмотрим математическую модель формообразования некруглости поверхности при токарной обработке. Придерживаясь введенных выше обозначений, запишем выражение для функции некруглости в следующей форме:

$$r(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Z(\tau) \Phi(\tau) \Big|_{t=\tau + nT_0} \quad (6)$$

Осуществляя преобразование Фурье обеих частей формулы (6), получим выражение для спектра функции некруглости $R(f)$ в виде свертки

$$\begin{aligned} R(f) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} [Z(f) \otimes \Phi(f)] \exp(-j2\pi nT_0 f) = \\ &= [Z(f) \otimes \Phi(f)] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kf_0). \end{aligned} \quad (7)$$

Как следует из (7), спектр функции некруглости $R(f)$ дискретный. При этом его огибающая получается сверткой спектра колебаний $Z(f)$ с характеристикой фильтра $\Phi(f)$. На рис. 3 показана двухэтапная трансформация спектров. В процессе свертки (средний график) имеет место эффект сильного сглаживания (размывания) спектральных линий. Для наглядности функция $\Phi(f)$ представлена пунктиром лишь в виде своих главных лепестков. Результирующий дискретный спектр представлен на нижнем графике в виде реальных дельта-функций на частотах, кратных частоте вращения обрабатываемой детали.

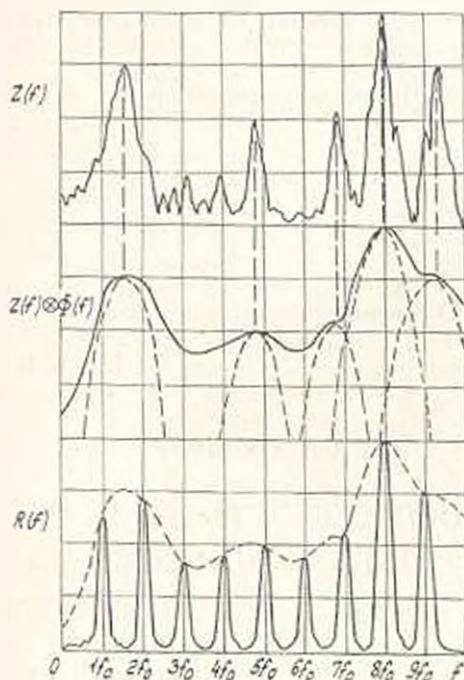


Рис. 3.

Таким образом, разработанная спектральная модель формообразования позволила установить функциональную связь между колебаниями детали и инструмента и неровностями обработанной поверхности с помощью формул (5) и (7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bahmann W. Der Einfluß einer harmonischen Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug auf die Oberflächengestalt des Werkstückes beim Langsdrehen // Maschinenbautechnik. - 1961. - Bd. 10, H. 5. - S. 183-190.
2. Bertold H., Bahmann W. Dynamische Abnahmehedingungen bei Drehmaschinen // Maschinenbautechnik. - 1962. - Bd. 11, H. 4. - S. 176-181.
3. Вигенберг Ю. Р. Оценка шероховатости поверхности с помощью корреляционных функций // Вест. машиностр. - 1969. - №1. С. 55-57.

4. Витенберг Ю. Р. Оценка полноты поверхности с помощью корреляционных функций // Там же. - 1971. - № 8. - С. 58-60.
5. Mirati G., Vullo V., Stroppiana B. Analisi sperimentale degli errori misurati e macrogeometrici di superfici lavorate // *Technica Italiana* - 1979. - № 6. - S. 349-355.
6. Хусу А. П., Витенберг Ю. Р., Пальмов В. А. Шероховатости поверхностей (теоретико-вероятностный подход). - М.: Наука, 1975. - 344 с.
7. Выбор диагностических признаков технического состояния станков на основе макро- и микрогеометрических характеристик обработанной поверхности / В. А. Авакян, К. С. Бабалян и др. // *Динамика станочных систем гибких автоматизированных производств*: Тез. докл. 3-й Всесоюз. и-т. конф. - Тольятти, 1988. - С. 217-218.
8. Авакян В. А., Бабалян К. С., Мкртчян В. С. Диагностика технического состояния токарных станков на основе спектрального анализа макро- и микрогеометрических характеристик обработанной поверхности // *Методы и средства виброакустической диагностики машин*: Тез. докл. Всесоюз. и др. конф. - Ивано-Франковск, 1988. - С. 106-107.
9. Стейн С., Джонс Дж. Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений. - М.: Связь, 1971. - 376 с.

НПО "Армстанок"

24. IV 1993

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, №2, 1995, с. 79-84.

УДК 621.382.2

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С.А. ГАСПАРЯН

УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ НАГРУЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել տարբերակ նյութերի գոյամիացությունների երկարակեցությունը՝ փոքր թվով ցիկլերի և ջերմության դեպքում փոփոխական բեռնավորման պայմաններում: Տրված է տարբեր ձևով կառուցված զոդակարերի փորձարկման արդյունքների համեմատական վերլուծությունը: Կենտրոնացված է փոփոխական բեռնվածքի դեպքում մնացորդային խրտվածքի կուտակումը:

Цель работы - исследование долговечности паяного соединения разнородных материалов в условиях переменного нагружения с малым числом циклов и нагрева.

Дан сравнительный анализ результатов усталостных испытаний разных форм исполнения паяного шва. Оценено накопление остаточных деформации при переменном нагружении.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

The aim of this paper is to investigate the durability of soldered joints of heterogeneous materials in terms of alternating load with low number of cycles and heating. A comparative analysis of the results of fatigue tests for the soldered seam having different forms is given. Accumulation of residual deformations at cyclic loading is evaluated.

Ill. 4, Table 1, Ref. 4.

Особенности поведения паяных конструкций в области ограниченной выносливости, в частности, в случаях, когда они работают в условиях переменного нагрева, изучены недостаточно.

При оценке влияния частоты нагружения на долговечность паяных конструкций в вышеизложенных условиях отсутствуют однозначные решения [1, 2].

Цель исследования - оценить влияние угла скоса в месте пайки встык паяного соединения "сталь-вольфрам" с серебряным припоем на долговечность пайки в условиях переменного нагружения с малым числом циклов ($10^4 - 5 \cdot 10^4$) и нагрева. Угол наклона, при котором имеет место наиболее благоприятное напряженное состояние в стыке шва, теоретически получен равным 67° [3].

Для оценки результатов испытаний в вероятностном аспекте одна серия испытаний была принята за базовую, статистические параметры оценки долговечности которой были приняты за основу для других серий испытаний образцов, что позволило при малом количестве образцов получить необходимую для исследования информацию. Выбор режима нагружения образцов, при котором они испытывались, обоснован на следующих предпосылках. Корпуса полупроводниковых приборов работают в условиях вибрации и циклического нагрева, в их сечениях возникают переменные растягивающие напряжения, характер изменения которых можно аппроксимировать отнулевым циклом растяжения. Если учесть при этом повторяющуюся ударную нагрузку, напряжения от которой не подчиняются синусоидальному закону, то при суммарной работе всех напряжений характер их изменения целесообразно воспроизводить прямоугольной формой цикла.

Ресурс долговечности полупроводниковых приборов в реальных условиях работы по представленной информации составляет примерно

10^4 термоциклов в диапазоне температур $t = (100 - 150)^\circ\text{C}$. Поэтому область испытаний образцов ограничена в пределах малоникловой усталости. Образцы, использованные для испытаний, имитируют корпуса полупроводниковых приборов, т.е. представляя собой паяное соединение "сталь-вольфрам" посредством припоя ПСр 40.

Образцы изготовлены в виде стержней с прямоугольным сечением, размеры которых выбраны, исходя из общих требований, предусмотренных ГОСТ 2860-65, при этом толщина в корпусе прибора соответствует толщине пластины из вольфрама. Это позволяет исключить масштабный эффект, т.е. считать испытание образцов натурным. Паяное соединение образцов выполнено встык под прямым углом 67° . При этом теоретически считается, что напряженное состояние для исследуемого контакта "сталь-вольфрам" вблизи зоны концентрации напряжений является наиболее оптимальным. Изготовление образцов производилось согласно [3].

Проводились три серии опытов для сравнительной оценки влияния изменения угла паяного шва на долговечность при комнатной и повышенной температурах. Ввиду того, что количество образцов ограничено, программой испытаний предусмотрено построить одну базовую усталостную кривую, а для остальных случаев определить лишь относительное смещение кривых, считая параметры распределения известными. Для измерения деформаций образцов в зоне пайки было изготовлено специальное приспособление [3].

Часть испытаний при комнатной температуре была проведена на усталостной машине "Инстрон-3710-016", а другая часть при нагреве образцов в пределах $(100-150)^\circ\text{C}$ была реализована для исследований образцов на усталость при повышенных температурах. Нагрев образца производился непосредственным пропусканием электрического тока.

При этом продольные и поперечные деформации образца во время эксперимента непосредственно изменялись с помощью бесконтактных датчиков (деформаторов), которые посредством электрических сигналов непрерывно регистрируют на двухкоординатных приборах деформации в цикле и их изменение с числом нагружений). Испытания образцов на этих машинах были проведены в идентичных условиях, используя при этом возможности "Инистрон". Образцы испытывались при частотах 0,2, 20 и 100 Гц для оценки влияния частоты нагружения на долговечность образца.

Перед началом испытаний предварительно назначались уровни нагрузок с установленной последовательностью выходящих величин нагрузок. Величины уровней напряжения устанавливались соответственно программе исследования путем предварительных испытаний. На каждом уровне напряжения для построения базовой кривой усталости испытывались по пять образцов. Результаты испытаний подвергались статистической обработке, которая произведена функцией преобразования вероятностей $\arcsin \sqrt{P}$, при этом расчет сводится к простому регрессионному расчету в виде оценочной функции $\bar{y} = a + bx$ [4].

Оценка области ограниченной выносливости осуществляется в два этапа. На первом этапе определяются коэффициенты оценочной функции $f(N)$. Схема оценки непосредственно с рассчитанными величинами результатов испытаний базовой кривой для образцов с углом скоса 67° приведена в таблице.

Таблица

Схема оценки испытаний образцов, наклон под углом 67°

i	P	Z _i	Уровни напряжения					
			$\sigma_1=220 \text{ МПа}$		$\sigma_2=180 \text{ МПа}$		$\sigma_3=150 \text{ МПа}$	
			Ni(σ_1) $\times 10^3$	lg N _i	Ni(σ_2) $\times 10^3$	lg N _i	Ni(σ_3) $\times 10^3$	lg N _i
1	0,2	0,46365	2,22	0,346353	3,16	0,499688	6,15	0,788750
2	0,4	0,68472	2,24	0,350248	3,30	0,518514	8,22	0,914982
3	0,6	0,88608	2,35	0,454844	8,22	0,914872	15,15	1,180412
4	0,8	1,10715	3,06	0,556303	10,15	1,006466	22,55	1,353146
5	0,9	1,24905	5,01	0,707570	12,55	1,098644	36,78	1,565612
Значения Z _i для i=n, P=1-0,5 ⁱ								
$\sum Z_i = 4,39065$			$Z_i = \arcsin \sqrt{P}$					
$\sum Z_i = 4,25486$			—					
$\sum \lg N_i \rightarrow$			2,4153318	4,038184	5,802917			
$\sum (\lg N_i Z_i) \rightarrow$			2,3031375	3,883936	5,4920321			

В результате вычисления получены следующие оценочные функции:

1) для образцов, наклон под прямым углом -

$$\lg \dot{N} = 0,0645 + 0,8462 \arcsin \sqrt{P} \quad (\sigma = 180 \text{ МПа}),$$

$$\lg \dot{N} = 0,2890 + 0,9925 \arcsin \sqrt{P} \quad (\sigma = 150 \text{ МПа}),$$

$$\lg \dot{N} = 0,0824 + 0,4562 \arcsin \sqrt{P} \quad (\sigma = 220 \text{ МПа}).$$

2) для образцов, паяных под углом 67° -

$$\lg N = 0.3019 + 0.8123 \arcsin \sqrt{P} \quad (\sigma = 180 \text{ МПа}).$$

На втором этапе производится определение характеристик функциональной зависимости $\sigma - N$ по линейной функции $\lg N = a - b \lg \sigma$.

Уравнения семейства кривых испытаний получаются для соответствующих P :

$$\lg N = 2.89 - 1.22 \lg \sigma \quad (P = 0\%),$$

$$\lg N = 4.72 - 1.95 \lg \sigma \quad (P = 5\%),$$

$$\lg N = 5.68 - 2.14 \lg \sigma \quad (P = 50\%),$$

$$\lg N = 13.78 - 5.58 \lg \sigma \quad (P = 95\%).$$

Семейство кривых, описываемых этими уравнениями, приведено на рис. 1. Там же приведен график кривой по результатам испытаний образцов с прямым скосом, для которого коэффициент b принят тот же.

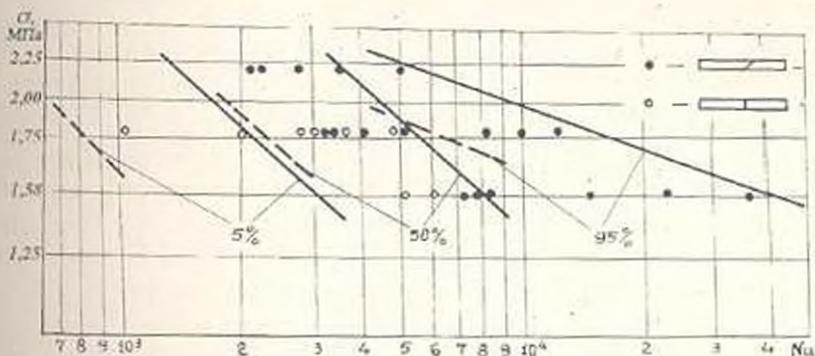


Рис. 1. Оценка результатов испытаний образцов при разных вероятностях разрушения

Сопоставление кривых усталости образцов с прямыми и косыми швами показывает, что, несмотря на значительное рассеяние результатов при всех вероятностях разрушения, долговечность образцов с косыми швами существенно повышается при всех уровнях нагружения. Это, по-видимому, объясняется благоприятным распределением напряжений по всему сечению шва по сравнению со швом, выполненным под прямым углом. Следует, однако, отметить некоторое увеличение рассеяния результатов при испытаниях образцов с косым швом, что является следствием увеличения размеров шва в поперечном направлении, при котором вероятность увеличения числа дефектов в процессе пайки возрастает.

Интерес представляет оценка влияния частоты нагружения на долговечность образцов. С этой целью результаты испытаний образца с косым швом были сгруппированы по режимам нагружения при высоких и низких частотах и статистически обработаны при вероятности разрушения $P = 50\%$

$$\lg N = 7.93 - 3.11 \lg \sigma \quad \text{при } \nu = (0.2 \dots 5) \text{ Гц.}$$

$$\lg N = 6.59 - 2.61 \lg \sigma \quad \text{при } \nu = (80 \dots 100) \text{ Гц.}$$

На рис. 2 приведены соответственно кривые усталости в области малых чисел циклов изменения напряжений.

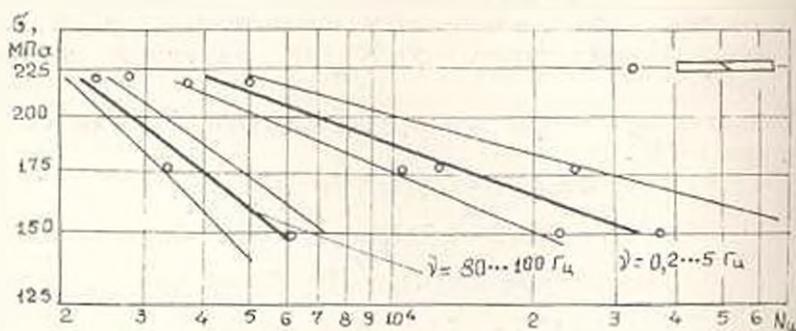


Рис. 2. Кривые усталости образцов, испытанных при разных частотах нагружения

Анализ кривых показывает значительное влияние частоты нагружения на долговечность образцов. Взаимное расположение кривых выносливости свидетельствует о том, что после некоторых значений перенапряжения увеличение последних влечет за собой увеличение относительной долговечности по мере нарастания частоты нагружения.

С целью оценки влияния нагрева на выносливость испытывались образцы двух указанных видов исполнения паяного шва на трех уровнях напряжений. Испытания не выявили существенного различия результатов при разных исполнениях паяного шва в области малых циклов нагружения. Результаты испытаний при вероятности разрушения $P = 50\%$ с $\lg N = 4,48 - 1,78 \lg \sigma$ приведены на рис. 3. Там же для сопоставления приведена кривая усталости образцов со скосом при вероятности разрушения $P = 50\%$, взятая из графика на рис. 1.

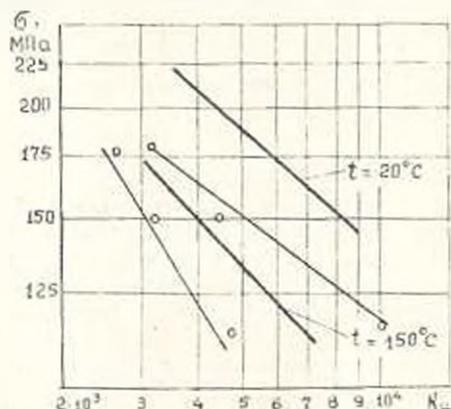


Рис. 3. Кривые усталости образцов, испытанных при разных температурах

Сделана попытка оценить изменение остаточных деформаций в процессе циклического нагружения образцов паяных соединений, результаты испытаний которых отражены на рис. 4. В процессе испытаний непрерывно изменялась ширина петли гистерезиса за каждый полуцикл, определяемая в виде накопленной за цикл односторонней остаточной деформации $\bar{\epsilon}_r$. Испытания проводились при

частоте нагружения $\nu = 0,2 \text{ Гц}$ на уровне напряжений $\sigma = 180 \text{ МПа}$ при нормальных условиях и температуре $t = 180^\circ \text{C}$.

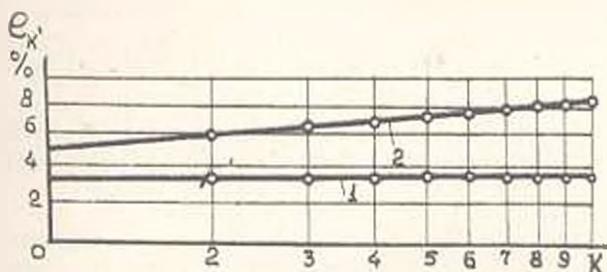


Рис. 4. Накопление остаточных деформаций в зависимости от числа циклов нагружений:

1) при $t = 20^\circ$, 2) при $t = 180^\circ$.

Из графика на рис. 4 видно, что при нормальных условиях нагружения паяное соединение является циклически стабилизирующим материалом, но при повышенных температурах изменяет свое поведение в сторону циклического разрушения. Кинетика изменения деформаций с числом циклов указывает на то, что циклические свойства материала при нагружении в нормальных температурных условиях определяют усталостный характер разрушения, а при повышенных температурах — квазистатический.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. - М.: Машиностроение, 1977. - 323 с.
2. Миччичи Масяки и др. Оценка термоусталостной прочности нахлесточных паяных соединений // Дзайре: J. Soc. Mater. Sci, Jap. - 1981. - N 331. - P. 330-335.
3. Исследования статической и динамической прочности корпусов полупроводниковых приборов на основе сталь-вольфрам-серебро-медь: Отчет о НИР / Ереванский политех. ин-т (ЕрПИ); Руководитель С.Х. Геворкян. - № ГР 0182ЖС67877. - Ереван, 1983. - 91 с. - Отв. исполни. С.А. Гаспарян.
4. Поведение стали при циклических нагрузках / Под ред. В. Дали. - М.: Металлургия, 1983. - 568 с.

ГИУА

16.V.1994

Н.А. БАЗИКЯН, Г.Г. МАНАСАРЯН

СИСТЕМА, ПРЕДОТВРАЩАЮЩАЯ БОКОВОЙ УВОД ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА НА СКЛОНАХ

Թերթրոյնների լայնով աշխատելու արակտորային ազդեցումի կողմանոր կանխելու համար ստեղծվում է համակարգ: Կանխվում թերթրոյնի անկումն, բրթորակի արակտորի ածխած շրանակի նկատմամբ շարժարերի հսիս և այ կողմի անկախիմամբ առաջանում է կայունացնող մոմենտ, որը կայունում է սորեկտուի ընթացելիս կայունութան բարկալմանը: Շարժարերի կողերի տեղափոխման և թերթրոյնի անկան միջև բացահայտվում է առնչություն, որն անհրաժեշտ է համակարգի ավտոմատ կառավարման համար:

Для предотвращения бокового увода тракторного агрегата при его работе поперек склона разработана система, которая путем смещения правого и левого бортов движителя гусеничного трактора относительно его неподвижной рамы в зависимости от угла склона создает стабилизирующий момент, способствующий повышению курсовой устойчивости агрегата. Определены функциональные зависимости между величиной смещения бортов движителя и углом склона, необходимая для автоматического управления системой.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

To prevent a tractor unit from side sliding during its operation traverse to the slope a system has been developed which causes a stabilizing moment for enhancing course stability of the unit by means of shifting right and left boards of the crawler tractor propulsive device relative to its fixed frame. Functional dependence between the board shift size of the propulsive device and the slope necessary for the automatically controlled system is defined.

Ил. 2. Ref. 2.

В ряде государств СНГ (Армения, Грузия и Молдова) 60-80% всех возделываемых земель находится на склонах, а в нечерноземной зоне России их удельный вес достигает 50%. Связи с этим весьма актуальным становится вопрос создания "горных" тракторов, обеспечивающих механизированное возделывание указанных площадей [1].

Обычно при движении тракторов поперек склона происходит их постоянный увод вниз по склону. Для сохранения заданной курсовой устойчивости необходимо постоянно подправлять машину, в результате чего происходит "виляние" агрегата, увеличивается его поперечный габарит, что отрицательно сказывается на технологическом процессе возделывания земель, приводит к значительному увеличению расхода горюче-смазочных материалов и уменьшению ресурса машины.

Увод гусеничной машины вниз по склону происходит по двум причинам. Первая из них - наличие зазора и сочленении "трак-пашин", в результате чего гусеница на склоне едет не параллельно оси движения машины, а с некоторым отклонением в сторону склона [2]. Однако данный фактор не является основным, так как изменением натяжения гусеничной цепи это влияние можно свести к минимуму. Основной причиной увода является неравномерное распределение касательных сил тяги по бортам машины, так как вращающий момент, подводимый от двигателя к ведущей звездочке, распределяется пропорционально реактивным моментам, создаваемым гусеницами. По этой причине трактор отклоняется в сторону более нагруженного борта.

По ряду существенных конструктивных решений [2] весьма перспективна принципиально новая схема крутосклонного трактора [3]. В данной системе борта гусеничной машины могут перемещаться относительно неподвижной рамы на определенную величину (рис. 1б), обусловленную углом склона, с помощью четырех гидrocилиндров, соединяющих борта с неподвижной рамой.

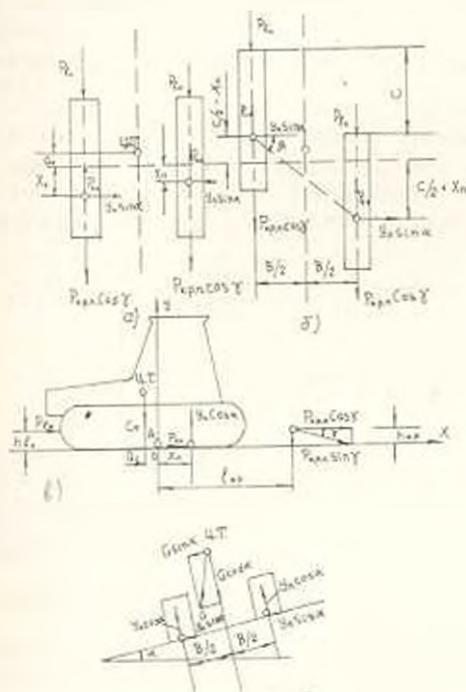


Рис. 1 Силы, действующие на трактор при его движении поперек склона: а и б - на горизонтальной плоскости; в - на вертикальной плоскости, г - на профильной плоскости

При движении машины со смещенными бортами (рис. 1б) поперек склона с углом α (рис. 1г) возникает стабилизирующий момент, препятствующий ее уходу вниз по склону. Схема следящей системы, обеспечивающей необходимое смещение правого и левого движителей в зависимости от угла α , может быть весьма разнообразной. В данном решении она состоит из блока управления, датчика угла склона, двух реохордных датчиков, закрепленных соответственно на правом и левом бортах, и сигнального устройства, расположенного в кабине трактора.

Перед началом работы водитель на датчике устанавливает ориентировочный угол склона, на котором ему придется работать. Затем в процессе движения происходит ориентация бортов, т.е. их взаимное смещение относительно рамы машины. При достижении определенной величины смещения в кабине подается сигнал и водитель приостанавливает выдвижение бортов.

В связи с взаимным перемещением бортов возникает вопрос о приводе ведущих звездочек. В рассматриваемой схеме он решается путем соединения бортовых редукторов с соответствующими механизмами

поворота карданными валами с шарнирами равных угловых скоростей [3].

Нами рассмотрен общий случай движения гусеничной машины поперек склона с тягой на крюке $P_{кр}$, а также проведены расчеты по определению взаимосвязи между углом склона α и величиной смещения C правого и левого бортов относительно неподвижной рамы. С целью упрощения расчетов приняты следующие допущения:

— гусеничная машина рассматривается при установившемся движении;

— усилие на крюке $P_{кр}$ направлено по продольной оси симметрии трактора;

— коэффициенты сцепления φ и сопротивления качению f гусениц машины, расположенных вверх и вниз по склону, равны.

Учитывая вышесказанное, а также известные в теории трактора определения, после некоторых преобразований получим

$$C = (h_{лв} - h_{пр})f + \left\{ \frac{B}{2h_n} [(h_{лв} + h_{пр})f + \right. \\ \left. + 2(h_{кр} + l_{кр}g\gamma)(\varphi - f) - 2a_0] + \frac{Ba_0}{h_n} + \right. \\ \left. + B(\varphi - f)[1 - (\delta_l + \delta_n)] \right\} \operatorname{ctg} \alpha - \frac{B^2(\varphi - f)}{4h_n} (\delta_l - \delta_n) \operatorname{ctg}^2 \alpha.$$

где $h_{лв}$ и $h_{пр}$ — плечо составляющей силы сопротивления качению левой и правой гусениц; δ_l и δ_n — коэффициенты буксования на левой и правой гусеницах.

В качестве примера рассмотрим движение трактора кл. 30 кН поперек склона. Исходными данными являются: $\varphi=0.6$; $f=0.1$; $a_0=0.2$ м; $h_n=1.5$ м; $G=69.75$ кН; $B=1.4$ м; $h_{лв}=0.15$ м; $h_{пр}=0.1$ м; $h_{кр}=0.5$ м; $l_{кр}=1.5$ м; $\gamma=0^\circ$; $\delta_l=0.14$ и $\delta_n=0.1$. По результатам расчетов построена зависимость $C = F(\alpha)$ (рис. 2).

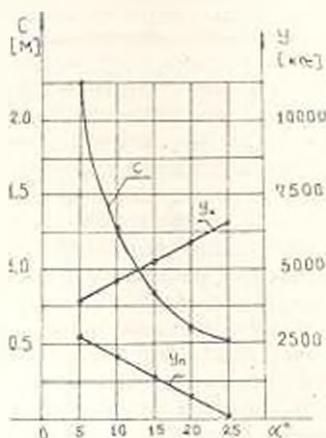


Рис. 2. Зависимость взаимного смещения гусениц C и вертикальных реакции почвы Y_l и Y_n от угла склона α

Там же указаны изменения значений вертикальных нагрузок на левый и правый борта $Y_{\text{л}}$ и $Y_{\text{п}}$ в зависимости от α . Так, например, при движении гусеничной машины вдоль левого склона (рис. 1г) с углом склона $\alpha = 20^\circ$ величина необходимого смещения гусениц S для создания стабилизирующего момента должна быть равна 0,65 м, т.е. левый борт необходимо выдвинуть вперед, а правый - назад относительно неподвижной рамы на величину 0,325 м (рис. 1б).

По результатам расчетов можно заключить, что взаимное смещение бортов относительно неподвижной рамы машины приводит к возникновению стабилизирующего момента, что, в свою очередь, препятствует уводу трактора вниз по склону и улучшает курсовую устойчивость МТА независимо от крутизны и направления склона. При этом значительно уменьшается количество воздействий на механизмы поворота, что позволяет применить в рассматриваемой машине механизмы поворота серийной конструкции. С увеличением угла α уменьшается взаимное смещение S , увеличивается вертикальная нагрузка на гусеницу, находящуюся внизу по склону $Y_{\text{л}}$, и составляющая $Y_{\text{лвпк}}$, которая создаст стабилизирующий момент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коеневич Н.П., Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система. Почва-урожай. М.: Агропромиздат, 1985. - 304 с.
2. Хухунш Г.В. Механика трактора-склонохода. - Тбилиси: Мецниреба, 1983. - 173 с.
3. Базилян Н.А., Манасарян Г.Т. Патент СССР 1833331. А. 3. - 1993. - 6 с.

Армянский сельскохоз. ин-т

10. V. 1994

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТИ), т. XLIX, №2, 1995, с. 88-93

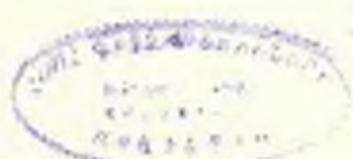
УДК 621.311

ЭНЕРГЕТИКА

М.А. БАЛАБЕКЯН, В.С. САФАРЯН

УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Էլեկտրական ցանցերի օպտիմալ զարգացման խնդրի լուծման սթաբիլիզացիոն տարալիչ չափով բավարարում է դիտարկել ծրագրավորման բազմաբաշխային մեթոդը, որը բույ է տալիս ամեն մի քայլում հաշվի առնել օպտիմալիզացիոն համակարգի շահերը: Սակայն նշված խնդիրը լուծելու համար դիտարկել ծրագրավորման գործնական օգտագործումն առաջացնում է մեծ դժվարություններ, որոշիտես կախված է տարրերի ել խառնվածների քանակից, ենարավոր միճակներից ել այլն, պահանջում է մեծ չափողակսնություն: Առաջարկվում է խնդրի լուծման էլիքստիկ մոտեցում, որն օգտագործելով ճյուղերի ել սահմանների գաղափարը, գալիորեն փորրացնում է էլեկտրական ցանցերի զարգացման խնդրի լուծման չափողակսնությունը:



Решению задачи оптимального развития электрической сети в наибольшей степени способствует многошаговый метод динамического программирования, который позволяет на каждом шаге учесть интересы оптимизируемой системы за весь заданный период времени. Однако практическая реализация динамического программирования встречает значительные трудности, вызываемые большой размерностью, которая определяется количеством участков и элементов сети, возможных состояний и т.д. Прилагается эвристический подход, который с использованием идеи метода ветвей и границ существенно уменьшает размерность задачи оптимального развития электрических сетей по сравнению со строгим динамическим подходом.

Ил. 1. Табл. 2. Табл. 3. Табл. 4. Ил. 5.

A dynamic programming multistep method permitting to take into account in every step the system interests to be optimized mostly satisfies the conditions for measuring electric networks for optimal problem solving development. To solve this problem the practical application of dynamic programming causes, nevertheless, great difficulties because according to the number of elements, and segments, possible states, etc., precision measurements are required. A heuristic approach to solve this problem is proposed, which decreases the measurement of electric networks for optimal problem solving development using the idea of branch and boundary method.

Ил. 1. Табл. 2. Ил. 4.

Одной из центральных проблем современного этапа построения системы электроснабжения селений является определение оптимальной стратегии развития сельских электрических сетей, включающее в себя решение задач по увеличению пропускной способности, повышению экономичности и надежности, уменьшению ущерба от прокладки сетей по сельскохозяйственным угодьям и т.д.

Определение оптимальной стратегии развития сети наряду с выбором способов улучшения характеристик сети требует установления для каждого из возможных путей развития очередности и сроков их реализации. Критериями эффективности оптимизации развития сельских электрических сетей служат приведенные затраты. Поэтому выбор оптимальной стратегии развития заключается в определении такой последовательности и сроков проведения мероприятий, которые обеспечивали бы минимальные приведенные затраты и приспособленность сети к выполнению поставленных перед нею задач.

Планировать развитие некоторой конкретной сети следует с учетом влияния на каждое принимаемое мероприятие будущих этапов развития сети. Если иметь в виду оптимальное развитие, то любое мероприятие необходимо рассматривать совместно с другими, которые будут реализованы в течение заданного промежутка времени. Это положение имеет принципиальное значение при выборе метода решения задачи, который позволяет выбрать не только осуществляемые мероприятия, но и сроки их реализации. В наибольшей степени условиям задачи оптимального развития сети удовлетворяет многошаговый метод динамического программирования [1], который позволяет на каждом шаге учесть интересы оптимизируемой системы за весь заданный период период времени.

В статье рассматриваются подходы, позволяющие выполнить необходимые упрощения, сохранив в то же время одно из наиболее важных достоинств метода динамического программирования - учет интересов системы за весь период при реализации каждого шага решения.

Модель оптимального развития сети, т.е. последовательности состояний, которые определяются из условия минимума критерия эффективности за некоторый период времени при соблюдении заданных системы ограничений, может быть записана в виде

$$Z = \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i \in N(t)} \delta_i E_{ii} K_i + \Delta P^{(t)} C t \right) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\hat{U}_i^{-1(t)} (Y - \Delta Y^{(t)}) \cdot U^{(t)} = \bar{S}^{(t)}; \quad i = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$|\Delta U_i^{(t)}| \leq \Delta U_{\text{доп}}^{(t)}; \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (3)$$

где (1) - целевая функция; (2) и (3) - ограничения; Z - приведенные суммарные затраты на рассматриваемый период T ; t - номер текущего года; E_{ii} - нормативный коэффициент для проведения разновременных затрат; K_i - капитальные вложения, произведенные в году для сооружения i -й ветви; $\Delta P^{(t)}$ - средние потери активной мощности в сети и нормативное число часов работы сети в t -ом году; C - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; δ_i - символ Кронекера.

Пусть рассматриваемая электрическая сеть имеет m узлов и n ветвей. Обозначим соответственно множества узлов и ветвей сети через M и N , а множество ветвей, подлежащих рассмотрению, - N . Очевидно, что

$$|N| = \frac{m(m-1)}{2} - |N_0| \quad (4)$$

$$N^{(t)} = N \setminus \bigcup_{i=1}^{t-1} N^{(i)}$$

где $N^{(t)}$ - множество ветвей, сооружаемых в t -ом году; $U^{(t)}$ - вектор комплексных узловых напряжений в t -ом году; Y - матрица узловых проводимостей исходной сети; $\Delta Y^{(t)}$ - приращение матрицы узловых проводимостей, соответствующее ветвям $\bigcup_{i=1}^{t-1} N^{(i)}$; $\bar{S}^{(t)}$ и $\Delta U_i^{(t)}$ - вектор узловых комплексных мощностей и отклонение модуля напряжения в t -ом узле в t -ом году; $\Delta U_{\text{доп}}^{(t)}$ - допустимое отклонение модуля напряжения.

Способы решения задач оптимального развития сетей наряду с применением идей динамического программирования могут быть существенно упрощены, если для каждого года решить статическую задачу оптимизации. Допустим, известен детерминированный закон изменения нагрузок на участках сети по годам. Примем, что нагрузки меняются по годам непрерывно и оптимальное состояние сети принимает к концу года. На основании заданных уровней нагрузок в каждом году расчетного срока определяют оптимальную сеть и затраты на переход от рассматриваемого варианта ко всем оптимальным, соответствующим уровням нагрузок тех лет, которые еще осталось пройти до окончания расчетного срока. Эту процедуру повторяют каждый раз, когда за исходный принимают следующий по очереди год. При этом в каждом году за исходные могут быть приняты несколько оптимальных сетей в зависимости от последовательности состояний (траекторий), которые были реализованы в период до рассматриваемого года. Сравнивая между собой все имеющиеся траектории, можно выбрать оптимальную, отвечающую условиям задачи. Этот подход существенно уменьшает размерность рассматриваемой задачи по сравнению со строгим

динамическим подходом [2], однако и он не может быть рекомендован для практического применения, т.к. число рассматриваемых вариантов все еще остается значительным. (В общем случае при рассматриваемом сроке в T лет число возможных стратегий равно $N_{\text{во}} = 2^T$, а число оптимальных вариантов, подлежащих рассмотрению, $N_{\text{опт}} = 2^{T-2}(T-1)$ [3]).

Следующий шаг к упрощению заключается в прерывании процессов формирования вариантов развития сети по признаку минимальных затрат.

Предположим, нас интересует пятилетний период развития сети. Полная система рассматриваемых изменений состояния образует $2^5 = 32$ стратегии, начиная от случая, когда изменения вообще нет, и до случая, когда оно будет в каждом году. Полную систему всевозможных стратегий можно представить пятиразрядными числами двоичного исчисления, в котором единицы означают изменение состояния, а нулями отмечены годы, когда реконструкцию не проводят (табл. 1).

Таблица 1

	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1.	0	0	0	0	0	12.	0	1	0	1	1	23.	1	0	1	1	0
2.	0	0	0	0	1	13.	0	1	1	0	0	24.	1	0	1	1	1
3.	0	0	0	1	0	14.	0	1	1	0	1	25.	1	1	0	0	0
4.	0	0	0	1	1	15.	0	1	1	1	0	26.	1	1	0	0	1
5.	0	0	1	0	0	16.	0	1	1	1	1	27.	1	1	0	1	0
6.	0	0	1	0	1	17.	1	0	0	0	0	28.	1	1	0	1	1
7.	0	0	1	1	0	18.	1	0	0	0	1	29.	1	1	1	0	0
8.	0	0	1	1	1	19.	1	0	0	1	0	30.	1	1	1	0	1
9.	0	1	0	0	0	20.	1	0	0	1	1	31.	1	1	1	1	0
10.	0	1	0	0	1	21.	1	0	1	0	0	32.	1	1	1	1	1
11.	0	1	0	1	0	22.	1	0	1	0	1						

Полную систему всевозможных стратегий более наглядно можно представить в виде ориентированного графа, представленного на рисунке, каждая вершина характеризуется двумя индексами, первые из которых показывает конец текущего года, а второй - возраст сети. Если при переходе по дуге возраст сети увеличивается на единицу, это означает, что сеть не реконструировалась, если же возраст становится равным нулю, это означает, что сеть в конце текущего года оптимизировалась. Вершина $0, 0$ является исходной, а вершины $5, i$ ($i = 0, \dots, 5$) - конечными. Ориентированные пути с начальной $0, 0$ и конечной $5, i$ вершинами представляют собой определенную стратегию. Например, путь $0, 0 \rightarrow 1, 0 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 4, 0 \rightarrow 5, 1$ соответствует 19-й стратегии - табл. 1.

Перейдем к иллюстрации упрощенного подхода, для чего воспользуемся графической формой отображения процесса развития сети (рис.). Осуществляется анализ сети в первом году с учетом ее нагрузок рассматриваемого пятилетнего периода, т.е. сопоставляются стратегии $0, 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 4, 4 \rightarrow 5, 5$ и $0, 0 \rightarrow 1, 0 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 4, 3 \rightarrow 5, 4$ по приведенным суммарным затратам. При этом могут быть два случая: сеть требует изменения состояния в первом году, или в этом нет необходимости. В первом случае разрывается дуга $0, 0 \rightarrow 1, 1$, а во втором случае - дуга $0, 0 \rightarrow 1, 0$.

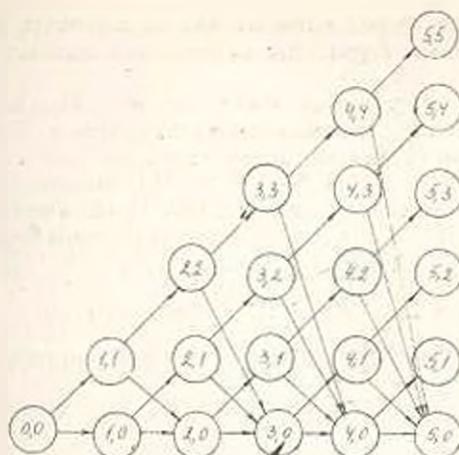


Рис.

Рассмотрим первый случай, при котором все стратегии i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 для которых $i_k = 0$, исключаются из дальнейшего рассмотрения, где i_k - двоичный символ, $k = 1, 2, \dots, 5$. Далее выполняется пять оптимизационных расчетов сети для нагрузок второго, третьего, четвертого и пятого годов (табл. 2).

Таблица 2

		1	2	3	4	5
1-й год	1	1(0)	2(1)	0	0	0
	2	1(0)	0	3(1)	0	0
	3	1(0)	0	0	4(1)	0
	4	1(0)	0	0	0	5(1)
2-й год	5	1(0)	2(1)	3(2)	0	0
	6	1(0)	2(1)	0	4(2)	0
	7	1(0)	2(1)	0	0	5(2)
3-й год	8	1(0)	0	3(1)	4(3)	0
	9	1(0)	0	3(1)	0	5(3)
4-й год	10	1(0)	2(1)	0	4(2)	5(4)

В результате получаем четыре стратегии развития сети (табл. 2). Обозначение i указывает, что в i -ом году оптимизируется сеть i -го года при нагрузках i -го года, и при $i = 0$ - исходная сеть. Если $i_{k+1} = 0$, то в k -ом году i -я сеть не оптимизируется. Далее рассматриваем оптимальную сеть второго года и выполняем расчеты при условии, что она нагружена нагрузками третьего, четвертого и пятого годов (табл. 2). Таким образом, получаем еще три стратегии. Переходим к расчету третьего года. Очевидно, что в результате ранее выполненных оптимизационных расчетов получили две стратегии, где участвуют оптимальные сети третьего года (стратегии 2 и 5). Сравнение их между собой по критерию приведенных затрат позволяет выбрать наилучший вариант (в табл. 2 выбрана 2-я стратегия). Полученная сеть 3(1) загружается последовательно нагрузками четвертого и пятого годов и каждый раз оптимизируется (стратегии 8 и 9). При переходе к четвертому году для

анализа располагаем тремя вариантами, из которых выбираем один по критерию приведенных затрат, два оставшихся варианта в дальнейшем не учитываются.

В последнем году анализируем четыре варианта (4, 7, 9, 10) и выбираем из них один с наименьшими затратами. Таким образом, для выбора оптимальной стратегии оптимизируется всего 11 сетей: 1(0), 2(1), 3(1), 3(2), 4(1), 4(2), 4(3), 5(1), 5(2), 5(3), 5(4) вместо 32 при предыдущем подходе. Эта разница существенно увеличивается с ростом рассматриваемых лет. Если способ полного перебора оптимумов при $T = 20$ лет предусматривает рассмотрение

$N_{\text{пол}} = 2^{T-1} \cdot (T - 1) = 2^{19} \cdot 19 = 5 \cdot 10^6$ вариантов и сравнение

$N_{\text{стр}} = 2^1 = 2^{30} = 1,048 \cdot 10^9$ стратегий, то при упрощенном подходе для

тех же 20 лет необходимо рассмотреть всего $N = \frac{1}{2} T(T - 1) + 1 = 191$

стратегию и без сопоставления всех стратегий выбрать оптимальную. Применение изложенной методики позволит ответить на важные вопросы развития сети, прежде всего, какую следует спроектировать сеть, чтобы приведенные затраты в расчетном периоде были минимальными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагнер Г. Основы исследования операций. - М.: Наука, 1973. Т. 2. - 187 с.
2. Моцкус П.Б. Многоэкстремальные задачи в проектировании. - М.: Высшая школа, 1967. - 286 с.
3. Мурадян А.Е. Оптимизация развития сельских электрических сетей при помощи ЭВМ //Повышение качества электроснабжения сельского хозяйства: Научные тр. ВИЭСХ. - М., 1978. - Т. 45. - С. 38-45.
4. Балабекин М.А., Сифарин В.С. Оптимизация развития электрических сетей //Повышение качества и эффективности использования электрической энергии: Тех. докл. и т. сем. Киев, декабрь, 1987 г. - Киев, 1987. - С. 16-18.

Арм.фил. ВИЭСХ

30.XII. 1991

К.В. МАРУХЯН, Г.А. БУРНАЧЯН, В.З. МАРУХЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НКК
ЭНЕРГОБЛОКОВ МОЩНОСТЬЮ 200 МВт РАЗДАНСКОЙ ГРЭС

Տեսազոտման վերաբերյալ է ենթադրվել հանրապետության խոշորագույն ՋԷԿ-ի Տրազգանի ԳՇԷԿ-ի 200 ՄՎտ եզրույթամբ կոնդենսացիոն հովազուրիչ տեղակայություններով կառավարված էներգաբլոկների աշխատանքը բնակլիմայական գործոնների լայն միջակայքի համար, որը հնարավորություն է սկսեցել կիրառված էներգաբլոկները խոսկանությունը հովազան հասարակի մի շարք չափորոշիչ բնութագրերում և նաև սերվայանային ռեժիմների օպտիմալացման խնդրի լուծման հիմքը:

В широком диапазоне природно-климатических факторов выполнен исследовательский анализ работы энергоблоков мощностью 200 МВт крупнейшей ТЭС республики - Разданской ГРЭС, оборудованных конденсационно-охлаждательными установками, в результате которого обоснована коррекция некоторых нормативных характеристик системы охлаждения и зложена основа для решения оптимизационных задач внутростанционных режимов.

Ил.1. Библиогр., 2 назв.

An analytical investigation of 200 Mw power units is performed in a wide range of environmental factors for Hrazdan Power Station, the largest in the Republic, which is equipped by hot well-cooling units. A sound correction of certain characteristic norms for cooling systems is carried out, and a ground is given to the solution of optimization problems for interunit modes.

Ил. 1. Ref 2.

В современных условиях при выборе типа, мощности и места расположения мощных электрических станций часто возникают серьезные противоречия и труднорешаемые проблемы, связанные с водообеспечением указанных станций.

Традиционные способы водоснабжения и охлаждения технической воды ТЭС и АЭС, представленные в виде искусственных водохранилищ и прудов, брызгальных бассейнов и испарительных градирен, имеют известные преимущества. Общим их недостатком являются большие безвозвратные потери циркуляционной воды, а также капитальные затраты на строительство гидротехнических сооружений.

С этой точки зрения определенный интерес представляет замечательная в последние годы тенденция к использованию в качестве охладителя атмосферного воздуха. При сооружении ТЭС и АЭС в маловодных районах или в районах с напряженным водным балансом безвозвратные потери в оборотных системах охлаждения можно существенно уменьшить или вовсе устранить, если тепло конденсации отработавшего пара передавать непосредственно атмосферному воздуху, используя в этих целях теплообменные аппараты поверхностного типа. Оборотные системы охлаждения ТЭС и АЭС, где используются указанные аппараты, получили название конденсационно-охлаждательных установок (КОУ), в которых взамен испарительного, контактного водоохладителя - градирни, применен поверхностный водоохладитель в виде радиаторной охлаждающей башни (РОБ).

Для мощных энергоблоков в практике строительства ТЭС конденсационно-охлаждательные установки были применены на

Разданской ГРЭС. При этом на эксплуатационный персонал указанной станции была возложена апробация совершенно нового комплекса энергетического оборудования. В этом плане должное осмысление и обобщение опыта внедрения указанных установок поможет проектировщикам и наладчикам новых паротурбинных ТЭС и АЭС выбрать наиболее оптимальный вариант низкопотенциального комплекса (НПК) и эффективные режимы работы всего оборудования.

Как известно, работа КОУ происходит в условиях сложной взаимосвязи между различными по характеру факторами: природно-климатическими и аэродинамическими, режимными, конструктивно-компоновочными и т.д. Поэтому для эффективной эксплуатации и оптимального управления КОУ и энергоблока в целом с привлечением ЭВМ необходимо получение математических описаний основных узлов энергоблока мощностью 200 МВт с КОУ.

Известно, что доминирующим в процессе эксплуатации является мощность, различаемая энергоблоком (в соответствии с графиком электрических нагрузок), а предлагаемые расчетные программы были привязаны лишь к тепловой нагрузке РОБ.

Аналогичные трудности возникали также при использовании нормативных тепловых характеристик, причем в указанных материалах недостаточно точно учитывался ряд природно-климатических факторов и состояние охлаждающих элементов. Поэтому для более реальной оценки, а также получения достоверных технико-экономических показателей работы энергооборудования оказалось необходимым разработать современный и практически легко реализуемый алгоритм расчета.

Используя результаты исследований [1, 2], были разработаны расчетный алгоритм и соответствующая блок-схема энергоблока К-200-130 с КОУ Разданской ГРЭС.

В предлагаемой расчетной программе заданными величинами являются:

электрическая мощность энергоблока - $N_{эл}$, МВт;

температура наружного воздуха - $t_{нв}$, °С;

количество охлаждающих элементов радиаторно-охлаждающей батареи - n ;

скорость ветра - c , м/с;

начальные параметры пара - P_0 , МПа и t_0 , °С, а также

температура промежуточного перегрева - $t_{пр}$, °С.

Алгоритм расчета представляет собой логическую последовательность определения величин по следующей схеме:

- определение полного расхода охлаждающей воды в системе КОУ;
- предварительная оценка температуры конденсации и давления в конденсаторе;
- определение паровой нагрузки конденсатора и тепловой нагрузки РОБ;
- определение температурного перепада охлаждающей воды в РОБ;
- окончательное уточнение температуры конденсации и давления в конденсаторе;
- определение расхода пара в турбине;
- расчет тепловой схемы энергоблока с определенным давлением в отборах, адиабатических перепадах и относительных расходах пара по отсекам турбины;
- определение расхода электроэнергии на собственные нужды энергоблока;
- расчет брутто и нетто показателей удельных расходов тепла и топлива, а также КПД котла, турбины и энергоблока в целом.

Согласно вышеприведенной программе, были выполнены расчеты и рассмотрен весь диапазон изменений температуры наружного воздуха от -26°C до $+34^{\circ}\text{C}$, охватывающий как "опасный" с точки зрения надежности (зимний), так и низкоэкономичный (летний) режимы работы энергоблока. Результаты расчетов дают полную информацию о работе основных узлов энергоблока, в частности КОУ, что позволяет построить более точные графические характеристики прикладного назначения. Последние могут служить основой для утверждения новых нормативных характеристик основного оборудования.

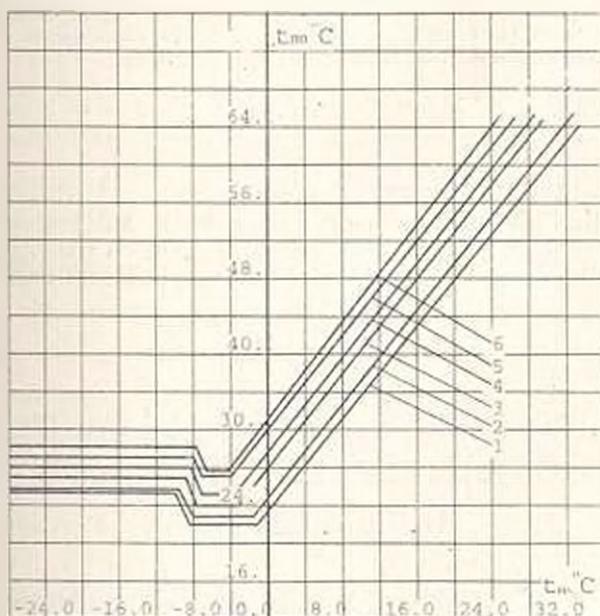


Рис.

$$c=4 \text{ м/с}, \delta t=1^{\circ}\text{C}, n=200, G_{\text{ин}}=20186,5 \text{ т/ч}$$

$$1-6 \cdot N = 110, 130, 160, 180, 200 \text{ и } 210 \text{ МВт}$$

Особый интерес представляет номограмма (рис.), полученная на основе анализа результатов расчета, где приведена зависимость температуры охлаждающей воды на выходе из РОБ от температуры наружного воздуха $t_{\text{вн}}$ при различных значениях $N_{\text{эл}}$, с и п. Очевидно, что со снижением температуры наружного воздуха, начиная с $t_{\text{вн}} = -10^{\circ}\text{C}$, возникает необходимость поддержания постоянной температуры воды на выходе РОБ не ниже $+18^{\circ}\text{C}$ для предупреждения замораживания охлаждающих элементов. Поэтому с учетом надежности работы РОБ и энергоблока в целом наиболее экономичный режим работы КОУ перемещается в область более высоких температур наружного воздуха ($t_{\text{вн}} = -8^{\circ}\text{C} \dots 0^{\circ}\text{C}$). Однако указанная область с ростом развиваемой электрической мощности $N_{\text{эл}}$ суживается.

Результаты расчетов дают также четкое представление об отрицательном влиянии скорости ветра на процесс охлаждения воды. В частности, при $N_{\text{эл}} = 200 \text{ МВт}$ и $n = 238$ увеличение скорости ветра от 0 до 4 м/с приводит к снижению охлаждающего эффекта РОБ примерно

на 2 С. с вытекающими отсюда последствиями для показателей работы энергоблока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудоян Л.Т., Марухян В.З., Оганесян Л.С. Интенсификация работы конденсационно-охлаждающей установки // Изв. вузов Энергетика. - 1981. №1 - С. 53-60.
2. Кудоян Л.Т., Марухян В.З., Оганесян Л.С. Экспериментальное исследование конденсационно-охлаждающей установки с предварительным увлажнением воздуха // Изв. вузов Энергетика. - 1983. - № 1 - С. 80-86.

ГИУА

10.IX.1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). т. XLIX, №2, 1995, с. 97-100.

УДК 621.396.671

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М.А. АРАМЯН

РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ С НЕОДНОРОДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Գիտարկվում են անհոմոգեն համակարգեր, որոնց շերտեր և գլանաձև ներառումները պատված են բաղաձեռն: Կիրառելով վեկտորական դաշտի թեորեմը՝ հաշվարկված են իրական համակարգի և նրա մոդելի էներգիաները և այդ էներգիաների հավասարադրումը որպիսանից որոշվել է յատկանային $\bar{\epsilon}$ դիէլեկտրիկական բաղաձեռնակողման միջին արժեքը: Գիտարկված մոխարագիծարումները հաշվի առնելու դեպքում առաքվել են $\bar{\epsilon}$ -ի հաշվարկի նոր բանաձևեր:

Рассматриваются дисперсные системы, сферические и цилиндрические включения, покрытые пленкой. На основе теоремы векторного поля рассчитываются энергии реальной системы и ее модели. Из равенства этих энергий вычисляется усредненное значение диэлектрической проницаемости $\bar{\epsilon}$ смеси. При учете дипольного взаимодействия получены новые формулы для расчета $\bar{\epsilon}$.

Библиогр.: 6 назв.

Dispersion systems, spherical and cylindrical inclusions covered with films are considered in this paper. On the basis of the vector field theorem the real system energies and its model are designed. From equality of this energies the average value of $\bar{\epsilon}$ mixture permittivity is calculated. New formulas for $\bar{\epsilon}$ design are obtained by dipole interaction

Ref. 6.

Структура неоднородных систем весьма сложна, а расчет электрического поля и вычисление усредненных (интегральных) параметров таких систем, за редким исключением, производят приближенными методами. Если теория расчета поля в двухкомпонентных средах и вычисление средних параметров смеси достигли достаточного уровня [1-3], то задача для неоднородных сред с

неоднородными включениями пока не получила своего удовлетворительного решения. Такими средами являются суспензии, в которых инородные частицы покрыты пленкой. Расчет поля в таких средах и вычисление их усредненных параметров представляют значительный интерес при изучении свойств биологических клеток.

В статье предлагается метод расчета усредненного параметра неоднородной среды с неоднородными включениями. С использованием теоремы векторного поля и нового определения интегрального параметра смесей [4...6] дается расчет указанных параметров суспензий, который в первом приближении совпадает с теорией Паули и Швана [3].

Предположим, имеем сферическую частицу радиусом r_1 и диэлектрической проницаемостью (ДП) ϵ_1 , покрытую пленкой толщиной $h = r_2 - r_1$ с ДП ϵ_2 . Диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды равна ϵ_0 , а приложенное внешнее поле с напряженностью \vec{E}_0 однородное. Пусть неоднородные включения расположены в узлах пространственной кубической решетки. Вначале предположим, что объемная концентрация сферических неоднородных частиц мала и пренебрегается взаимодействием частиц. Выделим из дисперсионной системы физически бесконечно малый объем V_0 радиусом R_0 , в котором помещены n неоднородных частиц. Производя в объеме V_0 торнцово усреднение, получим эквивалентную систему, в которой внутри объема V_0 имеем уже n однородных сферических частиц радиусом r_2 с ДП ϵ_{12} . Назовем эту систему промежуточной. Теперь реальную среду и промежуточную модель (в объеме V_0 имеются сферические однородные включения) поочередно поместим в дисперсионную среду с ДП ϵ_2 . В соответствии с [4, 5] энергия покрытых пленкой диэлектрических n частиц, помещенных в поле \vec{E}_0 , будет равна

$$W_1 + W_2 = \frac{1}{2}(\epsilon_2 - \epsilon_1)nV_0\vec{E}_0\vec{E}_1, \quad (1)$$

а для модели -

$$W_{12} = \frac{1}{2}(\epsilon_2 - \epsilon_{12})nV_{12}\vec{E}_0\vec{E}_{12}, \quad (2)$$

где \vec{E}_1 , \vec{E}_{12} - соответственно напряженность внутри внутренней и однородной сферической частиц с ДП ϵ_1 и ϵ_{12} ; V_{11} , V_{12} - объемы этих частиц.

Так как взаимодействием частиц пренебрегаем, то они находятся под воздействием внешнего однородного поля \vec{E}_0 . В соответствии с [4, 5] имеем

$$\vec{E}_1 = 3\epsilon_2\vec{E}_0 / (\epsilon_1 + 2\epsilon_2), \quad \vec{E}_{12} = 3\epsilon_2\vec{E}_0 / (\epsilon_{12} + 2\epsilon_2) \quad (3)$$

Используя предложенное в [4, 5] определение интегральных параметров смесей и совместно решая (1) - (3), получаем

$$(\epsilon_2 - \epsilon_{12}) / (2\epsilon_2 + \epsilon_{12}) = f_1(\epsilon_2 - \epsilon_1) / (2\epsilon_2 + \epsilon_1), \quad (4)$$

где $f_1 = (r_1 / (r_1 + h))^3$.

Из промежуточной модели выделим сферическую область радиусом R_0 , которая включает в себя n однородных частиц радиусом $r_1 = r_{12}$ с ДП ϵ_{12} . Производя аналогичное усреднение в физически малом объеме V_0 , получим модель, эквивалентную реальной дисперсионной среде, в которой объем V_0 представляет собой однородную среду с неизвестной ДП ϵ . Эти промежуточную и окончательную модели поочередно внесем в дисперсионную среду, диэлектрическая проницаемость которой равна ϵ_1 . Энергия промежуточной модели W_{12} в поле \vec{E}_0 будет равна

$$W_{12} = \frac{1}{2}(\epsilon_1 - \epsilon_{12})nV_{12}\vec{E}_0\vec{E}_{12}, \quad (5)$$

а энергии W последней модели —

$$W = \frac{1}{2}(\epsilon_1 - \epsilon)V_0\vec{E}_0\vec{E}, \quad (6)$$

где

$$\vec{E}_{12} = 3\epsilon_1\vec{E}_0 / (\epsilon_{12} + 2\epsilon_1), \quad \vec{E} = 3\epsilon\vec{E}_0 / (\epsilon + 2\epsilon_1). \quad (7)$$

Приравняв (5) и (6), с учетом (7) получаем

$$(\epsilon_1 - \epsilon) / (2\epsilon_1 + \epsilon) = \Gamma_{12}(\epsilon_1 - \epsilon_{12}) / (2\epsilon_1 + \epsilon_{12}), \quad (8)$$

где $\Gamma_{12} = nV_{12} / V_0$, а ϵ_{12} определяется из (4). Подставляя ϵ_{12} в (8), получаем формулу расчета усредненного значения ϵ реальной дисперсионной системы, совпадающую с [3].

Рассмотрим ту же задачу, но при достаточно больших концентрациях включений, когда учет взаимодействия частиц необходим. В этом случае включения поляризуются полем Лоренца, и определяемые по (3) и (7) напряженности \vec{E}_1 и \vec{E}_{12} имеют значения [4,5]:

$$\vec{E}_1 = \frac{3\epsilon_1\vec{E}_0}{2\epsilon_1 + \epsilon_1 - \Gamma_1(\epsilon_1 - \epsilon_2)}, \quad \vec{E}_{12} = \frac{3\epsilon_1\vec{E}_0}{2\epsilon_2 + \epsilon_1 - \Gamma_{12}(\epsilon_{12} - \epsilon_2)} \quad (9)$$

где $\Gamma_{12} = nV_{12} / V_0$.

Приравняв энергии (1) и (2) с учетом (9), вместо (4) получаем

$$\epsilon_{12} = \epsilon_2 \frac{\epsilon_1 + 2\epsilon_2 + \Gamma_1(\epsilon_1 - \epsilon_2) + \Gamma_{11}\Gamma_{12}(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2 - 2\Gamma_1(\epsilon_1 - \epsilon_2) + \Gamma_{11}\Gamma_{12}(\epsilon_1 - \epsilon_2)}. \quad (10)$$

Теперь, при расчете энергии (5) промежуточной модели, помещенной в дисперсионную среду с ДП ϵ_1 , значение напряженности \vec{E}_{12} определяется по (9) заменой ϵ_2 на ϵ_1 . Совместно решая (5), (6) и (9), для ϵ_1 суспензии получаем

$$\epsilon = \epsilon_1 \frac{\epsilon_{12} + 2\epsilon_1 + \Gamma_{12}(\epsilon_{12} - \epsilon_1)}{\epsilon_{12} + 2\epsilon_1 - 2\Gamma_{12}(\epsilon_{12} - \epsilon_1)} \quad (11)$$

при этом ϵ_{12} определяется по (10). Подставив ϵ_{12} в (11), получим новую формулу, точность которой выше точности формулы Паули и Швана так как она выведена с учетом дипольных взаимодействий. Это подтверждается также результатами, полученными при рассмотрении аналогичных задач, но с включениями без покрытий [6].

Если включения - соосные цилиндры, расположенные регулярно, оси которых перпендикулярны направлению внешнего поля \vec{E}_0 , то без учета дипольного взаимодействия напряженности внутри цилиндрических включений вместо (3) имеют вид

$$\vec{E}_1 = 2\epsilon_2 \vec{E}_0 / (\epsilon_1 + \epsilon_2), \quad \vec{E}_{12} = 2\epsilon_1 \vec{E}_0 / (\epsilon_{12} + \epsilon_1). \quad (12)$$

При вычислении \vec{E}_1 и \vec{E}_{12} было принято, что напряженность \vec{E}_0 направлена по оси x . Производя аналогичные расчеты для неоднородных сферических частиц, получим

$$(\epsilon_2 - \epsilon_1) / (\epsilon_1 + \epsilon_2) = f_1 (\epsilon_2 - \epsilon_1) / (\epsilon_2 + \epsilon_1), \quad (13)$$

где f_1 - отношение объема внутреннего цилиндра к объему неоднородного цилиндра. Из вычисления для промежуточной и конечной моделей имеем

$$(\epsilon_1 - \epsilon) / (\epsilon_1 + \epsilon) = f_{12} (\epsilon_1 - \epsilon_2) / (\epsilon_1 + \epsilon_{12}), \quad (14)$$

где ϵ_{12} определяется по (13), а $f_{12} = nV_2 / V_0$. При выводе (13) и (14) физически бесконечно малый объем V_0 , в котором производится усреднение, имеет форму цилиндра. При дипольном взаимодействии [2] имеем

$$\vec{E}_1 = 2\epsilon_0 \vec{E}_0 / (\epsilon_1 + \epsilon_2 - f_{11} (\epsilon_1 - \epsilon_2)), \quad (15)$$

$$\vec{E}_{12} = 2\epsilon_1 \vec{E}_0 / (\epsilon_{12} + \epsilon_1 - f_{12} (\epsilon_1 - \epsilon_2)).$$

Производя аналогичные вычисления для неоднородных сферических включений, вместо (10) и (11) получим

$$\epsilon_{12} = \epsilon_2 \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + f_{11} (\epsilon_1 - \epsilon_2) + f_{11} f_{12} (\epsilon_1 - \epsilon_2)}{\epsilon_1 + \epsilon_2 - 2f_{11} (\epsilon_1 - \epsilon_2) + f_{11} f_{12} (\epsilon_1 - \epsilon_2)}, \quad (16)$$

$$\epsilon = \epsilon_1 \frac{\epsilon_{12} + \epsilon_1 + f_{12} (\epsilon_{12} - \epsilon_1)}{\epsilon_{12} + \epsilon_1 - 2f_{12} (\epsilon_{12} - \epsilon_1)}. \quad (17)$$

Таким образом, получены новые зависимости для расчета интегральных параметров неоднородных систем с неоднородными сферическими и цилиндрическими включениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нетушиц А.В. Модели электрических полей в гетерогенных средах иерархических структур // Электричество, 1975, № 10, - С. 1-8.
2. Душин С.С., Шилов В.Н. Диэлектрические явления в двойной слои и дисперсных системах и полиэлектролитах. - Киев: Наукова Думка, 1972. - 205 с.
3. Ханан Т. Электрические свойства эмульсии. Эмульсии: Кн. / Пер. с англ. - М., 1972. - С. 313-415.
4. Арамян М.А., Каранетян М.А. К расчету диэлектрической проницаемости дисперсной системы // Коллоид. журн. АН СССР, - 1989, - Т. 51, № 5, - С. 963-968.
5. Арамян М.А. Расчет поля в кубической пространственной системе сферических частиц, помещенных во внешнее однородное поле // Теоретическая электротехника / Львовский Гос. ун-т. - 1990, - № 12, - С. 107-118.
6. Арамян М.А. Уточнение в теории расчета диэлектрической проницаемости Мицхелла-Вагнера // Коллоид. журн. РАН - 1992, - Т. 54, № 5, - С. 24-33.

Р.Е. САРКИСЯН

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОЦЕНИВАНИЯ. Сообщение I. УСЛОВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННЫХ СХЕМ

Մշակված են ինտերակտիվ սխեմաների պարամետրերի արժեքները դիտարկման
դրույթներով խոսքի ստորաբով և մեթոդաբանական ծրագիր:

Разработаны интерактивные алгоритм и машинная программа для решения
классической задачи условного оценивания параметров регрессионных схем.
Биолитогр. 5 назв.

An interactive algorithm and machine programming for solving classical problems of
conventional evaluation of regression circuit parameters have been developed.
Ref. 5

1. *Введение.* Задачи идентификации и оценивания нашли широкое применение в теории и практике управления, системном анализе, экономике, медицине, военном планировании. Они являются также важным звеном всего жизненного цикла проектирования, создания, эксплуатации и совершенствования систем.

В практических приложениях выбор той или иной схемы идентификации и оценивания существенно зависит от вида и объема имеющейся априорной информации о структурных и функциональных особенностях исследуемых и проектируемых систем, их свойствах и связях, а также о тех физических законах, которые определяют внутренние причинно-следственные связи, существование и функционирование систем как единое целое во взаимодействии с окружающей средой.

Определенная связь существует также между априорной информацией и выбором конкретных вычислительных процедур для обработки результатов наблюдения и построения устойчивых оценок и выводов [1].

В настоящем сообщении рассматривается одна из классических задач нахождения оценок по методу наименьших квадратов применительно к регрессионным схемам, когда на оцениваемые параметры наложены определенные функциональные ограничения. В качестве эффективной вычислительной процедуры предложена интерактивная поисковая процедура адаптивного типа, разработанная в рамках методов производных по направлению [2].

2. *Постановка задачи и процедуры регуляризации.* Пусть по результатам наблюдений необходимо построить оценки параметров статистической модели

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_n x_{in} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, N.$

в которой x_{ij} , $i=1, \dots, N$; $j=1, \dots, n$ - фиксированные значения независимых переменных; y_i , $i=1, \dots, N$ - наблюдаемые значения зависимой переменной (отклика); β_j , $j=0, 1, \dots, n$ - оцениваемые независимые параметры, значения которых удовлетворяют совместной системе $A\beta = c$, где A - матрица размерности $m \times (n+1)$, c - заданный $(m \times 1)$ вектор, ε_i , $i=1, \dots, N$ - некоррелированные друг с другом случайные величины с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 .

В терминах стандартной задачи математического программирования нахождение условных МНК-оценок неизвестных параметров имеет вид

$$E(\beta) = \varepsilon^T \varepsilon \rightarrow \min_{\beta \in E^*} \text{при } A\beta = c, \quad (2)$$

где $\varepsilon = y - X\beta$, $y = (y_1, \dots, y_N)^T$, $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n)^T$, $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_N)^T$.

$X = [x_{ij}]$, $i=1, \dots, N$, $j=0, 1, \dots, n$, $x_{i0} = 1, \forall i$.

Как известно [3, 4], с помощью метода Лагранжа можно получить условную оценку в виде $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} (\Lambda (X^T X)^{-1} \Lambda^T)^{-1} (c - Ab) + b$, где $h = (X^T X)^{-1} X^T y$ - безусловная МНК-оценка вектора β . Если матрица $X^T X$ плохо обусловлена, то полная дисперсия оценок $\sum \text{var}(\hat{\beta}_j) = \sigma^2 \text{Tr}(X^T X)^{-1}$ оказывается слишком большой величиной. Обусловленная ею величина $\sum \text{var}(\hat{\beta}_j)$ также будет большой, поэтому условная оценка $\hat{\beta}$ непригодна для практических целей.

Традиционно для уменьшения дисперсии оценок параметров применяются различные процедуры регуляризации, например, типа $(X^T X + kI)^{-1}$, где k - корректирующий параметр, I - единичная матрица, которые приводят к так называемым гребневым оценкам [3]. Последние хотя и не являются несмещенными, однако более устойчивы, чем некорректированные.

Избежать нежелательных эффектов, обусловленных обращением плохо обусловленных матриц, можно и без корректирующих процедур, а путем аппроксимации исходной задачи условного оценивания соответствующей многокритериальной задачей и применения интерактивных поисковых процедур, использующих лишь информацию о градиентах целевых функций и их маргинальных отношениях.

3. Эквивалентная многокритериальная задача. С формально-математической точки зрения условие $A\beta = c$ эквивалентно решению задачи

$$(c - A\beta)^T (c - A\beta) \rightarrow \min_{\beta \in E^*}, \quad (3)$$

поэтому задачу условной оптимизации (1) можно аппроксимировать двухкритериальной задачей математического программирования

$$f(\beta) = (f_1(\beta), f_2(\beta))^T \rightarrow \min_{\beta \in E^*}, \quad (4)$$

где $f_1(\beta) = \varepsilon^T \varepsilon$, $f_2(\beta) = (c - A\beta)^T (c - A\beta)$. Применим к решению задачи общую стратегию адаптивных интерактивных поисковых процедур, основанных на методах производных по направлению [2].

Пусть β^{k1} и β^{k2} - соответствующие решения локальных оптимизационных задач, так что $\beta^{k1} = b = (X^T X)^{-1} X^T y$ и $A\beta^{k2} = c$. Через β^k , $k = 0, 1, \dots$, обозначим некоторое текущее решение и предположим, что один из критериев, например $f_2(\beta)$, выбран в качестве опорного (наиболее важного) критерия в этом состоянии. Его отметим индексом $j_k = 2$, так что $f_{j_k} = f_2$. В состоянии $\beta^k \in E$ градиенты критериальных функций имеют вид

$$S^1 = \nabla f_1(\beta^k) = -2X^T y + 2X^T X \beta^k,$$

$$S^2 = \nabla f_2(\beta^k) = 2A^T c + 2A^T A \beta^k.$$

Если по мнению лица, принимающего решения, приращения Δf_2 , Δf_{j_1} и Δf_{j_2} , $\Delta f_{j_1} < \Delta f_{j_2}$, таковы, что имеет место соотношение $(f_1^k + \Delta f_{j_1}, f_2^k) < (f_1^k, f_2^k + \Delta f_{j_2}) < (f_1^k + \Delta f_{j_2}, f_2^k)$, то маргинальное отношение замещения между критериями f_1 и f_2 определяются в виде $\mu_{12} = S^1 e / S^2 e$ и принадлежит интервалу $[A_1, B_1]$, где $A_1 = \Delta f_{j_2} / \Delta f_{j_1}$, $B_1 = \Delta f_{j_1} / \Delta f_{j_2}$, e - направление наискорейшего возрастания функции полезности (точнее, ее условный градиент). Очевидно, что конус предпочтительных направлений $P_0 = \{e \in E^{n+1} / S^1 e / S^2 e \in [A_1, B_1]\}$ является непустым подмножеством множества направлений спуска обеих критериальных функций $F_0 = \{d \in E^{n+1} / S^1 d, S^2 d \leq 0\}$. К тому же в точке β^k любое направление возможно, т.е. конус аппроксимации G_0 [5] совпадает со всем пространством E^{n+1} . Следовательно, $F_0 \cap G_0 \cap P_0 = P_0$.

Исходя из этих соображений, наилучшее направление поиска находится путем решения задачи

$$\Phi(d) = \{- (S^1 d)^2 / S^2 d - S^2 d\} \rightarrow \max_{d \in E^{n+1}, \|d\|=1} \quad (5)$$

Обозначим ее решение через $e^k = d^k$, а соответствующую величину шага по e^k , как решение задачи $\arg \min f_2(\beta^k + \sigma e^k)$, $\sigma \geq 0$, через σ_k . Легко установить, что $\sigma_k = (c^T A e^k - e^{kT} A^T A \beta^k) / \|A e^k\|^2$. При этом новое решение будет равно $\beta^{k+1} = \beta^k + \sigma_k \cdot e^k$. Оно, очевидно, удовлетворяет условию $A\beta = c$.

Таким образом, за одну итерацию из произвольной точки β^k попадаем в точку минимума критериальной функции $f_2(\beta)$, что является одним из решений задачи $A\beta = c$.

Во второй итерации в качестве опорного (ведущего) критерия естественно выбрать $f_1(\beta)$, т.е. $j_k = 1$, а в качестве направления движения - направление e^k , все точки $\beta(\sigma) = \beta^k - \sigma e^k$ которого

удовлетворяют условию $A\beta = c$, т.е. имеет место равенство $A(\beta^k + \sigma e^k) = c$. Так как $A\beta = c$, получаем, что $Ae^k = 0$. В терминах целевой функции $f_1(\beta)$ последнее условие эквивалентно условию $S^{-1}e^k = 0$, следовательно, $\mu_{21} = S^{21}e^k / S^{-1}e^k = 0$, $P_{11} = \{e \in E^{n+1} / S^{21}e / S^{-1}e = 0\}$, $E_0 = \{d \in E^{n+1} / S^{11}d \leq 0, S^{21}d = 0\}$, и вектор e^k совпадает с решением задачи

$$\Phi(d) = \{-S^{11}d\} \rightarrow \max_{d \in E_0, \|d\|=1} \quad (6)$$

Ввиду очевидных свойств задачи (6) она имеет единственное решение.

Оптимальная величина шага данной итерации равна $\sigma_k = \arg \min f_1(\beta^k + \sigma e^k) = (X^T Y e^k - e^{T1} X^T X \beta^k) / \|X e^k\|$, а новое решение принимает вид $\beta^{k+1} = \beta^k + \sigma_k e^k$. Простой проверкой можно убедиться в том, что в точке β^{k+1} имеет место условие $S^{-1}e^k = 0$, т.е. она является точкой условного минимума функции $f_1(\beta)$.

Таким образом, применение итеративной процедуры порождает целенаправленный вычислительный процесс, в результате которого исходная условная задача оценивания решается за две итерации.

Соответствующий вычислительный алгоритм имеет вид:

Шаг 1. Сформулировать задачу (4) и найти ее локальные решения β^1 и β^2 . Если $A\beta^1 = c$, остановиться. В противном случае перейти к шагу 2.

Шаг 2. Положить $k=1$, выбрать $f_1(\beta)$ в качестве опорного критерия и подходящее начальное приближение $\beta^k \in E^{n+1}$. Если $A\beta^k = c$, перейти к шагу 5. В противном случае - к шагу 3.

Шаг 3. Сформировать интервал $[A_1, B_1]$ и решить задачу (5). Пусть e^1 - ее решение, а $\sigma_1 = \arg \min f_1(\beta^k + \sigma e^k)$ при $\sigma \geq 0$.

Шаг 4. Вычислить новое решение $\beta^{k+1} = \beta^k + \sigma_1 e^k$ и положить $k = k + 1$.

Шаг 5. Выбрать f_1 в качестве опорного критерия, сформировать множество E_{11} и решить задачу (6). Пусть e^1 - ее решение, а $\sigma^1 = \arg \min f_1(\beta^k + \sigma e^k)$ при $\sigma \geq 0$.

Шаг 6. Вычислить $\beta^{k+1} = \beta^k + \sigma_1 e^k$ и остановиться. Вектор $\beta = \beta^{k+1}$ представляет собой условную МНК-оценку параметров модели (1), при котором $f_1 = f_1(\beta) = \min f_1(\beta)$ при $\beta \in E^{n+1}$, $A\beta = c$.

4. Модельный пример и обсуждение результатов. Рассмотрим задачу оценивания параметров статистической модели $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$, $i = 1, \dots, N$, при условии связи $\beta_0 + \beta_1 = 1$. Решим эту задачу при следующих исходных данных [3]:

$$y^T y = 2286.31; X^T y = (\sum y_i, \sum x_i y_i)^T = (235.60, 11821, 4320)^T;$$

$$X^T X = \begin{bmatrix} N & \sum x_{1i} \\ \sum x_{1i} & \sum x_{1i}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 & 1315 \\ 1315 & 76323.42 \end{bmatrix}.$$

Ее безусловное решение равно $b = \beta^0 = (13.62, -0.08)^T$. Пусть $\beta^1 = \beta^k = (0, 0)^T$. Так как в рассмотренном случае $A = [-1, 1]$ и $c = 1$, то для градиентов S^1 и S^2 получаем выражение $S^1 = \nabla f_1(\beta^k) = 2(235.6, 1183.432)^T$; $S^2 = \nabla f_2(\beta^k) = (2, -2)^T$. Для произвольных $0 \leq \lambda_1 < \lambda_2 < \infty$ решение первой итерации равно $e^k = (1/\sqrt{5}, 2/\sqrt{5})^T$, $\sigma_k = \sqrt{5}$, $\beta^k = (1, 2)^T$.

В новом состоянии $S^1 = (4838.4, 284281)^T$, $S^2 = (0, 0)^T$. Выбирая для второй итерации в качестве опорного критерий $f_1(\beta)$ и решая соответствующую подзадачу, получаем $e^1 = (-\sqrt{2}/2, -\sqrt{2}/2)^T$, $\sigma_k = \arg \min f_1(\beta_k + \sigma e^1) = 2.59$, $\beta^{k+1} = (-0.83, 0.17)^T$. Так как $A\beta^{k+1} = c$, а $S^{1T} d = \nabla f_1(\beta^{k+1})^T d \geq 0$ для всех направлений, для которых $Ad = 0$, то найденная точка β^{k+1} является точкой условного минимума функции $f_1(\beta) = \varepsilon^1 \varepsilon$ при условии $A\beta = c$. При этом $f_1(\beta^1) = 509.996$, тогда как $f_1(b) = f_1^* = 20.4291$.

Приведенная вычислительная процедура имеет простую геометрическую интерпретацию: в результате первой итерации из произвольной начальной точки β^0 мы попадаем на поверхность, описываемую условием $A\beta = c$. Движение вдоль нее во второй итерации приводит к искомой точке $\beta^1 = \arg \min f_1(\beta)$ при $\beta \in E^{n+1}$ и $A\beta = c$.

Заключение. Задачи оценивания, в которых априорная информация задана в виде функциональных ограничений, можно интерпретировать в терминах многокритериальных задач математического программирования с последующим применением для их решения интерактивных поисковых процедур адаптивного типа. В качестве дополнительной информации при этом выступает интервальное оценивание маргинальных соотношений между критериями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные методы систем / Под ред. Э.П. Эйхоффа. - М.: Мир, 1983. - 400 с.
2. Саркисян Р.Е. Адаптивные человеко-машинные процедуры для диалоговых систем. Сообщение 2. Методы производных по направлению // Ин. АН Арм. ССР. Сер. ТН. - Т. 44, № 5-6, - 1991. - С. 282-287.
3. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ. - М.: Мир, 1980. - 456 с.
4. Райс С.Р. Линейные статистические методы и их применение. - М.: Наука, 1968. - 347 с.
5. Вазари М., Шетти К. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. - М.: Мир, 1982. - 583 с.

К. А. АМБАРИУМЯН

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ И ОСВОЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ

Քննարկված է սուր տեխնիկայի ստեղծման և յուրացման գործընթացի հաստատություն և արդյունավետության գնահատման սկզբունքներն նոր մոտեցում: Այս գործընթացի յուրացումը փոյ գլխարկվում է որպես էրգոտեխնիկական համակարգ և ներկայացվում է կողմնորոշված գրաֆի տեսքով, որը նկարագրում է համակարգի գործունեությունն ըստ ժամանակի: Տրիտմ են գրաֆի պարամետրերը, կառարվում է նախկինակ կառուցվածքների գործունեության ձևախաչում յուրացումը փոյի համար առանկի և բերվում են մաթեմատիկական առնչություններ, որոնք թույլ են տալիս որոշելու սուր տեխնիկայի ստեղծման և ներդրման, գործընթացի հաստատություն և արդյունավետության բնականական բնարագրերը:

Рассмотрен принципиально новый подход к оценке надежности и эффективности процесса создания и освоения новой техники. Каждый из этапов этого процесса рассматривается как эрготехническая система и представляется в виде ориентированного графа, описывающего деятельность системы во времени. Даются параметры графа и производится формализация функциональных структур деятельности каждого этапа в отдельности. Приводятся математические зависимости, позволяющие определить количественные характеристики надежности и эффективности процесса создания и освоения новой техники.

Մ. 3. Գնորդը... 1 նախ

Basically a new method for evaluation of reliability and effectiveness of process for developing and mastering new technology has been viewed. Every stage of this process is considered as an ergotechnological system and presented in the form of oriented graph describing system activity in time. Graph parameters are given and formalization of function structures for each stage activity separately is carried out. Mathematical dependences permitting to define quantitative characteristics on reliability and efficiency of the process for developing and mastering new technology are conducted.

Մ. 3. Ref 1

В последние годы в теории управления проводятся интенсивный процесс формирования новых принципов и подходов к решению проблемы оценки параметров и оптимизации процессов создания новой техники (СОИТ). Одним из эффективных является подход, при котором процесс СОИТ рассматривается с позиций эрготехнических систем. На основе методов функционально-структурной теории [1] описывается и оценивается надежность и эффективность их функционирования. В качестве основных показателей надежности и эффективности как для всего процесса СОИТ, так и для его этапов принимаем: время, затраченное на разработку и освоение производства новой техники (длительность процесса "исследование-производство"), вероятность безошибочного выполнения процесса (надежность), расходы (суммарные затраты) за время создания и освоения новой техники. Очевидно, показатели локальных этапов в совокупности позволяют определить надежность и эффективность функционирования процесса СОИТ.

Для оценки этих показателей произведем формализацию функциональных структур деятельности каждого этапа в отдельности. Сущность формализации заключается в том, что этап процесса СОНТ как эрготехническая система (ЭТС) представляется в виде ориентированного вероятностного графа, описывающего деятельность системы во времени. При этом вершины графа показывают состояние, в которое попадает система при выполнении работы, а дуги задаются вероятностными, временными и стоимостными показателями, характеризующими работу. Здесь под "работой" имеется в виду процесс деятельности эрготехнического элемента, переводящего ЭТС из начального в промежуточное или конечное состояние.

Для конечного состояния локальной ЭТС введем три типа исходов: безошибочное выполнение функции f , прерывание функции из-за обнаружения ошибок g , выполнение функции со скрытой ошибкой z . Граф вероятностей, описывающий процесс функционирования этапа научных исследований (ЭС-И), приведен на рис. 1. Его содержание следующее: 0 - начальный входной полюс; e_n - положительный выходной полюс, соответствующий окончанию научных исследований, без скрытых ошибок, на необходимом научно-техническом уровне; $\omega = \{ \gamma_n, z_n \}$ - множество отрицательных выходных полюсов, один из которых (γ_n) соответствует окончанию работ с низким научно-техническим уровнем, а другой (z_n) - со скрытым дефектом. Здесь и далее принята следующая индексация выходных полюсов $z_{i,j}^k$, где i - тип скрытого дефекта; j - этап процесса СОНТ, на котором возник этот дефект; k - этап процесса СОНТ, на котором этот дефект рассматривается.

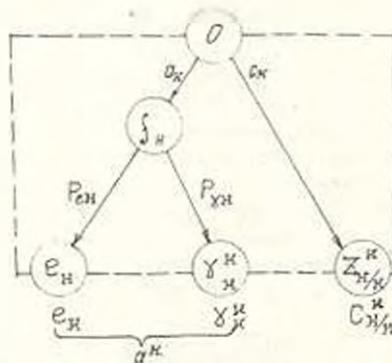


Рис. 1. Граф вероятностей этапа научных исследований

Задаваясь вероятностными, временными и стоимостными значениями соответствующих дуг графа, можно определить показатели, характеризующие деятельность этапа научных исследований. Искомые количественные характеристики переходов от вершины 0 к поглощающим вершинам вычисляются достаточно просто с использованием теорем о сложении и умножении вероятностей, вероятности дуг, ведущие к поглощению, перемножаются, а времена и доходы суммируются. Формулы для определения показателей качества функционирования этапа научных исследований имеют вид

$$e_n = a_n P_{en}, \quad P_{en} + P_{\gamma n} = 1; \quad e_n + \gamma_n = a_n.$$

$$\gamma_n = a_n P_{\gamma n}, \quad a_n + e_n = 1.$$

$$C_{n/n}^n = C_n, \quad T_{en} = T_{\gamma n} = T_{\gamma n} = T_n.$$

Граф вероятностей, описывающий процесс функционирования этапа разработки конструкции (ЭС-К), приведен на рис. 2. Его особенностью является то, что имеется два входных полюса. Первый соответствует безошибочным результатам НИР и позволяет в принципе обеспечить правильное функционирование, однако в этом случае, кроме положительного (e_n), могут быть и отрицательные исходы, связанные с появлением скрытых конструкторских $Z_{k/x}^x$ и технологических $Z_{l/y}^y$ ошибок на этапе конструкторской разработки, а также с несоответствием разработанной конструкции заданным требованиям γ_n . Второй полюс соответствует случаю, когда из-за ошибок на этапе НИР в принципе невозможно получить доброкачественную конструкцию, при этом ошибки НИР могут быть выявлены ($g_{n/n}^n$) или остаться незамеченными ($Z_{n/n}^n$). Выходной полюс $g_{n/n}^n$ соответствует передаче проекта на устранение дефектов в ЭС-И.

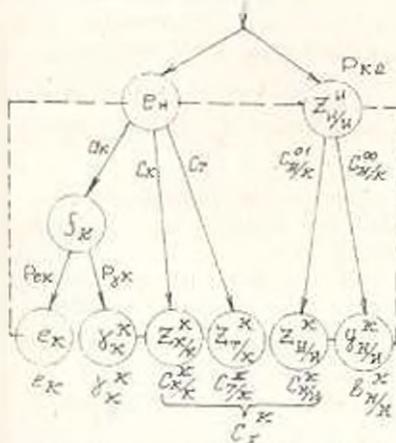


Рис. 2. Граф вероятностей этапа разработки конструкции

Формулы для определения показателей качества функционирования этапа разработки конструкции имеют вид.

$$e_n = a_n P_{en} P_{k1}, \quad \gamma_n = a_n P_{\gamma n} P_{k1}, \quad C_{k/x}^x = C_k P_{k1}, \quad C_{l/y}^y = C_l P_{k1}.$$

$$C_{n/n}^n = C_{nk}^{01} P_{k2}, \quad P_{k1} = e_n (e_n + C_{n/n}^n)^{-1}, \quad P_{k2} = C_{n/n}^{00} (e_n + C_{n/n}^n)^{-1}.$$

В приведенных графах внешними полюсами являются события, соответствующие окончанию или прерыванию функции. При положительном результате выполнения функции продукт труда передается на следующий этап процесса, а при вынужденном прерывании процесса выполнения функции он возвращается на предыдущие этапы или остается на данном этапе для устранения выявленных дефектов. Таким образом, появляется необходимость введения фазы доработки выявленных дефектов. При этом модель ΔI_k должна отражать как работы по корректировке дефектов, допущенных на этапе НИР, так и

вызванные этими дефектами дополнительные работы на этапе разработки конструкции новой техники.

Введем следующие обозначения:

$\alpha_{k/n}$ - вероятность того, что обнаруженные дефекты научной разработки приведут к необходимости выполнения конструкторской разработки заново в полном объеме; $\bar{\alpha}_{k/n}$ - вероятность того, что обнаруженные дефекты приведут к необходимости только частичной доработки конструкторской документации; т.е. потребуют времени $\Delta T_{n/k} < T_k$ и ресурсов $\Delta U_{k/n} < U_k$ (при этом $\alpha_{k/n} + \bar{\alpha}_{k/n} = 1$).

Тогда усредненное по возможным вариантам время выполнения ΔI равно

$$\begin{aligned} T\Delta I_k &= \alpha_{k/n}(\Delta T_{n/k} + \Delta T_k) + \bar{\alpha}_{k/n}(\Delta T_{n/k} + T_k) = \\ &= \Delta T_{n/k} + \alpha_{k/n}\Delta T_k + \bar{\alpha}_{k/n}T_k, \end{aligned}$$

где $\Delta T_{n/k}$ - время, затрачиваемое на устранение выявленного дефекта; $\Delta T_{n/k}$ или T_k - время на устранение его последствий.

При проведении этих работ могут также допускаться ошибки, ведущие к новым дефектам:

$\Delta I_k^{(1)}$ - вероятность безошибочного устранения выявленных дефектов; $\Delta I_k^{(2)}$ - вероятность неполного устранения выявленных ошибок или совершения новых в процессе устранения старых; $\Delta I_k^{(3)}$ - вероятность прерывания процесса корректировки дефектов из-за обнаруженных в этом процессе ошибок, при этом $\Delta I_k^{(1)} + \Delta I_k^{(2)} + \Delta I_k^{(3)} = 1$.

При разработке конструкции новой техники ошибки, допущенные на этапе выполнения научно-исследовательских работ, по значимости и количеству могут оказаться настолько большими, что сильно затрудняется реализация научной идеи. Так как каждая доработка связана с дополнительными расходами средств и времени, суммарное число доработок $n_{n/k}$ следует ограничить некоторой предельной величиной m . В случаях, когда это условие не выполняется, должен появиться новый отрицательный исход $\Delta \gamma_k^-$ - отказ от результатов научно-исследовательских работ из-за конструктивной непримлемости.

На основе вышесказанного граф вероятностей, описывающий процесс функционирования этапа разработки конструкции новой техники, с учетом доработки ошибок ΔI_k будет иметь вид, приведенный на рис. 3.

На этом графе заданы следующие веса дуг: вероятностные - в виде R_{ij} , временные - в виде U_{ij} , T_{ij} , а другие веса выражаются через исходные характеристики типовой функциональной единицы (ТФЕ) (a_i , c_i и др.). Например, вероятность перехода на графе рис. 3 из нулевой вершины в правую R_{01} определяется реализацией дуг 0-8, 8-9 и 9-1, т.е. $R_{01} = P_{k,1}a_k P_{k,1}$. Время перехода U_{01} определяется только дугой 8-9, так как дуги 0-8 и 9-1 имеют "нулевую длительность" (фиктивные работы или логические условия); $U_{01} = 0 + T_{8,9} + 0 = T_{8,9}$. Аналогично определяются характеристики всех других исходов. Например, исходные

характеристики перехода системы из нулевой вершины в вершину шести имеют вид

$$P_{06} = P_{02} C_{0/2}^{(0)}, P_{01} = \Delta I_1^{(0)} + \Delta I_1^{(0)} C_{0/1}^{(0)}, T_{06} = 0.5 T_k,$$

$$T_{01} = P_{06}^{-1} [0.5 \Delta I_1^{(0)} T_{01} + \Delta I_1^{(0)} C_{0/1}^{(0)} (\Delta T_{0/1} + 0.5 T_k)].$$

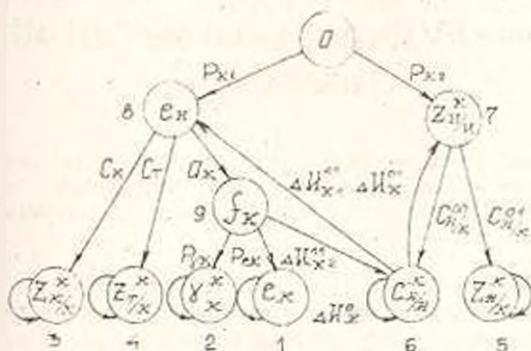


Рис. 3. Граф вероятностей этапа разработки конструкции с корректировкой ошибок

Резльтирующие характеристики вероятности и математического ожидания времени выполнения для этапа разработки конструкции имеют вид

$$\pi_{06} = P_{06} + P_{06} P_{01} (1 - P_{01}^{(0)}) / (1 - P_{01}^{(0)}),$$

$$M(T_{06}) = \pi_{06}^{-1} \left\{ P_{06} T_{06} + \left[P_{06} P_{01} \frac{1 - P_{01}^{(0)}}{1 - P_{01}^{(0)}} (T_{06} + T_{01}) + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \left(P_{06} \frac{1 - P_{01}^{(0)}}{1 - P_{01}^{(0)}} - m \frac{P_{01}^{(0)}}{1 - P_{01}^{(0)}} \right) T_{06} \right] \right\}.$$

На основании изложенных принципов можно определить характеристики надежности и эффективности для всех этапов и в целом процесса создания и освоения новой техники.

ЛИТЕРАТУРА

1 Амбарцумян К.А. Управление процессом создания новой техники в научно-производственном объединении. - Ереван: Айтастан, 1987 - 164 с.

В.Г. АВЕГИСЯН

К ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННЫ КОРОТКОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

ԳԻՏ ուսանողների փորձանոցից որոշող ավտոմատ չափող համալիրների իրագործված օրինակներով դիտարկված են ԳԻՏ ազատատեղիան մասին վերաբերող խնդիրները և առաջարկված է չափման սխեմա կարգավիճակի միջինորակից ներգրավում նման համալիրներին իրագործելու համար:

На примерах реализованных автоматических измерительных комплексов для определения параметров СВЧ антенн рассмотрены проблемы, касающиеся СВЧ аппаратуры части. Предложена схема измерения при реализации подобных комплексов в коротковолновой части миллиметрового диапазона.

Ил. 2. Библиогр.: 6 назв.

The problems concerning the microwave apparatus piece of the automatic measuring complexes for defining the microwave antenna parameters are considered in the realized examples. A measurement circuit for realizing similar complexes at the short millimeter wave band is suggested.

Ил. 2. Ref.: 6.

При измерении параметров антенны наряду с традиционными методами по дальней зоне широко используются и методы ближней зоны. Для реализации автоматических измерительных комплексов (АИК) в коротковолновой части миллиметрового диапазона необходимо разрешение ряда проблем, которые можно разделить на три класса. Первый класс - проблемы, связанные с механикой и автоматикой. Второй класс - проблемы, связанные с передачей сигнала с зонда от подвижного тракта к неподвижному с возможно малым затуханием и малой нестабильностью по амплитуде и фазе. Третий класс - проблемы, связанные с измерительной аппаратурой, которая вместе с удобством в эксплуатации и сравнительно легкой реализацией обеспечивает малую погрешность измерения при невысоком уровне излучаемой мощности.

Суть последних рассмотрим на примере реализованных АИК СВЧ диапазона по схеме измерения, представленной на рис. 1 (на схеме не отображена система автоматического управления). В 3-сантиметровом диапазоне длин волны в полосе частот 20-25% достижимая чувствительность на входе АФМ АИК обычно составляет $10^{-7} \dots 10^{-8}$ Вт. Существенным фактором, ограничивающим чувствительность, является следующее. Используемые полупроводниковые модуляторы, которые несложны и надежны, обеспечивают недостаточную глубину модуляции с малым уровнем модулирующего сигнала в интервале частот до несколько сот килогерц. Выходные сигналы промежуточной частоты (ПЧ) балансных смесителей-преобразователей БС₁ и БС₂ СВЧ АФМ имеют ту же частоту. Однако известно, что уровень шумов генератора, генерируемых на частоте сигнала, отстоящего от опорного на величину

таких невысоких ПЧ, значительный. К этим шумам следует добавить паразитные сигналы на частоте полезного сигнала, проникающие в опорный тракт либо через конечных развязок опорного и сигнального трактов, а также паразитный сигнал, обусловленный отражением от модулятора M_1 обратно через вентиль к делителю мощности DM_1 и проникающий в опорный тракт из-за конечной развязки выходных плеч делителя мощности DM_1 . Заметим, что для подавления последнего требуется вентиль с весьма большим затуханием - $L_{\text{вент}} \geq 45 \text{ дБ}$.

Для повышения чувствительности и уменьшения погрешностей измерения предпринимаются меры по обеспечению большей степени подавления помех, проникающих в опорный тракт. С этой целью в [1] для достижения баланса преобразователей в широком интервале перестраиваемых частот измерения каждый раз до начала измерения осуществляется контроль режима баланса преобразователей. В режиме контроля модулирующее напряжение частоты модуляции Ω от генератора опорного напряжения (ГОН) подается через включенный тумблер Т на введенный в опорный канал модулятор M_2 , который имитирует в нем стабильный по амплитуде и фазе паразитный сигнал той же частоты, что и полезный сигнал. При этом величина модулирующего напряжения такова, что паразитный имитируемый сигнал на порядок выше порогового сигнала АФМ, а attenuатором сигнального канала АТТ₂ в нем устанавливается уровень полезного сигнала ниже пороговой величины. Далее attenuатором АТТ₁ опорного канала устанавливается номинальная мощность опорного сигнала, которая контролируется в АФМ перед каждым измерением при перестройке частоты. После этого индикатором, подсоединяемым попеременно к выходам балансируемых каналов амплифицированных компонент, регулируется и фиксируется положение потенциометра балансного усилителя БУ, соответствующее минимальному (почти нулевому) показанию индикатора, что реализует условие баланса его смесителя-преобразователя. В режиме измерений тумблер Т выключен.

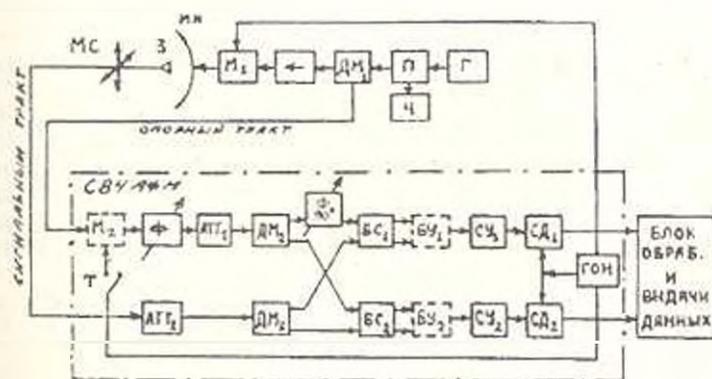


Рис. 1.

Г - генератор, П - механический переключатель, Ч - частотомер,
 ДМ - делитель мощности, М - модулятор, ИА - испытываемая антенна,
 МС - механический сканер, Ф - фазодриватель.

АТТ - attenuатор, БС - балансный смеситель, БУ - балансный
 усилитель, СУ - селективный усилитель, СД - синхронный детектор.

ГОН - генератор опорного напряжения, Т - тумблер.

АФМ - амплитудометр.

В устройстве применялись разработанные широкополосные двойные Т-мосты в качестве делителей мощности и мостов для балансных смесителей-преобразователей БС₁ и БС₂. Развязка между плечами Е и Н мостов составляла не менее 30 дБ, между боковыми плечами - не менее 24 дБ, а КСВН плеч - $\leq 1,25$. Преобразователи работали на подобранных в пары диодах ДБШ с постоянным смещением. Потери преобразования смесительных камер равны: $L_{пр} \leq 10$ дБ.

КСВН $\leq 1,35$, номинальный уровень опорного сигнала - 1 мВт, обратные потери вентиля в виде составного циркулятора - $L_{пр} \geq 45$ дБ. Частота модуляции составляла: $\Omega = 10$ кГц, а относительная нестабильность генератора Г по частоте не превышала значения 2×10^{-4} , по амплитуде - 0,5 дБ. Динамический диапазон амплитуд - 0...40 дБ, фазы - 0...360°, полоса частот - 25%. При многократных измерениях вдоль одной и той же вертикальной линейки в поле раскрытия антенны абсолютные разбросы результатов измерений составляли по амплитуде: $\Delta A \leq 2$ дБ, а по фазе - $\Delta \theta \leq 6^\circ$.

Схема устройства позволила реализовать чувствительность АИК величиной 10^{-17} Вт на входе СВЧ АФМ. Но в коротковолновом миллиметровом диапазоне длин волн следует ожидать снижения чувствительности на два-три порядка по следующим причинам: а) существенное возрастание шумов генератора; б) значительное затухание в узлах, выполненных на одномодовых волноводах, и меньшие обратные потери вентиля в полосе частот; в) отсутствие балансных пар смесительных диодов, их большой разброс параметров, а также повышенный собственный шум; г) низкая степень согласования смесительных камер, равномерности деления мощности между плечами аналогичных мостов, развязки плеч мостов в полосе частот. Последние две причины препятствуют достижению требуемой степени подавления помех опорного канала с помощью изложенного метода балансировки смесителей-преобразователей.

На рис. 2 приведена возможная схема АИК для измерения в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн, где не отображены система автоматического управления и блок обработки и выдачи данных. В качестве механического сканера и системы автоматического управления в случае планарных измерений, возможно, например, применение устройства, предложенного в [2]. Опорный и сигнальные тракты, являясь квазиоптическими, с целью экранировки выполнены на сверхразмерных металлических волноводах. В качестве подвижной части сигнального тракта можно применить подвижные сверхразмерные волноводные сочленения, осуществляющие непрерывную самокомпенсацию изменения длины тракта с помощью перемещающихся синхронно с зондом сверхразмерных квазиоптических ромбонных колен [3]. В схеме на сверхразмерных волноводах выполняются также: направленные ответвители КНО₁ и КНО₂, являющиеся ответвителями с полупрозрачными пластинами [4], интерферометры Маха-Цендера И₁ и И₂, модулятор М. Модулятор представляет собой Г-образное сочленение волноводов, в диагональной цели которого вращается зеркально-отражающий диск с прорезанными в нем окнами. Диск вращается синхронным двигателем, задающим частоту модуляции Ω и ту же частоту выходного напряжения ГОН. При

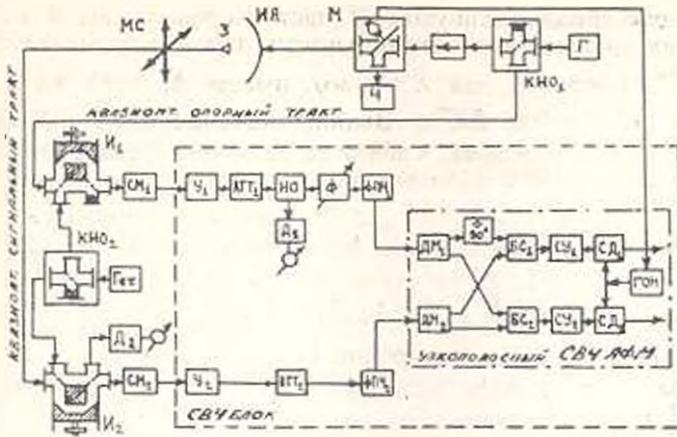


Рис. 2

Г - генератор, КНС - квазиоптический крестообразный направленный ответитель, М - механический квазиоптический модулятор, Ч - частотомер, ИА - испытываемая антенна, З - зона, МС - механический сканер, И - интерферометр Маха-Цендера, Гет - гетеродина, Д - детекторная секция, СМ - шонный смеситель, У - усилитель, СВЧ, АТТ - аттенюатор, НО - направленный ответитель СВЧ, Ф - фазовращатель, ФПЧ - фильтр промежуточной частоты, ДМ - делитель мощности, БС - балансный смеситель, СУ - селективный усилитель, СД - синхронный детектор, ГОИ - генератор опорного напряжения, АФМ - амплификатор.

вращения диск периодически прерывает падающий на него луч, то пропускает его прямо к испытываемой антенне ИА, то отражая перпендикулярно к частотомеру Ч. Применение такого модулятора наряду с выполнением основной функции и удобством, связанным с непрерывным контролем частоты основного генератора Г, значительно уменьшает величину паразитного сигнала, обусловленного отражением от модулятора М к ответителю КНО. Таким образом, снимается проблема венгрия с большим обратным затуханием.

Главной особенностью в аппаратурной части является то, что полезный сигнал из диапазона миллиметровых волн переводится в диапазон СВЧ посредством преобразователя на основе интерферометра И. Маха-Цендера, являющегося балансным и малозумящим [5, 6]. Далее полезный сигнал усиливается малозумящим СВЧ усилителем У, фильтруется фильтром ФПЧ, и проходит на дальнейшую обработку в СВЧ АФМ. Аналогичное прохождение и преобразование имеет место и для опорного сигнала, а также генерируемой основным генератором Г шумовой компонентой (на частоте полезного сигнала) и паразитных сигналов. Последние два сигнала далее подвергаются эффективному подавлению благодаря применению узкополосного СВЧ АФМ, т.к. в балансных СВЧ преобразователях реализация СВЧ мостов или направленных ответителей с высокими значениями электрических характеристик и подбор пар идентичных смесительных диодов в узкой относительной полосе частот (до 5%) являются вполне выполнимыми задачами. Возможность же применения узкополосного СВЧ АФМ объясняется тем, что достаточная полоса $\Delta F_{\text{пол}}$ фильтров ФПЧ, а следовательно, и СВЧ АФМ, может составлять величину, в несколько раз

превышающую абсолютный уход Δf частоты генератора Г и гетеродина Гет. При их достаточной стабильности для обеспечения измерений $\Delta f / f = 10^{-7}$, например, для $\lambda = 1$ мм, имеем $\Delta f = 30$ МГц, при этом принимаем $\Delta f_{\text{пч}} = 100$ МГц. Выбор значения СВЧ ПЧ обусловлен следующими ограничениями. Сверху ее величина ограничена шумовыми характеристиками СВЧ усилителей, а снизу - условием узкополосности СВЧ АФМ, т.е. $\Delta f_{\text{пч}} / f_{\text{пч}} \ll 1$, и разумными габаритами интерферометров Маха-Цейдера, в которых при их правильной работе разность хода лучей d по двум каналам самого интерферометра определяется известным соотношением $d = \Lambda_{\text{пч}}$, где $\Lambda_{\text{пч}}$ - длина волны СВЧ ПЧ. Значение ПЧ в интервале $1 \dots 5$ ГГц например, $f_{\text{пч}} = 2$ ГГц удовлетворяет всем трем условиям, при этом относительная полоса частот СВЧ АФМ составляет 5%.

Предполагая, что при реализации приведенной схемы можно обеспечить значение чувствительности $10^{-10} \dots 10^{-11}$ Вт на входе интерферометра I_2 , оценим необходимую мощность $P_{\text{вс}}$, подаваемую на модулятор М от выходного сигнального плеча ответвителя КНО. Для четкой регистрации и точных измерений потребуем, чтобы полезный сигнал $P_{\text{мин}}$ на входе интерферометра I_2 при нахождении зонда на краю зоны сканирования составлял бы величину $P_{\text{мин}} = 10^{-9}$ Вт. При площади раскрытия испытуемой антенны S_A , КПД антенны ν_A , уровне сигнала на краю зоны сканирования G , затухании в сигнальном тракте $L_{\text{тр}}$, площади раскрытия зонда S_z , КПД зонда ν_z имеем

$$P_{\text{мин}} = P_{\text{вс}} S_z \nu_z \nu_A \nu_3 G L_{\text{тр}} / S_A \quad \text{и} \quad P_{\text{вс}} = P_{\text{мин}} S_A / S_z \nu_A \nu_3 G L_{\text{тр}}$$

Если диаметр раскрытия антенны $r = D_A = 100\lambda$, $\nu_z \nu_A \approx 0.6$, $L_{\text{тр}} = 10^{-1}$, $G = 10^{-2}$ (-20 дБ по мощности), а зондом является одномодовый волновод $S_z = a \times b = 0.4\lambda^2$, т.к. для волноводов этого диапазона $a \approx 0.9\lambda$ и $b \approx 0.5a$, получим: $P_{\text{вс}} = 30$ мВт. Полученное значение мощности лежит в интервале мощностей маломощных генераторов, в качестве которых можно использовать низковольтные и малогабаритные генераторы на фосфид-индиевых (InP) диодах Ганна.

В заключение отметим перспективы предложенной схемы измерений. По всей возможно измерение параметров антенн как в активном, так и в пассивном режимах. Устройство, реализующее эту схему, может быть унифицировано: им можно проводить измерения во всем коротковолновом диапазоне миллиметровых волн при наличии соответствующих комплектов сменных генераторов, зондов с переходами, полупроводниковых пластин интерферометров и ответвителей, детекторных секций и диодных смесителей со своими переходами к сверхразмерному волноводу. При такой унификации разумно СВЧ блок выполнять в микрополосковом исполнении. Устройство пригодно также для измерения некоторого распределения поля, для чего в качестве источника опорного сигнала в измеряемом поле нужно разместить второй неподвижный зонд, а модулятор переставить в разрыв неподвижной и подвижной частей квазиоптического сигнального тракта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян В.Г., Симонян Р.И. и др. Амплифазометр 5-см диапазона длины волны для антенных измерений // Метрологическое обеспечение антенных измерений ВКАИ-3. Тез. докл. Всесоюз. конф. / ВНИИРИ. - Ереван, 1984 - С. 363-364
2. А.с. 1493959 СССР МКИ G01R 29/10 Устройство для измерения распределения поля в раскрытой антенне / В.Г. Аветисян (СССР) № 1308517/24-09; Заявл. 06.07.87; Опубл. 05.07.89. Бюл. № 26 - 5 с.
3. Пат. 2017164 РФ, МКИ G01R 29/08 Устройство для измерения распределения поля в раскрытой антенне / В.Г. Аветисян (РА). - № 4952810/09; Заявл. 30.04.91. Опубл. 30.07.94. Бюл. № 14. Приоритет 30.04.91. - 8 с.
4. Wed. Y., Hresson A., Papoula R., Wegrows Y.G. Nouvelles techniques d'utilisation des ondes millimetriques et submillimetriques // L'Onde Electrique, - janvier, 1964 - Т. 44, N 442 - p. 26-35.
5. Федосеев Л.И., Кутиков В.Ю. Супергетеродинамные радиометры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волны // Радиотехника и электроника - 1971 - Т. 16, № 4 - С. 554-560
6. Дрягин Ю.А., Кутков Л.М., Дубяко Л.В. К вопросу о подавлении шумов гетеродина в супергетеродинамных приемниках с высокой промежуточной частотой // Там же - 1974 - Т. 19, № 8 - С. 1770-1780

Ереванский НИИ "Комета"

10.IV. 1994

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, №2, 1995, с. 116-120.

УДК 532.542

ГИДРАВЛИКА

Э.Н. АЦЦИЯНИ

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВОЗДУШНЫХ КОЛПАКОВ-ГАСИТЕЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Անալիտիկական են օգտին խցան-նարկների նաշխարի փորձնական բաժաներ, որոնք օգտագործող գնահատում է արհեստագործական օդային խոց օգտագործելու արդյունավետությունը:

Рекомендуются аналитические зависимости для расчета воздушных колпаков-гасителей гидравлического удара. С помощью полученных зависимостей оценивается эффективность использования воздушных колпаков на насосных станциях.

Ил.2. Библиогр.: 6 назв.

Analytical dependencies for designing air cap-quenchers of hydraulic shock are recommended. By means of these dependencies obtained the effectiveness of using air caps on pump stations is evaluated.

Ил. 2. Ref. 6.

Одним из способов гашения гидравлического удара в напорных трубопроводах насосных станций является установка воздушного колпака в начале трубопровода. Задачей расчета является определение объема воздуха в колпаке, который обеспечивает требуемое гашение

гидравлического удара. Для определения параметров гидравлического удара при установке воздушного колпака рекомендуются различные диаграммы и формулы, имеющие определенные недостатки [1-3]. При аналитическом решении задачи, как правило, рассматривается гидравлический удар, начинающийся с повышения давления, а между тем, в нагнетательных трубопроводах насосных станций он начинается с понижения давления.

Целью настоящей работы является уточнение и упрощение аналитических методов расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций при установке воздушного колпака. Для практических расчетов рекомендуются зависимости, получаемые из допущения изотермического процесса сжатия воздуха в колпаке, что характерно для длинных напорных трубопроводов, где гашение гидравлического удара наиболее актуально.

Расчетная схема насосной установки (рис. 1) включает насосный агрегат 1, напорный трубопровод 2, воздушно-гидравлический колпак 3, обратный клапан 4 и резервуар 5. Вода с помощью насоса по трубопроводу 2 подается в резервуар 5, расположенный на высоте H_c от оси насоса.

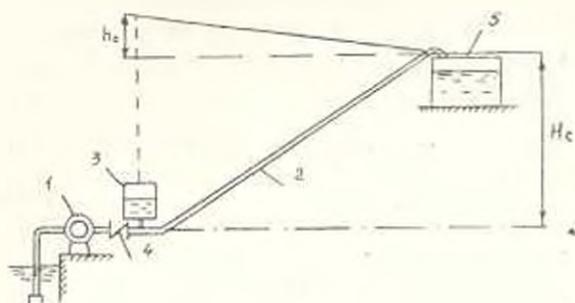


Рис. 1. Схема насосной установки

При остановке насоса давление в трубопроводе вначале уменьшается, обратный клапан закрывается, из воздушного колпака вытекает некоторый объем воды. Через некоторый промежуток времени возникает обратное течение жидкости в трубопроводе, и колпак начинает заполняться водой. При этом давление в трубопроводе увеличивается до определенного максимального значения. Используя методику, рекомендуемую в [4], предлагается формула, определяющая величину объема воздуха в колпаке, обеспечивающую заданное понижение напора относительно абсолютного статического уровня:

$$W = \frac{\pi(V_0^2 + g^2 \Delta H_{\max}^2 / c^2)}{2g(H_c + H_a + h_a) \left[\frac{\Delta H_{\max}}{H_{\min}} - \ln \frac{(H_c + H_a)}{H_{\min}} \right]}, \quad (1)$$

где π - площадь сечения трубопровода; l - длина напорного трубопровода; V_0 - скорость при установившемся движении воды в трубопроводе; ΔH_{\max} - максимальное понижение напора относительно абсолютного гидростатического уровня; g - ускорение силы тяжести; c - скорость распространения волны гидравлического удара; H_c - статический

напор установки; H_0 - напор воды, соответствующий атмосферному давлению; h_{10} - потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений при установившемся движении; $H_{\text{мин}}$ - минимальное значение напора в начале трубопровода.

Объем жидкости, вытекшей из колпака при понижении давления, определяется по формуле

$$\Delta W = \int S_1 \quad (2)$$

где S_1 - путь, пройденный колонной жидкости при уменьшении скорости от начального значения V_{10} до нуля. В первом приближении S_1 определяется из зависимости для изотермического расширения воздуха и колпака при заданном значении минимального напора:

$$S_1 = \frac{W_0}{f} \left[\frac{(H_0 + H_{10})}{H_{\text{мин}}} - 1 \right] \quad (3)$$

При учете влияния гидравлических сопротивлений величина S_1 определяется из уравнения вида

$$V_0^2 e^{-\rho S} + \frac{2gh_{10}}{\rho l} (1 - e^{-\rho S}) - \frac{2g(H_0 + H_{10} + h_{10})}{l\rho W_0} (e^{-\rho S} + \rho S - 1) = 0 \quad (4)$$

которое получено в результате интегрирования уравнения Бернулли для неустойчившегося движения, где в качестве независимой переменной принята величина S .

В уравнении (4):

$$h_{10} = (\xi_{\text{max}} + \xi_{\text{вх}} + \lambda l / d) \cdot V_0^2 / 2g; \quad \rho = (\xi_{\text{max}} + \xi_{\text{вх}} + \lambda l / d) / l,$$

где λ - коэффициент гидравлических сопротивлений по длине трубопровода; d - диаметр трубопровода, а ξ_{max} и $\xi_{\text{вх}}$ - коэффициенты местных гидравлических сопротивлений при выходе воды из колпака и ее входе в напорный трубопровод.

После остановки колонны жидкости вода начинает с возрастающей скоростью двигаться в обратном направлении. Как и ранее, параметры обратного течения колонны жидкости определяются путем интегрирования уравнения Бернулли вида

$$\frac{1}{2g} \frac{d(v^2)}{dS} + \sum \xi \frac{v^2}{2g} = (H_0 + H_a) - \frac{H_{\text{мин}}}{(1 - aS)} \quad (5)$$

где $a = 1 / (W_0 + \Delta W)$; S - путь, пройденный колонной жидкости в обратном направлении.

Для упрощения расчетов при интегрировании выражение $H_{\text{мин}} / (1 - aS)$ заменяем его приближенным значением $H_{\text{мин}} (1 + \beta S^2)$, где $\beta = \Gamma^2 / W_0 \Delta W$.

Зависимость для определения обратной скорости движения воды имеет вид

$$v = \sqrt{A\rho^2 - B(\rho^2 S^2 - 2Sp + 2) + (2B - A\rho^2)e^{-\rho S}} / \rho^2 \quad (6)$$

где $A = \frac{2g}{l} (H_0 + H_{10} - H_{\text{мин}})$; $\rho = \sum \xi / l$; $B = \frac{2g\beta H_{\text{мин}}}{l} \sum \xi$ - сумма коэффициентов гидравлических сопротивлений. Анализ формулы (6)

показывает, что при отсутствии гидравлических сопротивлений максимальное значение скорости обратного течения равно V_0 .

Расчет величины максимального повышения давления в трубопроводе целесообразно проводить, используя систему дифференциальных уравнений упругого гидравлического удара, рекомендуемую в [5]. В [6] приводится зависимость, определяющая изменение скорости течения жидкости в трубопроводе при сжатии воздуха в колпаке.

Используя эту зависимость и систему дифференциальных уравнений (5), с некоторым упрощением получена зависимость для определения изменения напора в трубопроводе, которая имеет вид

$$H(x, t) = \frac{ce^{-mt}}{g} \sum_{n=1}^{\infty} (-C_1 \sin \mu ct + C_2 \cos \mu ct) \sin \mu x + \frac{H_0 x}{l} \quad (7)$$

где C_1 и C_2 - коэффициенты, рассчитанные из начальных условий; μ - значение собственной функции, определяемое путем решения трансцендентного уравнения вида

$$\text{ctg} \mu l = \mu h \quad (8)$$

$$m = \lambda V_0 / 4d, \text{ где } V_0 \text{ определяется из (6); } h = c^2 W_0 / gf(H_c + H_0).$$

Для рассматриваемого случая коэффициент $C_2 = 0$, а коэффициент C_1 равен:

$$C_1 = 2V_0(1 + h_0 \mu^2) \sin \mu l / [h + l(1 + \mu^2 h^2)] \mu.$$

В начале трубопровода ($x = l$) изменение напора определяется формулой

$$H(t) = \frac{cV_0}{g} e^{-mt} \sum_{n=1}^{\infty} 2 \sin \mu ct / [h + l(1 + \mu^2 h^2)] \mu + H_0 \quad (9)$$

Гашение гидравлического удара с помощью воздушного колпака достигается за счет того, что продолжительность гашения скорости в трубопроводе до нуля, как правило, превышает фазу удара, т.е. имеет место явление непрямого гидравлического удара. Если исходить из дифференциальных уравнений "жесткого" гидравлического удара, то продолжительность повышения напора в колпаке от значения $(H_c + H_0)$ до максимального значения определяется по формуле [2]:

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{lW_0}{gf(H_c + H_0)}} \quad (10)$$

При учете упругих свойств трубопровода это время определяется из (9):

$$T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{l}{\mu c} \quad (11)$$

Разница между значениями T , вычисленными по (10) и (11), незначительная.

В формуле (9) множитель $k = \sum_{n=1}^{\infty} 2 \sin \mu ct / [h + l(1 + \mu^2 h^2)] \mu$ определяет степень гашения гидравлического удара при наличии воздушного колпака.

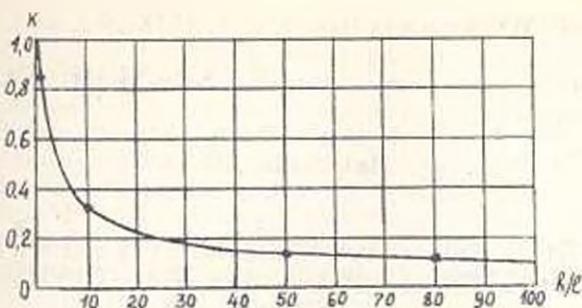


Рис. 2. Расчетная кривая зависимости степени гашения гидравлического удара k от отношения h/l .

Приняв значение $\text{снд}_{\text{ст}} = 1$ и задаваясь различными значениями отношения h/l , получена зависимость $k = F(h/l)$, которая представлена на рис. 2. Из графика видно, что эффективное гашение гидравлического удара достигается при значениях $h/l > 20$. Таким образом, если параметры трубопровода H, l, l_1 с таковы, что при значении отношения $h/l > 20$ обеспечивается рациональный объем воздушного колпака, то его использование в качестве гасителя будет эффективным.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Дикаревский В.С., Татура А.Е., Засулин В.А. Расчет емкости воздушно-гидравлических колпаков // Гидравлика сооружений оросительных систем: Сб. НИИИ. Новочеркасск, 1975. - Т. 17. Вып. 8. - С. 188-190.
- 2 Алышев В.М., Жаворонков Е.Е., Савостьянов А.Ф. Диаграмма для расчета воздушно-гидравлических колпаков - гасителей гидравлического удара // Вопросы проектирования оросительных систем: Сб. науч. тр. "Сюзводпроект". - М., 1983. - С. 202-209.
- 3 Махарадзе Л.И., Кирмелашвили Г.И. Нестационарные процессы в напорных гидротранспортных системах и защита от гидравлических ударов. - Тбилиси, 1986. - 152 с.
- 4 Мостовский А.Ф. Исследование гидравлического удара в трубах при малых напорах // Тр. Моск. ин-та инж. транск. - М.: - Л., 1929. - Вып. 11. - С. 265-304.
- 5 Чарный П.А. Неустойчивое движение реальной жидкости в трубах. - М.: - Л., 1951. - 223 с.
- 6 Бергерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети. - М., 1962. - 348 с.

Յ.Ա. ԲԱԲՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ БЛЕСКОМЕРОМ ПРИ ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИИ НАД ПЛИТОЙ

Փորձնական փոխանքը ցուց էն տալիս, որ սալիկի և փայլաչափի սովորույթի միջև եղած բացակի մեծացմանը գուգրեթաց մեծանում է փայլաչափի ցուցմանքների տարբերությունը առանց կոսինուստեյու բացակի փայլաչափի ցուցմանքների հետ, այսինքն առաջանում է բացասական նշանով կամակարգված սխալանք: ΔB_n սխալանքը մեծանում է 0,5-ից մինչև 3,8% բացակի չափերի 0,5-5,0 մմ տակնաններում: Բանի որ փայլաչափի լույսի տարածման արագությունը, սալիկի տեղաշարժման արագությունը (0,08 մ/րոպ) և փայլաչափի շարժման արագությունը սալիկի շարժմանը ուղղահայաց ուղղությամբ (1,1 մ/րոպ) անիսոմետրիկ են, ուստի ΔB_φ -ը կարելի է անտեսել:

Экспериментальные данные показывают, что при увеличении зазора уменьшаются показания блескомера по отношению к его показаниям без зазора, т.е. возникает систематическая погрешность со знаком минус. В пределах зазора от 0,5 до 5 мм эта погрешность ΔB_n увеличивается от 0,5 до 3,8%. Поскольку скорости передвижения плиты (0,08 м/мин) и движения блескомера поперек плиты (1,1 м/мин) несоизмеримы со скоростью распространения света, можно принять $\Delta B_\varphi = 0$. Погрешность ΔB_n вследствие возможного наклона блескомера теоретически возможна, однако, учитывая небольшие размеры светового окна (25 мм) и пружиненную установку блескомера относительно плиты, практически эта погрешность будет пренебрежимо малой.

Մկ. 3, Կադա 2 Բիբլիոգր.: 2 նախ.

Experimental data indicate that in increasing the clearance the lustre-meter readings decrease relative to its readings without the clearance, i.e. a systematic error arises with minus sign. Within the clearance from 0,5 through 5,0 mm this error ΔB_n increases from 0,5 to 3,8%. Since the plate moving speed (0,08 m/min) and lustre-meter moving speed traverse to the plate (1,1 m/min) are incommensurable with light speed propagation, $\Delta B_\varphi = 0$ can be accepted. Due to the possible slope of the lustre-meter the error ΔB_n is theoretically possible, however, according to small sizes of the light window (25 mm) and spring-loaded setup of the lustre-meter relative to the plate, this error, practically, will be negligible.

Մկ. 3, Կադա 2, Քեֆ. 2.

Блескомер выполняет контрольную функцию при оценке качества полированной поверхности природного камня. Можно найти зависимость между скоростью подачи плиты v на полировальном конвектере, длиной обрабатываемой плиты и временем полирования τ : $v = f_1(l, \tau)$. При этом время полирования зависит от зернистости абразивного круга A и числа его оборотов n : $\tau = f_2(A, n)$. В общем виде можно записать

$$v = f(l, \tau(A, n)) \quad (1)$$

В теоретическом решении для нахождения зависимости τ от зернистости и числа оборотов диска n нет необходимости, так как зернистости, каждого диска и рыхлость плит из разных пород камня несколько отличны. Более простым и точным является определение этой зависимости экспериментальным путем. Для каждой породы камня ищется свое время полирования, при этом можно учесть и различие n зернистости диска. В результате экспериментов целесообразно составить для каждой породы камня график зависимости времени от заданной зернистости диска. Имея такие графики, скорости подачи конвейера легко найти по формуле $v \leq l/\tau$, где l - длина плиты, м; τ - время полировки до минимального допустимого блеска, выбранное из графика, мин; v - скорость подачи конвейера, м/мин. Так, при длине полируемой плиты $l=1$ м, имеем $\tau=12$ мин, $v=1/12=0,083$ м/мин [1, 2]. Анализируя характер кривых на рис. 1, видно, что при $n=200$ об/мин повышение давления не дает существенного эффекта в сокращении времени полировки, как это имеет место при более низких оборотах.

При $P=0,02$ МПа и $n=25$ об/мин время достижения максимального блеска равно 12 мин (рис. 1), а с увеличением числа оборотов до 100 об/мин время τ уменьшается в 3 раза.

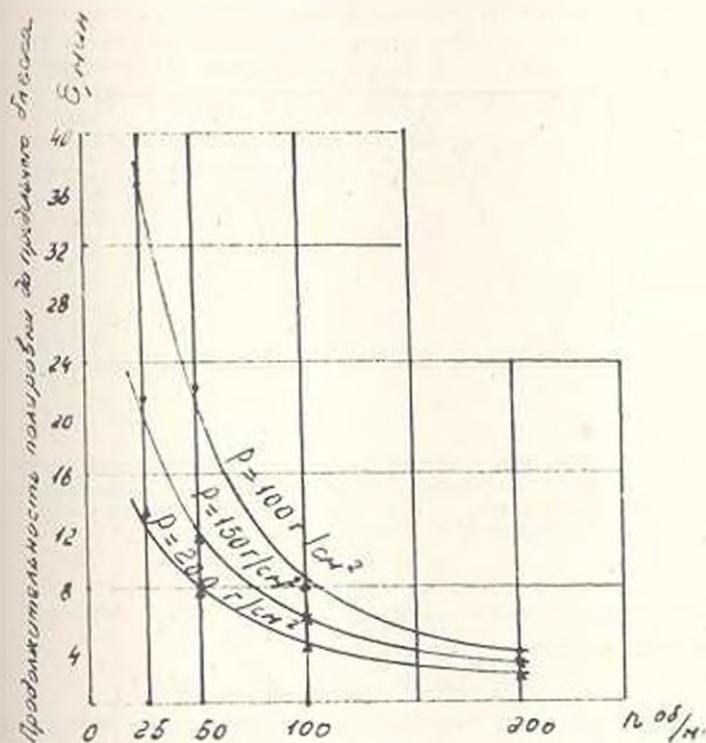


Рис. 1. Влияние числа оборотов диска полировального станка на продолжительность полирования мрамора до предельного блеска при различных давлениях и одной и той же зернистости диска

Для комнеобрабатывающих станков можно рекомендовать максимальное число оборотов при полировке не более $n=200$ об/мин и диаметре полировальника $d=200-300$ мм, давление не более 0,02 МПа.

Самыми важными узлами полировального конвейера являются устройство для полирования и блескомер, размещенный с набранным зазором над поверхностью контролируемой плиты контрольного образца, не контактируемого с ней. От качества работы этой модели блескомера зависит качество оценки полированности плит на конвейере. При этом необходимо определить значения действительной погрешности блескомера в динамическом режиме его работы, которую можно получить расчетным путем по результатам исследования макета (рис. 2).

Блескомер с зазором устанавливается относительно движущейся плиты и имеет возможность поперечного перемещения. Рассмотрим три вида погрешности:

- погрешность показаний блескомера вследствие того, что световое окно несколько приподнято над плитой - ΔB_b ;
- возможная погрешность показаний блескомера вследствие его движения относительно плиты - ΔB_x ;
- погрешность показаний вследствие наклона блескомера относительно плоскости плиты - ΔB_φ .

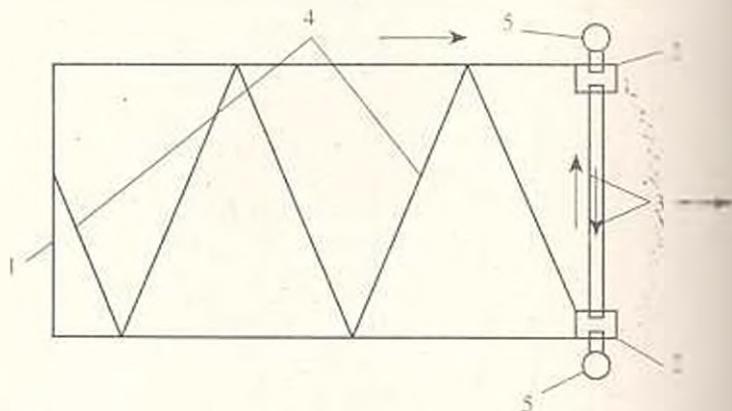


Рис. 2. Схема перемещения блескомера над движущейся плитой: 1 - плита; 2 - конечные положения блескомера; 3 - направляющие для блескомера; 4 - траектория перемещения блескомера над движущейся плитой; 5 - станция.

При этом суммарная погрешность ΔB_Σ является функцией составляющих погрешностей:

$$\Delta B_\Sigma = f(\Delta B_b, \Delta B_x, \Delta B_\varphi) \quad (2)$$

Оценим эти составляющие. Оптическая схема блескомера рассчитана на то, что его окно непосредственно прилегает к исследуемой поверхности. Если появляется зазор между поверхностью плиты и окном блескомера, то в какой-то степени нарушается система "наведения-отражения" пучка света. Наиболее точно степень этого нарушения можно получить экспериментальным путем: на мраморной полированной плите было выбрано 10 точек, в которых с помощью блескомера марки ПИИКС-БМ-3 снимались показания при непосредственной установке окна на поверхности плиты и зазора h от

0,5 до 5,0 мм (через каждые 0,5 мм). Зазоры выдерживались при помощи набора концевых мер длины.

В каждой точке производились по два независимых измерения без зазора и с зазором. В табл. 1 приведены средние значения показаний блескомера, согласно которым в пределах 0,5 до 5,0 мм погрешность $\Delta B_{\text{с}}$ увеличивается от 0,5 до 3,8%.

Таблица 1

Показания блескомера.	без зазора	86,5	86,5	86,3	86,3	86,1	85,9	85,9	85,9	85,9	85,8
% при работе	с зазором	86,0	85,5	85,5	85,5	84,5	84,5	83,0	83,5	82,0	82,0
Зазор, мм		0,5	1,0	1,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	5,0
Погрешность, %		-0,5	-1,0	-0,8	-1,3	-1,6	-1,4	-1,9	-2,4	-2,9	-3,8

Поскольку скорости передвижения плиты (0,08 м/мин) и движения блескомера поперек плиты (1,1 м/мин) несоизмеримы со скоростью распространения света, можно принять $\Delta B_{\text{с}} = 0$. Погрешность $\Delta B_{\text{с}}$ вследствие возможного наклона блескомера теоретически возможна, однако, учитывая небольшие размеры светового окна (25 мм) и неподвижную установку блескомера относительно плиты, можно принять, что $\Delta B_{\text{с}} = 0$. Для усреднения его погрешности могут быть введены поправки, равные погрешностям, указанным в табл. 2, но с обратным знаком. Для удобства выбора поправок Δh построен график зависимости $\Delta h = f(h)$ (рис. 3).

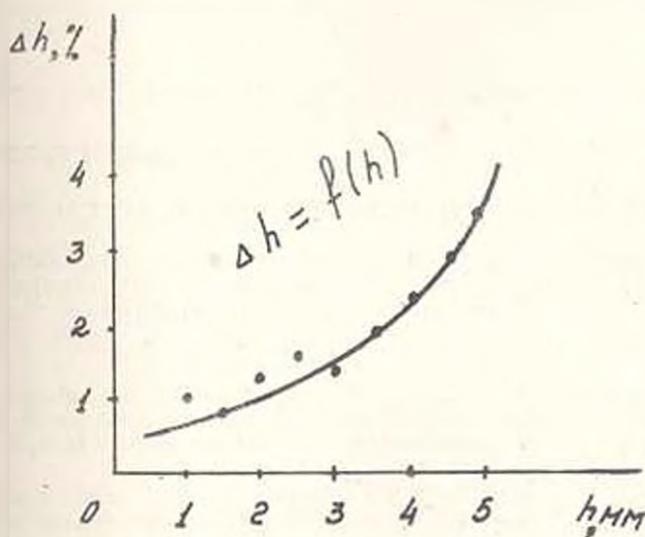


Рис. 3. График поправок показаний блескомера при зазорах в пределах от 0,5 до 5,0 мм.

On the basis of investigation results of surface water chemical composition locating in the industrial and energetic zones the algorithm and the programme for defining irrigation properties of polluted water have been developed

Table 3. Ref. 3.

В настоящее время необходимы надежные средства по предотвращению отрицательных последствий загрязненных техногенными веществами под на окружающую среду и развитию социального научного направления, разрабатывающего мелиоративные прогнозы. Это предполагает выполнение исследований, связанных с разработкой научных основ и методов определения ирригационных свойств вод, загрязненных техногенными веществами, а также освоения деградированных почв, площадь которых в зоне промышленного загрязнения имеет тенденцию роста. В указанных процессах одним из основных факторов является качество оросительной воды, что обусловлено ее химическим составом. При оценке качества воды для орошения приходится учитывать большой и сложный комплекс условий. Однако химический анализ позволяет в общем характеризовать поливную воду и предусмотреть некоторые необходимые мероприятия при ее использовании.

По общей минерализации солями поливную воду можно охарактеризовать следующим образом:

- а) вода, содержащая растворимые соли не более 400 мг/л - оросительная вода хорошего качества;
- б) 1000 мг/л - требует осторожного подхода и учета всего комплекса условий ее использования;
- в) от 1000 мг/л до 3000 мг/л - концентрация солей критическая;
- г) 4000 мг/л и более - вода засоляет почву.

Оценивая воду по общей минерализации, надо учесть, что различные соли действуют на растения неодинаково. Чтобы охарактеризовать степень пригодности воды для орошения, часто учитывают содержание и соотношение хлористых и сернокислых солей натрия и определяют щелочную характеристику воды (табл.1)

Таблица 1
Формулы расчета щелочной характеристики воды (ирригационного коэффициента)

Содержание ионов	Величина щелочной характеристики K
Ионов Na меньше, чем ионов Cl, присутствует хлорид натрия	$K=288/5Cl$
Ионов Na больше, чем ионов Cl, но меньше, чем ионов сильных кислот, присутствуют хлорид и сульфат натрия	$K=288/(Na + 4Cl)$
Ионов Na больше, чем ионов сильных кислот, $Na > Cl + SO_4$, присутствуют хлорид, сульфат и карбонат натрия	$K=288/(10Na - 5Cl - 9SO_4)$

Воды, имеющие реакцию среды $pH > 8,3$, рекомендуется использовать для орошения почв, имеющих кислую реакцию среды, а при $pH < 8,3$ - для орошения почв, имеющих щелочную реакцию среды. Для определения качества поливных вод используют следующую характеристику по содержанию солей (мэжв/л) и процентному содержанию натрия от суммы катионов: хорошая вода - 10 мэжв/л и 60%;

удовлетворительная - 10 ...30 мэкв/л и 60 ...75%; плохая - 50 мэкв/л и 75% соответственно.

Таблица 2

Классификация ирригационных вод

Щелочная характеристика К	Класс	Общая характеристика воды
18	Вода хорошего качества	Вода может успешно применяться в течение многих лет без специальных мер по предупреждению накопления щелочей
18 - 6	Вода удовлетворительного качества	Необходимость предупреждать постепенное накопление щелочей признана для всех почв, за исключением рыхлых, со свободным дренажом
6 - 1.2	Вода низкого качества	Может употребляться для орошения специальных почв при искусственном дренаже
1.2	Плохая вода	Практически непригодна для орошения

Качество поливных вод оценивается, также по предельно допустимым концентрациям (ПДК) тяжелых металлов, которые имеют следующие значения (табл. 3).

Таблица 3

Металл	ПДК, мг/л	Металл	ПДК, мг/л
Ртуть	0.005	Медь	0.2
Цинк	0.01	Никель	0.5
Кадмий	0.03	Кобальт	0.5
Молибден	0.05	Марганец	0.8
Свинец	0.2	Железо	10.0
Мышьяк	0.2		

При превышении вышеприведенных норм воды считаются плохими.

На основании активности ферментов, как основного диагностического показателя, разработана ПДК тяжелых металлов, используемых в сельском хозяйстве для орошения почв. Установленные ПДК и существующие в [1-3] показатели использовались для разработки алгоритма и программы по определению ирригационных свойств загрязненных вод. Программа написана на алгоритмическом языке TurboBasic и реализована на ЭВМ серии IBM PC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гадегян А.Ш. Об активности ферментов в почве // Докл. АН Арм. ССР. - 1963. - Т. 36. - С. 225-228.
2. Григорян К.В. Влияние загрязненных промышленных водами оросительных вод на питательный режим почвы и урожай сельскохозяйственных культур // Биолог. журн. Армении. - 1979. - Т. 32. - №7. - С. 664-669.
3. Григорян К.В. Установление ПДК тяжелых металлов в оросительной воде // Биолог. журн. Армении. - 1990. - Т. 63. - №8. - С. 704-707.

ГИУА

13.XII.1994

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Վ.Ա. Ավագյան, Կ.Ս. Բաբայան, Վ.Ս. Մկրտչյան. Շրջտաշման դեպքում մշակված մակերևույթների միկրոերկրաչափության ձևավորման ռադիոսոսիկական մոդել	77
Ս.Ա. Գասպարյան. Ջոզսամիացությունների հոգնածային ամրությունը շերտաստիճանի բարձրացման և բեռնվածության հաճախության փոփոխման հաշվառմամբ	82
Ն.Ա. Բազիկյան, Գ.Ն. Մանասարյան. Թերությունների վրա քրոմիումի արակտորի կողատարումը կանխող համակարգ	88
Մ.Ա. Բալաբեկյան, Վ.Ս. Սաֆարյան. Էլեկտրական ցանցերի օպտիմալ զարգացման խնդրի մոտեցումը	91
Կ.Վ. Մարտիսյան, Հ.Ա. Բուռնաչյան, Ո.Զ. Մարտիսյան. Ֆրագդանի ՊՇԷԿ-ի 200 ՄՎտ հզորության էներգաբլոկների գաժրապլոտենցիալ համալիրի շահագործման որոշ առանձնահատկությունները	97
Մ.Ա. Արամյան. Անհամասեռ ներառումներով անհամասեռ միջավայրերի ինտեգրալ պարամետրերի հաշվարկը	100
Ռ.Ե. Սարգսյան. Իդենտիֆիկացման և գնահատման ինտերակտիվ ընթացակարգեր: Նադորգագրություն 1. Ռեգրեսիան սխեմաների թարամետրերի պայմանական գնահատում	104
Կ.Ա. Նամբարձումյան. Նոր տեխնիկայի ստեղծման և յուրացման գործընթացի հուսալիության և արդյունավետության գնահատումը	109
Վ.Ն. Ավետիսյան. Կարճալիք միլիմետրանոց տիյուպի անտենաների նարամետրերի չափման խնդիր	114
Է.Պ. Աշխյանց. Հիդրավլիկական հարվածի ողային խցան-մարիչների հաշվարկի վերլուծական մեթոդները	119
Զ.Ա. Բաբայան. Փայլաչափի չափումների սխալանքի հետազոտումը սալիկի նկատմամբ շարժվելու դեպքում	124
Ն.Ռ. Նարությունյան, Կ.Վ. Գրիգորյան, Ս.Ա. Մինասյան, Գ.Պ. Մելիքյան. Էներգետիկական և արդյունաբերական ձեռնարկությունների թափոններով աղտոտված ջրերի ուռուցման Ցատկությունների որոշումը	128

СОДЕРЖАНИЕ

В.А. Авакян, К.С. Бабаян, В.С. Мкртчян. Стохастическая модель формообразования микрогеометрии обработанных поверхностей при тчении	77
С.А. Гаспарян. Усталостная прочность паяных соединений с учетом изменения частоты нагружения и повышения температуры	82
Н.А. Базикян, Г.Г. Манасарян. Система, предотвращающая боковой увод гусеничного трактора на склонах	88
М.А. Балабекян, В.С. Сафарян. Упрощенный подход к решению задачи оптимизации развития электрических сетей	91
К.В. Марухян К.В., Г.А. Бурначян, В.З. Марухян. Некоторые особенности эксплуатации НПК энергоблоков 200 МВт Разданской ГРЭС	97
М.А. Арамян. Расчет интегральных параметров неоднородных систем с неоднородными включениями	100
Р.Е. Саркисян. Интерактивные процедуры идентификации и оценивания. Сообщение 1. Условное оценивание параметров регрессионных схем	104
К.А. Амбарцумян. Оценка надежности и эффективности процесса создания и освоения новой техники	109
В.Г. Аветисян. К измерению параметров антенн коротковолновой части миллиметрового диапазона	114
Э.П. Ащиянц. Аналитические методы расчета воздушных колпаков-газителей гидравлического удара	119
З.А. Бабаян. Исследование погрешности измерений блескомером при его перемещении над плитой	124
Н.Р. Арутюнян, К.В. Григорян, С.А. Минасян, Г.П. Меликян. Определение ирригационных свойств вод, загрязненных отходами энергетических и промышленных предприятий	128

CONTENTS

V.A. Avakian, K.S. Babayan, V.S. Mkrtchian. A stochastic model for forming microgeometry of machined surfaces during turning . . .	77
S.A. Gasparian. Soldered joint fatigue strength designed by temperature rise and alternating load	82
N.A. Bazikian, G.G. Manasserian. A system preventing a crawler tractor from side sliding on the slopes	88
M.A. Balabekian, V.S. Safarian. A method for simplified problem solving optimal electric network development	91
K.V. Maroukhian, H.A. Bournachian, V.Z. Maroukhian. On certain peculiarities of low-potential complex power units' exploitation of 200 MW on Hrazdan Power Station	97
M.A. Aramian. Integral parameter design for heterogeneous systems with heterogeneous inclusions	100
R.E. Sarkissian. Interactive procedures of identification and evaluation. Report 1. Conditional evaluation of regression circuit parameters	104
K.A. Hambartsumian. The evaluation of process reliability and effectiveness for developing and mastering new technology	109
V.A. Avetissian. On the problem of the parameter measurement at short millimeter wave band antennas	114
E.P. Ashchiantz. Analytical methods for air cap-quenchers design at hydraulic shock	119
Z.A. Babayan. Error investigation in lustre-meter measurement while its moving over a plate	124
N.R. Harutunian, K.V. Grigorian, S.A. Minassian, G.P. Melikian. Waste water analysis from energetic and industrial enterprises, defining irrigation properties of water polluted by wastes of energetic and industrial enterprises	128