

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE OF ARMENIA

ISSN 0321-1339

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

2001

Երևան

Երևան

Yerevan

Նախադրվել է 1944 թ.: Լույս է տեսնում ամսական

Основан в 1944 г. Выходит 4 раза в год

Founded in 1944. Published quarterly

Գլխավոր խմբագիր՝ ակադեմիկոս Ս. Ա. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ Գ.Ա. ԱՐԶՈՒՄՅԱՆՅԱՆ (պար. քարտուղար), ակադեմիկոս Է.Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ.Ե. ԲԱԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ.Ա. ԲՐՈՒՏՅԱՆ, ակադեմիկոս Է.Ս. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ.Ա. ԳԱԼՈՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ.Վ. ԴՈՎԼԱՏՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Ա.Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ.Ն. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Կ.Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու.Ն. ՇՈՒԿՈՒՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Ֆ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ.Մ. ՍԵԴՐԱԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ.Բ. ՖԱՆԱՐԺՅԱՆ:

Главный редактор академик С. А. АМБАРЦУМЯН

Редакционная коллегия: Г.А. АРЗУМАНИЯН (отв. секретарь), академик Э.Г. АФРИКЯН, академик Г.Е. БАГДАСАРЯН, академик Г.А. БРУТЯН, академик Э.С. ГАБРИЕЛЯН, академик Г.А. ГАЛОЯН, академик В.В. ДОВЛАТЯН (зам. главного редактора), академик В.О. КАЗАРЯН, академик К.Г. КАРАГЕЗЯН, академик Ф.Т. САРКИСЯН, академик Д.М. СЕДРАКЯН, академик А.А. ТАЛАЛЯН, академик В.В. ФАНАРДЖЯН, академик Ю.Г. ШУКУРЯН.

Editor-in-chief academician S. A. AMBARTSUMIAN

Editorial Board: academician G.E. AFRIKIAN, G.A. ARZUMANYAN (executive secretary), academician G.E. BAGDASARIAN, academician G.A. BRUTIAN, academician V.V. DOVLATIAN (vice-editor-in-chief), academician V.V. FANARDJIAN, academician E.S. GABRIELIAN, academician G.A. GALOYAN, academician K.G. KARAGEUZYAN, academician V.H. KAZARIAN, academician F.T. SARGSSIAN, academician D.M. SEDRAKIAN, academician Yu.H. SHOUKOURIAN, academician A.A. TALALIAN.

Խմբագրության հասցին՝ 375019 Երևան 19, Մարշալ Բաղրամյանի պող. 24գ

Տեlex. 52-44-61

Խմբագրության վարիչ՝ Գ. Ա. Աբրահամյան

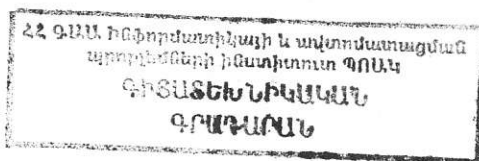
Адрес редакции: 375019, Ереван 19, просп. Маршала Баграмяна 24г

Тел. 52-44-61

Зав. редакцией Г. А. Абрамян

Communication links: address – 24g Marshal Bagramian Ave., Yerevan, 375019, Armenia

Phone-(3741) 52-44-61



ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

<i>Լ. Զ. Գևորգյան</i> – Հատված օպերատորի սպեկտրի նկարագրություն և միջանկյալ խնդիրներ	309
--	-----

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

<i>Կ. Ա. Կարապետյան</i> -- Ապակեպլաստե խողովակների դեֆորմատիվ հատկությունները կրկնվող-ստատիկ միարանցք և կոմբինացված բեռնավորման դեպքում.....	317
--	-----

<i>Ս. Մ. Սարգսյան, Մ. Ա. Զադրյան</i> -- Անհամասեռ-բաղադրյալ սալերի թերլարվածային վիճակը.....	324
--	-----

ԱՌԱՉԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ն. Ա. Մովսիսյան- Առաձգական սյունի սահքի վերաբերյալ</i>	330
---	-----

ԷԼԵԿՏՐԱՍՈՒՉԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ս. Ա. Մելքումյան, Դ. Ս. Մելքոնյան</i> - Էլեկտրաառաձգականության կոնտակտային հարթ խնդիրը բաղադրյալ կիսահարթության համար.....	336
---	-----

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

<i>Գ. Լ. Արեշյան</i> - Ավտոնոմ սինխրոն գեներատորի հոսքակցումների օպերատորային հավասարումների լուծումը բեռի հավելման դեպքում.....	343
--	-----

ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ

<i>Ռ. Ս. Եսայան</i> – $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2$ համակարգի տատանումները նկարագրող մոդելի ֆազային տարածության պարամետրական անալիզը.....	347
--	-----

ՄԵՔԵՆԱՇԽՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Կ. Վ. Ալեքսանդրյան</i> – Մեքենաների ապահովիչ սարքերի պարամետրերի և աշխատանքի ռեժիմների որոշումը խոչընդոտների հետ բախման դեպքում.....	354
---	-----

ԲԺՇԿԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Լ. Հ. Ավագյան, Գ. Գ. Արծրունի</i> - Աոնետների մակերիկամների միջուկային նյութի անդրկառուցվածքային բնութագիրը արտաքին էլեկտրաստատիկ դաշտի ազդեցությունից հետո տարբեր ժամանակներում.....	361
--	-----

ԿԱԶՄԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ի. Բ. Մելիքսեթյան</i> – Ներվաթելերի միելինային թաղանթի հայտնաբերման մեթոդ.....	366
---	-----

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

<i>Դ. Ն. Խոտավերդյան, Ա. Ա. Գալոյան, Ա. Ս. Տեր-Մարկոսյան, Օ. Վ. Մկրտչյան</i> Նոր ենթաթմբային նյարդապեպտիդի՝ գալարմինի ազդեցությունը գորտի մեկուսացված սրտի կծկողական ակտիվության վրա.....	371
---	-----

<i>Ռ. Վ. Կարապետյան, Ա. Ս. Ամատունի</i> - Աոնետների ուղեղիկի ենթակեղևային նեյրոնների ֆոնային ազդակային ակտիվությունը դեֆերենտացիայի պայմաններում.....	377
---	-----

<i>Մ. Գ. Աղաջանյան</i> – Տարբեր տիպի բեռնվածությունների նկատմամբ մարզիկների հեմոդինամիկայի հարմարվողականության առանձնահատկությունների մասին.....	383
--	-----

<i>Բովանդակություն 101-րդ հատորի</i>	386
--	-----

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Л. З. Геворгян* — Описание спектра усеченного оператора и промежуточные проблемы..... 309

МЕХАНИКА

- К. А. Карапетян* — Деформативные свойства стеклопластиковых труб при повторно-статическом одноосном и комбинированном нагружении..... 317

- С. М. Саргсян, М. А. Задоян* — Малонапряженное состояние неоднородно-составных плит..... 324

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- Л. А. Мовсисян* — К сдвигу упругих колонн..... 330

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

- С. А. Мелкумян, Д. С. Мелконян* — Плоская контактная задача электроупругости для составной полуплоскости..... 336

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Г. Л. Арешян* — Решение операторных уравнений потокосцеплений автономного синхронного генератора при набросе нагрузки..... 343

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Р. С. Есаян* — Параметрический анализ фазового пространства модели, описывающей осцилляции в системе $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2$ 347

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- К. В. Александрян* — Определение параметров и режимов работы предохранительных устройств машин при их столкновении с препятствиями..... 354

МЕДИЦИНА

- Л. А. Авакян, Г. Г. Арцруни* — Ультраструктурная характеристика мозгового вещества надпочечников крыс в различные сроки после воздействия внешнего электростатического поля..... 361

МОРФОЛОГИЯ

- И. Б. Меликсетян* — Метод выявления миелиновых оболочек нервных волокон..... 366

ФИЗИОЛОГИЯ

- Д. Н. Худавердян, А. А. Галоян, А. С. Тер-Маркосян, О. В. Мкртчян* — Влияние нового гипоталамического нейропептида галармина на сократительную активность изолированного сердца лягушки..... 371

- Р. В. Карапетян, А. С. Амапуни* — Фоновая импульсная активность нейронов подкорковых ядер мозжечка крыс в условиях его деафферентации..... 377

- М. Г. Агаджанян* — Об особенностях адаптации гемодинамики к различным типам нагрузки у спортсменов..... 383

- СОДЕРЖАНИЕ 101-го тома 386

CONTENTS

MATHEMATICS

<i>L. Z. Gevorgyan</i> - A description of a truncated operator's spectrum and intermediate problems	309
---	-----

MECHANICS

<i>K. A. Karapetyan</i> – Deformation of glass-plastic tubes under repeated-static uniaxial and combined loadings.....	317
--	-----

<i>S. M. Sargsyan, M. A. Zadoyan</i> - On low stress-state of non-homogeneous compound plates	324
---	-----

THEORY OF ELASTICITY

<i>S. A. Melkumyan, D. S. Melkonyan</i> - Plane contact problem of electroelasticity for complex semi-plane.....	330
--	-----

<i>L. G. Movsisian</i> – On the shear of elastic columns.....	336
---	-----

ELECTROTECHNICS

<i>G. L. Areshian</i> - The solution of operator flux linkage equations of autonomous synchronous generator during the load addition.....	343
---	-----

MACHINE-BUILDING

<i>K. V. Aleksandrian</i> – Construction substantiation and parameters calculation for safety devices when encountering the obstacles.....	347
--	-----

CHEMICAL PHYSICS

<i>R. S. Yessayan</i> - Parametrical analysis of phase space of the model, describing oscillations in $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2$ system.	354
---	-----

MEDICINE

<i>L. H. Avagyan, G. G. Artsruni</i> - Ultrastructure characteristics of adrenals' medulla of rats at different terms after influence of the external electrostatic field.....	361
--	-----

MORPHOLOGY

<i>I. B. Meliksetyan</i> - A method of the revelation of nerve fiber myeline membranes.....	366
---	-----

PHYSIOLOGY

<i>D. N. Khudaverdyan, A. A. Galoyan, A. S. Ter-Markosyan, O. V. Mkrtchyan</i> - The influence of the new hypothalamic neuropeptide galarmin on the contractive activity of the isolated frog heart.....	371
--	-----

<i>R. V. Karapetyan, A. S. Amatuni</i> - Background impulse activity of the deafferented subcortical neurones in the rat cerebellum.....	377
--	-----

<i>M. G. Aghajanyan</i> - About particularities of haemodynamic adaptation to various types of load in athletes.....	383
--	-----

Contents of 101 volume.....	386
-----------------------------	-----

МАТЕМАТИКА

УДК 517.984

L. Z. Gevorgyan

A description of a truncated operator's spectrum and intermediate problems

(Submitted 18/V 2001)

Let A be a selfadjoint (bounded) operator, acting in a Hilbert space H , L be a subspace in H and P_L be the orthogonal projector onto L . Any operator in H generates a sesquilinear form (Af, g) on $H \times H$. If we consider this form only for elements f, g belonging to L , we arrive at the operator $A_0 = P_L A | L$ said to be truncated. First we describe the spectrum of a truncated operator in a particular case, then apply it to the oscillation's investigation of constrained mechanical systems.

Let μ be a nonnegative locally finite measure with $\text{supp } \mu \subset \mathbb{R}$, M be the multiplication operator by the independent variable in the (complex) space L^2_μ , $\mathcal{P}_{n-1}$ ($n \in \mathbb{N}$) — the set of polynomials Q on one real variable, satisfying the condition $\deg Q \leq n-1$ (we suppose that any $\mathcal{P}_{n-1}$ is a subspace of L^2_μ , e.g. μ has compact support and an infinite number of growth points). The subspace $\mathcal{P}_{n-1}$, evidently, is not invariant under M and we consider the restriction of the form (Mf, g) on $\mathcal{P}_{n-1}$.

Proposition 1. *The spectrum of $P_{\mathcal{P}_{n-1}} M | \mathcal{P}_{n-1}$ coincides with the roots $\{x_k\}$ of the n -th μ -orthogonal polynomial P_n and the corresponding eigenelements are the Lagrange fundamental polynomials constructed by these points.*

Proof. Let

$$l_m(x) = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n \frac{x - x_i}{x_m - x_i}, \quad m = 1, 2, \dots, n$$

be the Lagrange fundamental polynomials, constructed by the points $\{x_k\}$. Denoting

$$\omega(x) = \prod_{i=1}^n (x - s_i).$$

one arrives to the formula

$$l_m(x) = \frac{\omega(x)}{(x - x_m) \omega'(x_m)}.$$

We prove that $\{l_m\}$ are μ – orthogonal. Indeed,

$$(l_m, l_k) = \int \omega(x) \cdot \frac{\omega(x)}{\omega'(x_m)\omega'(x_k)(x-x_k)(x-x_m)} \mu(dx) = 0,$$

as the first term under the integral sign coincides up to a scalar multiplier with P_n and second term at $m \neq k$ is a polynomial of degree $n-2$. If $m = k$, one gets

$$\int l_m^2(x) \mu(dx) = \lambda_m > 0,$$

where the last numbers are known as weights or Christoffel numbers. Expanding polynomials $p, q \in \mathcal{P}_{n-1}$ according to the Lagrange interpolation formula

$$p(x) = \sum_{k=1}^n p(x_k) l_k(x), \quad q(x) = \sum_{m=1}^n q(x_m) l_m(x)$$

we arrive to the formula

$$(p, q) = \sum_{k=1}^n \lambda_k p(x_k) \overline{q(x_k)}$$

established in the theory of numerical calculations ([1], formula 3.4.1) as an approximative equality

$$\int f(x) \mu(dx) \simeq \sum_{k=1}^n \lambda_k f(x_k).$$

Note that this equality is exact for any polynomial R with $\deg R \leq 2n-1$.

Then

$$(xq(x), l_m(x)) = ((x-x_m)q(x), l_m(x)) + x_m(q(x), l_m(x)) = x_m(q(x), l_m(x)),$$

implying

$$(xl_k(x), l_m(x)) = \lambda_k x_k \delta_{km}$$

(δ_{mk} is Kronecker's delta) and

$$P_{\mathcal{P}_{n-1}} M l_k = x_k l_k. \square$$

For any set S of different real numbers $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ and a set Λ of positive numbers $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ one can construct a space of Λ – orthonormal on S polynomials. Let introduce in the space $\mathcal{F}(S)$ of all functions defined at least on S a sesquilinear form by the formula

$$(f, g) = \sum_{k=1}^n \lambda_k f(s_k) \overline{g(s_k)}. \quad (1)$$

This expression defines a scalar product on $\mathcal{P}_{n-1}$. Note that for any two functions $f, g \in \mathcal{F}(S)$

$$(f, g) = (\tilde{f}, \tilde{g}),$$

where

$$\tilde{f}(x) = \sum_{k=1}^n f(s_k) l_k(x)$$

is the Lagrange interpolation polynomial for f . Applying to the monomials $\{x^m\}_0^{n-1}$ the Gram-Schmidt orthogonalization process we arrive to the set $\{p_k(x)\}_0^{n-1}$ of orthonormal polynomials (with positive coefficient of the leading term).

We seek an explicit formula for $p_{n-1}(x)$. To this end note that the function

$$r_m(x) = p_{n-1}(x) \frac{\omega(x)}{x - s_m},$$

where $\omega(x)$ is the product, corresponding to the points $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, is a polynomial of degree $2n - 2$, so

$$\int r_m(x) \mu(dx) = \lambda_m p_{n-1}(s_m) \omega'(s_m).$$

The integral may be calculated, decomposing the fraction

$$\frac{\omega(x)}{x - s_m}$$

as follows

$$\frac{\omega(x)}{x - s_m} = \frac{p_{n-1}(x)}{\mu_{n-1}} + q_{n-2}(x),$$

where μ_{n-1} is the coefficient of x^{n-1} in $p_{n-1}(x)$ and $\deg q_{n-2} \leq n - 2$. Then

$$\int r_m(x) \mu(dx) = \int \left(\frac{p_{n-1}(x)}{\mu_{n-1}} + q_{n-2}(x) \right) p_{n-1}(x) \mu(dx) = \frac{1}{\mu_{n-1}},$$

and

$$p_{n-1}(s_m) = \frac{1}{\mu_{n-1} \lambda_m \omega'(s_m)}. \quad (2)$$

The last equality implies

$$p_{n-1}(x) = \frac{1}{\mu_{n-1}} \sum_{k=1}^n \frac{1}{\lambda_k \omega'(s_k)} l_k(x). \quad (3)$$

The equation

$$p_{n-1}(x) = 0 \quad (4)$$

is equivalent to

$$\frac{p_{n-1}(x)}{p_n(x)} = 0.$$

As

$$\frac{p_{n-1}(x)}{p_n(x)} = \sum_{m=1}^n \operatorname{Res}_{x=s_k} \left(\frac{p_{n-1}(x)}{p_n(x)} \right) \cdot \frac{1}{x - s_m}$$

we arrive at

$$\sum_{m=1}^n \frac{p_{n-1}(s_m)}{p'_n(s_m)} \cdot \frac{1}{x - s_m} = 0. \quad (5)$$

To investigate this equation, we note that the coefficients $p_{n-1}(s_m)/p'_n(s_m)$ according to formula (2) are positive, therefore

$$\left(\frac{p_{n-1}(x)}{p_n(x)}\right)' = - \sum_{m=1}^n \frac{p_{n-1}(s_m)}{p'_n(s_m)} \cdot \frac{1}{(x-s_m)^2} < 0. \quad (6)$$

As

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{p_{n-1}(x)}{p_n(x)} = 0$$

and

$$\lim_{x \rightarrow s_k \mp 0} \frac{p_{n-1}(x)}{p_n(x)} = \mp\infty,$$

equation (4) has $n-1$ simple roots $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n-1}\}$, alternating $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ (details in [2], ch. IV, 4.3).

These formulas (in particular, formula (5)) may be applied to investigate so-called intermediate problems. As it is known (cf. [3], ch. III) an oscillating system with n degrees of freedom is described by a selfadjoint matrix $\mathcal{A}$, acting in a n -dimensional Hilbert space H . The oscillation frequencies are equal to eigenvalues of $\mathcal{A}$ and the eigenelements define the directions of so-called normal oscillations. If the system is constrained, its behavior is described by the truncated operator and oscillation frequencies are shifted.

The eigenvalues of any matrix can be calculated by Courant-Fisher minimax principle. It provides a two-sided estimate for shifted frequencies. We propose below an explicit formula for eigenvalues and eigenelements and resolve the inverse problem.

As any selfadjoint operator is an orthogonal sum of selfadjoint operators with cyclic vectors, we assume that $\mathcal{A}$ has a cyclic vector, i.e. its spectrum $Sp\mathcal{A} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ is simple. The constraint will be taken as a subspace L defined by the equation

$$\bar{a}_1 x_1 + \bar{a}_2 x_2 + \dots + \bar{a}_n x_n = 0 \quad (7)$$

in the coordinate system $\{e_k\}_1^n$ consisting of eigenelements of $\mathcal{A}$.

Proposition 2. *The spectrum of $\mathcal{A}_0 = P_L \mathcal{A}|L$ coincides with the root $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n-1}\}$, of equation*

$$\sum_{k=1}^n \frac{|a_k|^2}{x-s_k} = 0. \quad (8)$$

Proof. Without loss of generality we suppose that no coefficient $\{a_k\}_1^n$ is equal to zero. Define the weights $\{\lambda_k\}_1^n$ by the formula

$$\lambda_k = \frac{1}{|a_k \omega'(s_k)|^2}. \quad (9)$$

Let U be an operator from H into $\mathcal{P}_{n-1}$ putting in correspondence to the element e_k the polynomial $\bar{a}_k \omega'(s_k) l_k(x)$ and expanded linearly onto H . As

$$\left(\sum_{k=1}^n a_k e_k \right) = \sum_{k=1}^n |a_k|^2 \omega'(s_k) l_k(x) = \mu_{n-1} p_{n-1}(x),$$

we get $UL = \mathcal{P}_{n-1} \ominus \{\mathcal{P}_{n-1}\} = \mathcal{P}_{n-2}$. So the spectrum of the matrix $\mathcal{A}_l = \mathcal{P}_L \mathcal{A} | \mathcal{L}$ coincides with the roots of p_{n-1} and we must resolve the equation

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{\lambda_k \omega'(s_k)} l_k(x) = \sum_{k=1}^n |a_k|^2 \omega'(s_k) l_k(x) = 0.$$

As

$$l_k(x) = \frac{\omega(x)}{(x - s_k) \omega'(s_k)}$$

we get finally (8). $\square$

The same equation may be rewritten as

$$\frac{\det(\mathcal{A}_0 - xI)}{\det(\mathcal{A} - xI)} = 0. \quad (10)$$

The eigenelements of truncated matrix $\mathcal{A}_l$ are equal to

$$f_j = \sum_{k=1}^n \frac{e_k}{\bar{a}_k \omega'(s_k)} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n-1} (s_k - \sigma_j). \quad (11)$$

Direct calculations yield another formula

$$f_j = \text{const} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{\sigma_j - s_k} e_k \quad (12)$$

We suppose now that two sets $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n-1}\}$, $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, of alternating real numbers are known and seek the subspace L , generating the shift $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \mapsto \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n-1}\}$. This problem may be resolved by the following method.

Note that

$$p_{n-1}(x) = \mu_{n-1} \prod_{j=1}^{n-1} (x - \sigma_j)$$

and

$$\mu_{n-1}^2 \sum_{m=1}^n \lambda_m \prod_{j=1}^{n-1} (s_m - \sigma_j)^2 = 1,$$

From formula (2) it follows that

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k \prod_{j=1}^{n-1} (s_k - \sigma_j)^2 - \lambda_m \omega'(s_m) \prod_{j=1}^{n-1} (s_m - \sigma_j) = 0, \quad m = 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

If we define $\{\lambda_m\}_1^n$ from the last equalities, formula (9) permits to recover (up to a common factor and specific phase multiplier) the coefficients $\{a_n\}$, hence the subspace L .

The coefficients $\{a_k\}$ may be found directly, if we consider equation (8) as a system of linear equations

$$\sum_{k=1}^n \frac{|a_k|^2}{\sigma_j - s_k} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n-1.$$

Introducing vectors $r_j = \{(\sigma_j - s_1)^{-1}, (\sigma_j - s_2)^{-1}, \dots, (\sigma_j - s_n)^{-1}\}$, we find $\{a_k\}$ as the outer product of $\{r_j\}_1^{n-1}$.

Comparing (11) and (12) we get

$$|a_k|^2 = \text{const} \frac{\prod_{i=1}^n (s_k - \sigma_i)}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n (s_k - s_j)}.$$

These formulas may be applied also in the case, where A is an infinite-dimensional Hilbert space selfadjoint operator, belonging to the Schatten trace class. As it is well known (cf. [4], ch. IV) for any such operator the sequence of eigenvalues $\{s_k\}$ satisfies the condition

$$\sum_{k=1}^{\infty} |s_k| < \infty,$$

the infinite product

$$\prod_{k=1}^{\infty} (1 - zs_k), \quad z \in \mathbb{C}$$

converges to an entire function $D_A(z)$, said to be the characteristic determinant of A . The roots of equation $D_A(z) = 0$ coincide with s_k^{-1} and one has the equality

$$D_A(z) = \lim_{n \rightarrow \infty} \det(\delta_{ik} - z(Ae_k, e_i)), \quad i, k = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

Easily can be seen that if coefficients $\{a_k\}_1^{\infty}$, defining the subspace L , belong to l^2 , the series

$$F(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{|a_k|^2}{x - s_k}$$

converges for any non-zero $x, x \neq s_k, k \in \mathbb{N}$ to a continuous function. This convergence is uniform on any segment $[a, b]$ which does not contain the points 0 and $\{s_k\}$. The same is true for the (formal) derivative

$$F'(x) = - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{|a_k|^2}{(x - s_k)^2},$$

so F is decreasing. Let x_m be a root of the equation $F(x) = 0$ and ϵ - a sufficiently small positive number. As $F(x_m - \epsilon) > 0$ and $F(x_m + \epsilon) < 0$ and

$$F_N(x) = \sum_{k=1}^N \frac{|a_k|^2}{x - s_k}$$

converges to $F(x)$, we get $F_N(x_m - \epsilon) > 0$ and $F_N(x_m + \epsilon) < 0$ for sufficiently large N , hence the roots $\{x_m^N\}$ of the equation $F_N(x) = 0$ tend to x_m as $N \rightarrow \infty$. According to formulae (10), (14) the non-zero terms of the spectrum of A_0 coincide with the roots of the following equation

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{|a_k|^2}{x - s_k} = 0.$$

State Engineering University of Armenia
levgev@altavista.net

Լ. Ջ. Գևորգյան

Հատված օպերատորի սպեկտրի նկարագրություն և միջանկյալ խնդիրներ

Ինքնահամալուծ օպերատորի՝ ոչ ինվարիանտ ենթատարածության վրա սահմանափակման սպեկտրը նկարագրվում է զուգորդված օրթոգոնալ բազմանդամների միջոցով: Ստացված նկարագրությունն օգտագործվում է տատանողական համակարգը կապերով կաշկանդելու հետևանքով առաջացած հաճախությունների տեղաշարժը որոշելու համար: Լուծված է նաև հակադարձ՝ հաճախությունների տեղաշարժով կապերի բնույթը որոշելու խնդիրը:

Л. 3. Геворкян

Описание спектра усеченного оператора и промежуточные проблемы

Спектр ограничения самосопряженного оператора на инвариантное подпространство описывается при помощи ассоциированных ортогональных полиномов. Полученное описание применяется для определения сдвига частот колебательной системы при наложении связей. Решена также обратная задача определения характера связей при помощи сдвига частот.

References

- [1] Szego G., Orthogonal polynomials, Amer. Math. Soc. Coll. Publ, 1939, v. 23.
- [2] Atkinson F. V., Discrete and continuous boundary problems, Academic Press, N. Y., London, 1964.
- [3] Gantmakher F. R., Krein M. G., Oscillation matrices, kernels and small oscillations of mechanical systems, (Russian), 2-nd edition, Moscow, 1950
- [4] Gohberg I. Z., Krein M. G., Introduction to the theory of linear non-selfadjoint operators, Amer. Math. Soc., Providence, R.I., 1969.

МЕХАНИКА

УДК 678.057:620.17:539.37

К. А. Карапетян

**Деформативные свойства стеклопластиковых труб при
повторно-статическом одноосном и комбинированном нагружениях**

(Представлено академиком Л. А. Агаловяном 27/IV 2001)

Данные о механическом поведении полимерных композитов при повторно – статических нагружениях в основном были получены в условиях одноосного напряженного состояния [1-3 и др.]. Подобная информация для не одноосного нагружения-разгрузки может способствовать более верному представлению о работе композитов в реальных конструкциях.

В работе приводятся результаты экспериментального исследования деформационных свойств стеклопластика в условиях повторно-статического комбинированного простого нагружения растягивающим усилием и крутящим моментом. Приводятся также результаты аналогичных исследований, проведенных при одноосном растяжении и кручении.

В качестве опытных образцов использовались трубы со стеклотканевой основой следующих размеров: внутренний диаметр – 38 мм, толщина стенки – 2.25 мм, длина – 285 мм. Подробные сведения об изготовлении труб приведены в работе [4]. Отметим, что направление основы стеклоткани совпадало с направлением продольной оси образцов ($\varphi = 0^\circ$).

Стеклопластиковые трубы подвергали повторно-статическому нагружению со ступенчатообразным изменением нагрузки с шагом $0.1\sigma_B$ при осевом растяжении и $0.05\tau_B$ при кручении ($\sigma_B = 147.1$ МПа, $\tau_B = 47.1$ МПа – временное сопротивление труб при одноосном растяжении и кручении) и выдержкой на каждом уровне лишь на время, необходимое для взятия данных с индикаторов, измеряющих деформации. При испытании труб на циклическое растяжение со средней скоростью 0.27 МПа/с и на кручение со средней скоростью 0.1 МПа/с максимальное значение приложенного усилия составляло $0.6\sigma_B$ и $0.3\tau_B$, соответственно. В случае циклического комбинированного нагружения труб режимы испытания были приняты теми же. Число циклов при испытаниях принималось равным 12. Для каждого вида испытаний были использованы по 3 образца-близнеца;

измерялись как продольные, так и сдвиговые деформации. При этом максимальный разброс амплитудных и остаточных значений деформаций по отношению к их средней арифметической величине в случае одноосного циклического растяжения составляет, соответственно, +2.5, -3.6 и +5.3, -4.2%; в случае кручения - +2.6, -2.7 и +3.1, -4.5%, а в случае кручения с растяжением при простом нагружении - +3.6, -4.8 и +3.8, -3.7%.

Анализ полученных опытных данных был проведен на основе зависимостей интенсивностей деформаций сдвига Γ от интенсивностей касательных напряжений T , выражения которых в цилиндрической координатной системе следующие [5]:

при осевом растяжении

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}} |\sigma_z|, \quad (1)$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 + (\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2}, \quad (2)$$

при кручении

$$T = \tau_{\theta z}, \quad (3)$$

$$\Gamma = \gamma_{\theta z}, \quad (4)$$

при растяжении с кручением

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_{\theta z}^2}, \quad (5)$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 + (\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2 + \frac{3}{2} \gamma_{\theta z}^2}. \quad (6)$$

В выражениях (2) и (6) $\varepsilon_r = -\nu_1 \varepsilon_z$, $\varepsilon_\theta = -\nu_2 \varepsilon_z$, где ν_1 и ν_2 коэффициенты Пуассона в радиальном и окружном направлениях соответственно. Их значения, согласно проведенным испытаниям, для стеклотканевых пластиков с $\varphi = 0^\circ$ можно принять равными 0.2 и 0.16, соответственно.

Экспериментально полученные соотношения между T и Γ на участках восходящей ($\rightarrow$) и нисходящей ($\leftarrow$) ветвей петли гистерезиса цикла при указанных выше случаях испытаний труб описаны дробнолинейной функцией следующего вида:

$$\frac{\overleftarrow{\Gamma}}{\overleftarrow{a}} = \frac{T_B}{\overleftarrow{a}} \frac{\Gamma - \Gamma_{\text{ост}}}{1 \pm \frac{\overleftarrow{b}}{\overleftarrow{a}} (\Gamma - \Gamma_{\text{ост}})}, \quad (7)$$

где T_B – предельное значение T , соответствующее разрушению, $\Gamma_{\text{ост}}$ – величина интенсивностей остаточных деформаций сдвига цикла, a и b параметры аппроксимации (7).

Значения параметров, входящих в (7), для I, II, III и XII циклов испытаний труб приведены в таблице, где $\Gamma_{\text{амп}}$ – амплитудная величина интенсивностей деформации сдвига цикла. Отметим, что указанные параметры были определены и для остальных циклов испытаний.

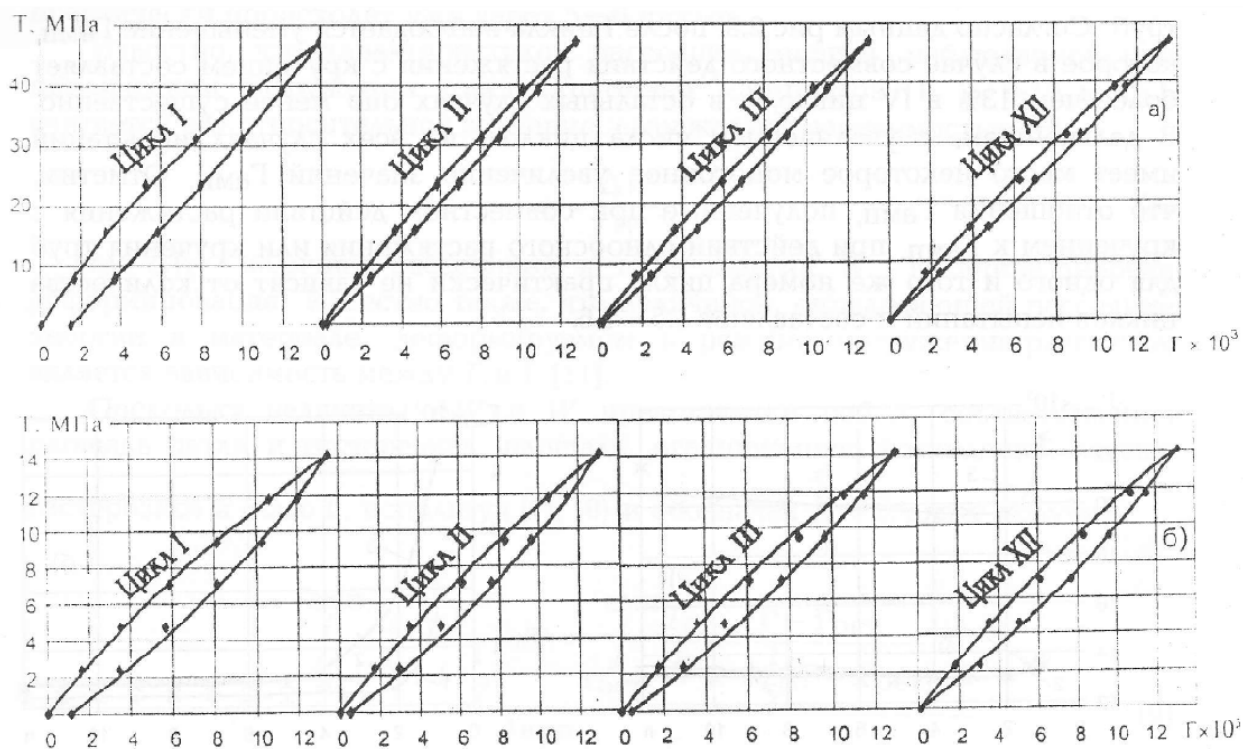


Рис. 1. Кривые петли гистерезиса стеклопластиковых труб, построенные согласно зависимости (7) в случае повторно-статического растяжения (а), кручения (б) и кручения с растяжением при простом нагружении (в).

Кривые петли гистерезиса, построенные согласно зависимости (7), с использованием данных таблицы, для указанных выше циклов испытаний труб приведены на рис.1, где точками показаны соответствующие экспериментальные данные. Из рисунка можно заключить, что аналитическая зависимость (7) приемлема для описания экспериментальных данных.

На рис.2 приведены кривые изменений интенсивностей амплитудных и остаточных деформаций сдвига в зависимости от номера цикла (n) испытаний труб. Согласно данным рис.2,а, после I цикла наблюдается уменьшение $\Gamma_{амп}$, которое в случае совместного действия растяжения с кручением составляет более чем 13% в IV цикле, а в остальных случаях оно менее существенно. В дальнейшем, с увеличением числа циклов, во всех случаях испытаний имеет место некоторое монотонное увеличение значений $\Gamma_{амп}$. Отметим, что отношения $\Gamma_{амп}$, полученные при совместном действии растяжения с кручением к $\Gamma_{амп}$, при действии одноосного растяжения или кручения труб для одного и того же номера цикла практически не зависят от количества циклов испытаний и составляют 1.5 – 1.6.



Рис. 2. Кривые изменения интенсивностей амплитудных (а) и остаточных (б) деформаций сдвига в зависимости от номера цикла испытаний стеклопластиковых труб на повторно-статическое одноосное растяжение (1), кручение (2) и кручение с растяжением при простом нагружении (3).

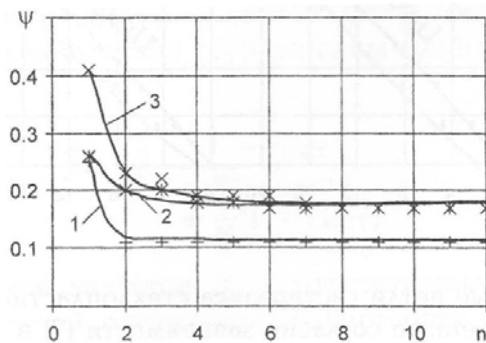


Рис. 3. Кривые изменения коэффициента рассеяния энергии Ψ стеклопластиковых труб, подвергнутых повторно-статическому одноосному растяжению (1), кручению (2) и кручению с растяжением при простом нагружении (3), в зависимости от номера цикла испытаний n .

Из рис.2,б следует, что с увеличением числа циклов, независимо от вида испытаний труб, величины $\Gamma_{ост}$ цикла уменьшаются с убывающей скоростью.

Согласно данным, полученным при одном и том же номере цикла идентичных испытаний (рис.2,а,б), значения $\Gamma_{ост}$ через 5 – 6 циклов не превосходят 3% от величин $\Gamma_{амп}$. В связи с этим можно заключить, что в рассматриваемых случаях испытаний стеклопластиковых труб образование замкнутой петли гистерезиса для полного цикла нагружение-разгрузка практически происходит уже через 5 – 6 циклов.

Известно, что характеристикой рассеяния энергии, наблюдаемой при циклическом нагружении конструкционных материалов [1, 2, 6-10 и др.], считается его относительное значение, выражаемое зависимостью [6]:

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}, \quad (8)$$

где ΔW – величина рассеянной за цикл энергии, W – величина энергии деформирования. Известно также, что величиной, определяющей рассеяние энергии в материале, деформируемом в режиме нагружение-разгрузка, является зависимость между T и Γ [11].

Поскольку величины ΔW и W - представляют собой, соответственно, площадь петли и гистерезиса, площадь, ограниченную восходящей ветвью гистерезиса и осью Γ , используя (7), (8) и обозначая $\frac{\vec{a}}{b} = \frac{\vec{a}}{x}$, для ψ получим

$$\psi = \frac{\int_0^{\Gamma_{\text{амп}}} \frac{T_B}{\vec{a}} \frac{\Gamma}{1 + \frac{1}{\vec{X}}\Gamma} d\Gamma - \int_{\Gamma_{\text{ост}}}^{\Gamma_{\text{амп}}} \frac{T_B}{\vec{a}} \frac{\Gamma - \Gamma_{\text{ост}}}{1 - \frac{1}{\vec{X}}(\Gamma - \Gamma_{\text{ост}})} d\Gamma}{\int_0^{\Gamma_{\text{амп}}} \frac{T_B}{\vec{a}} \frac{\Gamma}{1 + \frac{1}{\vec{X}}\Gamma} d\Gamma} \quad (9)$$

Формула (9) может быть переписана так:

$$\Phi = 1 - \frac{\vec{b} \left[-(\Gamma_{\text{амп}} - \Gamma_{\text{ост}}) - \vec{x} \ln \left| 1 - \frac{1}{\vec{X}}(\Gamma - \Gamma_{\text{ост}}) \right| \right]}{\vec{b} \left[\Gamma_{\text{амп}} - \vec{x} \ln \left(1 + \frac{1}{\vec{X}}\Gamma_{\text{амп}} \right) \right]} \quad (10)$$

Кривые изменения коэффициента ψ в зависимости от номера цикла испытаний, построенные согласно зависимости (10), приведены на рис.3. Из него следует, что с увеличением п значения ψ в рассматриваемых случаях испытаний монотонно уменьшаются с убывающей скоростью. Отношение величин коэффициента ψ , полученных при I и XII циклах испытаний, составляет приблизительно 2.4 в условиях совместного действия растяжения и кручения, 2.3 при осевом растяжении и 1.5 при кручении.

Вид циклического нагружения образцов	№ цикла испытаний	Параметры						
		T _B МПа	Γ _{амп.} ×10 ³	Γ _{ост.} ×10 ³	По восходящей ветви гистерезиса		По нисходящей ветви гистерезиса	
					$\vec{a} \times 10^3$	$\vec{b}$	$\vec{a} \times 10^3$	$\vec{b}$
Осевое растяжение	I	84.93	13.85	1.48	16.40	0.624	25.00	0.213
	II		12.87	0.25	19.00	0.332	25.00	0.173
	III		13.02	0.18	19.00	0.349	25.50	0.177
	XII		13.58	0.12	19.64	0.359	26.98	0.156
Кручение	I	47.10	13.45	1.13	33.50	0.842	57.00	1.293
	II		13.07	0.53	34.60	0.686	57.80	1.275
	III		13.02	0.47	34.60	0.676	57.80	1.272
	XII		13.14	0.37	34.64	0.682	59.99	1.238
Растяжение с кручением	I	77.30	22.70	4.21	22.30	1.003	51.49	0.766
	II		19.70	1.91	30.50	0.435	45.00	0.544
	III		19.64	1.17	33.80	0.259	54.50	0.971
	XII		21.60	0.34	32.88	0.456	56.98	0.645

Таким образом: 1) при циклическом простом нагружении стекло пластиковых труб, в условиях совместного действия растяжения и кручения, величины интенсивностей ампли-

тудных деформаций сдвига для одного и того же номера цикла оказываются более чем на 50% больше, чем в случае циклического осевого растяжения или кручения; 2) После стабилизации процесса деформирования (через 5 — 6 циклов нагружения — разгрузки) величины интенсивностей остаточных деформаций сдвига стеклопластиковых труб, подвергнутых повторно — статическому кручению с растяжением или простому кручению, практически не отличаются друг от друга. Они превосходят величины интенсивностей остаточных деформаций сдвига при одноосном циклическом растяжении более чем в 3 раза. Аналогичная закономерность имеет место для коэффициента рассеяния энергии, при этом отмеченное выше отношение составляет 1.5.

Следовательно, характеристики деформационных свойств тонкостенных стеклотканевых труб при повторно-статическом кручении с растяжением в условиях простого нагружения или кручения могут быть определены из экспериментов на циклическое растяжение.

Автор выражает благодарность А. М. Симоняну за консультации при проведении исследований.

Институт механики НАН РА

Կ. Ա. Կարապետյան

Ապակեպլաստե խողովակների դեֆորմատիվ հատկությունները կրկնվող-ստատիկ միառանցք և կոմբինացված բեռնավորման դեպքում

Բերվում են ապակեպլաստե բարակապատ խողովակների դեֆորմատիվ հատկությունների ուսումնասիրման արդյունքները կրկնվող-ստատիկ առանցքային ձգման, ոլորման և նշված ուժային գործոնների կոմբինացիայով իրականացվող պարզ բեռնավորման դեպքերում: Պարզվել է, որ անկախ բեռնավորման ցիկլերի քանակից, խողովակների սահքի դեֆորմացիաների ինտենսիվությունների ամպլիտուդային մեծությունները կրկնվող-ստատիկ կոմբինացված բեռնավորման դեպքում ստացվում են 50%-ով ավել, քան ցիկլիկ բեռնավորման մյուս դեպքում:

Ստացված է, որ սահքի դեֆորմացիաների ինտենսիվությունների մնացորդային, ինչպես նաև դեֆորմացման էներգիայի ցրման գործակցի մեծությունները խողովակների կոմբինացված կամ միայն ոլորող մոմենտով բեռնավորման դեպքում փորձարկման միևնույն ցիկլի ժամանակ ստացվում են էապես մեծ, քան խողովակները միայն առանցքային ձգող ուժով բեռնավորում-բեռնաթափելիս:

Ցույց է տրված, որ հաստատուն առնցքային ձգող ուժի առկայությամբ կրկնվող-ստատիկ ոլորման կամ պարզ ոլորման ենթարկվող ապակեպլաստե խողովակների բնութագրիչները կարելի է որոշել խողովակների ցիկլիկ առանցքային ձգման փորձերի արդյունքներից:

Литература

1. *Портнов Г. Г., Баринов Н. Н.* - Механика композитных материалов. 1992. №5. С. 639-643.
2. *Мошев В. В., Ковров В. Н.* - Механика композитных материалов. 1995. №5. С. 579-583
3. *Саркисян Н. Е.* - Механика композитных материалов. 1976. №6 С 991-994.
4. *Карапетян К. А., Саркисян Н. Е., Хачикян А. Г.* - Изв. НАН и ГИУ Армении. Сер. техн. наук. 1998. Т. 51. №2. С.127-132.
5. *Качанов Л. М.* Основы теории пластичности. М. Наука. 1969. 420 с.
6. *Давиденков Н. Н.* - ЖТФ. 1938. Т.8. Вып.6. С. 13-25.
7. *Пановко Я. Г.* Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. М. Гос. Изд, физ.-мат. лит. 1960. 193 с.
8. *Гурьев А. В., Мирошников Э. В.* В сб.: Труды рассеяния энергии при колебаниях механических систем. Киев. Наукова думка. 1974. С. 203-208
9. *Карапетян Б. К., Арутюнян С. М.* - Тр. АРМ. НИИС-а. Ереван. Айастан. 1980. Вып. 15. С. 24-31.
10. *Месчян С. Р., Петросян Т. Л.* - Изв. АН Арм. ССР. Науки о Земле. 1989. Т. 42., №5. С. 69-74.
11. *Ильюшин А. А.* Пластичность. М.-Л. Гостехиздат. 1948. 376 с.

MECHANICS

УДК 239.374

S. M. Sargsyan, academician M. A. Zadoyan

On low stress-state of non-homogeneous compound plates

(Submitted 30/IV 2001)

Within the frames of assumption of classical theory of thin plate bending, the problem of low-stress level [1-3] is considered on the edge of contact surface of compound plate, made of non-compressible, non-homogeneous matters, that are hardening according to a power law. These two matters are fully connected along a cylindrical surface, that is perpendicular to the plate middle plane. We assume that the plate is affected to bending by a transversal loading, and the vicinity of the considered edge is free of external loading.

1. Initial Relations. Using cylindrical coordinate system, in the vicinity of the rib $r = 0$ of wedge-shaped domains, $0 \leq \theta \leq \alpha$, $-h/2 \leq z \leq h/2$, and $-\beta \leq \theta \leq 0$, $-h/2 \leq z \leq h/2$, where h is a plate thickness, parameters are marked with indices $i = 1, 2$ respectively. On the Fig.1 the $z = 0$ plane is shown. It is assumed, that for each matter, between the stress and strain intensities the following power-law relation exists

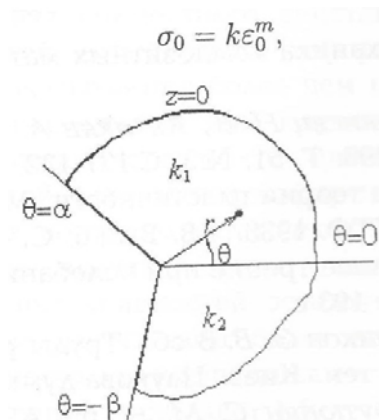


Fig. 1

where $k = k(r, \theta, z)$ is the given spatial coordinate function, that characterises the non-homogeneity of mechanical properties of material and is defined with m out of experiments. It is supposed, that there properties of non-homogeneity are symmetrical relatively to the plate middle

plane $z = 0$. It is also supposed that in the vicinity of $r = 0$ this function expands by its tailor series expansion by powers of r :

$$k = k_0 + rk_1 + r^2k_2 + \dots,$$

where $k_i = k_i(\theta, z)$ are the coefficients of this series.

Neglecting σ_z , transversal shear stresses and corresponding shears, and using incompressibility condition $\varepsilon_r + \varepsilon_\theta + \varepsilon_z = 0$, for moments we obtain

$$\begin{aligned} M_r &= D(\varkappa_r + \frac{1}{2}\varkappa_\theta)\varkappa_0^{m-1}, M_\theta = D(\varkappa_\theta + \frac{1}{2}\varkappa_r)\varkappa_0^{m-1} \\ M_{r\theta} &= \frac{D}{2}\varkappa_{r\theta}\varkappa_0^{m-1}, \varkappa_0 = \sqrt{\varkappa_r^2 + \varkappa_r\varkappa_\theta + \varkappa_\theta^2 + \varkappa_{r\theta}^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

where $D = D_0(\theta) + rD_1(\theta) + r^2D_2(\theta) + \dots$, $D_n(\theta) = \int_0^h k_n(\theta, \frac{z}{2})z^{m+1}dz$, $n=0,1,2,\dots$.

2. Representation of the solution. In each considered domain we look for the plate deflection in the following form

$$w_i = r^{\lambda+1}f_i(\theta, \lambda) \quad (2)$$

where f_i and λ are be-sought functions and parameter, respectively. In the vicinity of $r = 0$, using (2), known strain expressions through curves, and also the curve expressions through deflections, we find

$$\begin{aligned} M_{ri} &= -D_i r^{(\lambda-1)m} \left(\frac{1}{2}f_i'' + \rho f_i \right) X_i \\ M_{\theta i} &= -D_i r^{(\lambda-1)m} (f_i'' + \nu f_i) X_i \\ M_{r\theta i} &= -\frac{D_i}{2} \lambda r^{(\lambda-1)m} f_i' X_i, \quad D_i = D_{i0}(\theta) \end{aligned} \quad (3)$$

where the following assignments are made

$$\begin{aligned} X_i &= \left(\sqrt{f_i''^2 + 2\nu f_i'' f_i + \lambda^2 f_i'^2 + \Delta^2 f_i^2} \right), \\ \rho &= (\lambda+1)(\lambda + \frac{1}{2}), \quad \nu = (\lambda+1)(\frac{\lambda}{2} + 1), \quad \Delta = (\lambda+1)\sqrt{\lambda^2 + \lambda + 1}. \end{aligned}$$

Putting Eq.(3) into the balance differential equations, expressed through moments and shear forces Q_{ri} and $Q_{\theta i}$, we come to the following fourth order ordinary differential equation:

$$D_i(f_i'' + \nu f_i)X_i'' + \eta(D_i f_i' X_i)' + D_i(\delta f_i'' + \mu f_i)X_i = 0 \quad (4)$$

where

$$2\delta = (\lambda-1)m[(\lambda-1)m-1], 2\mu = (\lambda-1)m(\lambda^2-1)[1+(2\lambda+1)m], \eta = \lambda[1+(\lambda-1)m].$$

The tangential shear force, that of an interest is determineds out of the corresponding balance differential equation, that sets relation between $Q_{\theta i}$ and moments

$$Q_{\theta i} = r^{(\lambda-1)m-1} \left\{ [D_i(f_i'' + \nu f_i)X_i]' + \lambda \left[1 + \frac{(\lambda-1)m}{2} \right] D_i f_i' X_i \right\}.$$

Corresponding generalised shear force will be

$$V_{\theta i} = Q_{\theta i} - \frac{\partial M_{r\theta i}}{\partial r} = r^{(\lambda-1)m-1} \left\{ [D_i(f_i'' + \nu f_i)X_i]' + \eta D_i f_i' X_i \right\} \quad (5)$$

For freely supported edges of the plate we have $M_{\theta i} = w_i = 0$ and the boundary condition

$$f_i'' = f_i = 0, \quad \text{when} \quad \theta = \alpha; -\beta \quad (6)$$

On the contact surface the continuity conditions of deflection, inclination angle of deflection, bending moment and generalised shear force should be considered. On the surface $\theta = 0$ we obtain the following conditions:

$$\begin{aligned} f_1 &= f_2, \quad f_1' = f_2', \quad (f_1'' + \nu f_1)X_1 = \gamma(f_2'' + \nu f_2)X_2 \\ [D_1(f_1'' + \nu f_1)X_1]' + \eta D_1 f_1' X_1 &= [D_2(f_2'' + \nu f_2)X_2]' + \eta D_2 f_2' X_2, \quad \gamma = D_2(0)/D_1(0) \end{aligned} \quad (7)$$

The set of differential equations (4) with the boundary-contact conditions (6)-(7) is a three-point eigenvalue problem, that for given values determines λ in dependence of α, β, γ, m , and the character of non-homogeneity of materials.

Considering the inverse problem, giving values $\lambda = \lambda_* < 1$, we find the dependence between the given parameters. In the coordinate plane $\alpha\beta$ it represents curves of the same degree of moment (stress) concentrations. In the case of linearly-elastic non-homogeneous materials, taking $m = 1$, from Eq.(4) we come to the following linear differential equation with varying coefficients

$$f_i^{IV} + 2\frac{D_i'}{D_i}f_i''' + \left[2(\lambda^2 + 1) + \frac{D_i''}{D_i}\right]f_i'' + \frac{D_i'}{D_i}(2\lambda^2 + 3\lambda + 2)f_i' + \left[(\lambda^2 - 1)^2 + (\lambda + 1)\left(\frac{\lambda}{2} + 1\right)\frac{D_i''}{D_i}\right]f_i = 0$$

that for exponential laws of non-homogeneity brings to an equation of constant coefficients.

3. Defining the areas of low-stress level. Condition $\lambda = 1$ defines hyper surface of finite moments, that leaves tracks on the coordinate plane $\alpha\beta$. This family of finite moment curves, that separate domains of low-stress level from moment (stress) concentration domains in dependence of non-homogeneity parameters. Taking in Eq.(4) $\lambda = 1$ and integrating, we obtain

$$\left[D_1(f_i'' + 3f_i)X_i \right]' + D_i f_i' X_i = E_i = \text{const}, \quad (8)$$

$$\text{where } X_i = \left(\sqrt{f_i''^2 + 6f_i''f_i + f_i'^2 + 12f_i^2} \right)^{m-1}. \quad (9)$$

Trough differentiation we find

$$\frac{X_i'}{X_i} = -(1 - m) \frac{(f_i''' + 4f_i')(f_i'' + 3f_i)}{(f_i'' + 3f_i)^2 + f_i'^2 + 3f_i^2} \quad (10)$$

Using (8) and (5), when $\lambda = 1$, we obtain $V_{\theta i} = E_i/r$. Using contact condition for $V_{\theta i}$, we obtain $E_i = E$. In the case $E \neq 0$, making assignment $f_i = \alpha/E^n \psi_i(\theta)$, $n = 1/m$, $\alpha = \text{sign}E$ from Eq.(8), making changes and taking into consideration Eq.(10), we come to the differential equation

Fig.2

The obtained solutions are accompanied by concentration shear forces in the discussed vicinity, However, as it is explained by authors [4-7], it is connected with imperfection of the plate bending theory, and does not play an important role while estimating the joint strength. It is of great interest the investigation of these problems, taking into consideration transversal shear of plates [8-10].

Institute of Mechanics of NAS RA.

Ս. Մ. Սարգսյան, ակադեմիկոս Մ. Ա. Զադոյան

Անհամասեռ-բաղադրյալ սալերի թերլարվածային վիճակը

Սալերի ծոման դասական տեսության հիման վրա ուսումնասիրվում են ճակատային միացությամբ աստիճանային օրենքով ամրապնդվող և անհամասեռ նյութերից կազմված բաղադրյալ սալերի կոնտակտային մակերևույթի եզրում լարվածային վիճակը:

Ընդունվում է, որ նյութի անհամասեռության հատկությունները սիմետրիկ են սալի միջին հարթության նկատմամբ: Սալի փոփոխական կոշտությունը վերածվում է աստիճանային շարքի՝ ըստ շառավղային կոորդինատի, որի հետևանքով մոմենտների և կորությունների կապերի մեջ հանդես են գալիս բևեռային կոորդինատից կախված կոշտության ֆունկցիան: Խնդիրը բերվում է փոփոխական գործակիցներով 2 չորրորդ կարգի ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի՝ համապատասխան եզրային-կոնտակտային պայմաններով:

Գծային-առաձգական նյութերի համար այդ համակարգը բերվում է փոփոխական գործակիցներով գծային հավասարումների համակարգի: Մասնավորապես անհամասեռ նյութերի էքսպոնենցիալ օրենքի դեպքում այդ համակարգը բերվում է հաստատուն գործակիցներով դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի: Ուսումնասիրվում է ազատ հենված եզրային պայմանների դեպքը, որի համար երկրաչափական և ֆիզիկական պարամետրերի տարածության մեջ կառուցված են թերլարվածության գոտիները, որոնք անջատում են լարումների կոնցենտրացիոն գոտիներից:

С. М. Саргсян, академик М. А. Задоян

Малонапряженное состояние неоднородно-составных плит

На основе классической теории изгиба соединенных встык разнородных плит из упрочняющихся по степенному закону неоднородных материалов исследуется напряженное состояние на крае контактной поверхности.

Принимается, что неоднородные свойства материала, симметричны относительно срединной плоскости плиты. Переменная жесткость плиты разлагается в степенной ряд по радиальной координате, в конечном счете в соотношениях моментов и кривизн фигурирует переменная по полярной координате функция жесткости. Задача сводится к системе из двух

обыкновенных нелинейных с переменными коэффициентами дифференциальных уравнений четырех порядков с соответствующими гранично-контактными условиями.

Для линейно-упругих материалов эта система сводится к линейным уравнениям с переменными коэффициентами. В случае экспоненциального закона неоднородности получается система с дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Рассматриваются свободно-опертые граничные условия, для которых в пространстве геометрических и физических параметров построены зоны малонапряженности, отделяющие от зон сильной концентрации напряжений.

Литература

1. *Chobanian K. S.* - Stress in Compound Elastic Bodies. Yerevan, Armenian Academy of Science Publishing House, 1987. 338 p. (in Russian).
2. *Zadoyan M. A.* - Spatial Problems of The Plasticity Theory. M. Nauka. 1992. 384 p. (in Russian).
3. *Zadoyan M. A.* - Russian Academy of Sciences, Docl. AN. 1993. V. 332. No. 3. V. 319-321. (in Russian).
4. *Galyorkin B. G.* - Collection of Works. M. AN SSSR. 1953. V. 2. 438p, (in Russian).
5. *Hartranft R. J., Sih G. S.* - J. Math. Phys. 1968. V. 47, P. 276-291.
6. *Pagano N. J., Sih G. C.* - J. Solids and Structures. 4 (1968), 531 p.
7. *Belubekian E. V.* - DAN ArmSSR. 1969. V. 49. N5, P. 225-232 (in Russian).
8. *Ambartsumian S. A.* - Theory of Anisotropic Plates. M. Nauka. 1987. 360p. (in Russian).
9. *Reissner E.* - Quartely of Appl. Math. 1947. N5, P. 55-68.
10. *Washizu K.* - Variational Methods in Elasticity and Plasticity. M. Mir. 1987. 542 p.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

УДК 539.3

Л. А. Мовсисян

К сдвигу упругих колонн

(Представлено академиком С. А. Амбарцумяном 5/VI 2001)

Как известно, классическое уравнение сдвиговой деформации (и антиплоской задачи) не содержит формы сечения, не говоря уж о том, что, например, в одномерном случае оно одинаковое как для изотропного, так и анизотропных материалов, т. е. коэффициенты анизотропии непосредственно не входят в уравнение движения.

В настоящей статье в первом приближении получено уравнение, которое в определенном смысле лишено этих недостатков. Ход вывода его аналогичен таковому при уточненных теориях изгиба тонких тел, в основу которых положены гипотезы, предложенные в [1-3]. Начиная с пятидесятых годов прошлого века этим теориям уделялось большое внимание, что повидимому, в основном можно объяснить широким практическим применением элементов конструкций, работающих в изгибном режиме. Однако задачи сдвига имеют многочисленные применения, например, при расчете на сейсмоустойкость невысоких сооружений. Для краткости уравнение выводится для одномерного случая (балка — колонна).

1. Пусть стержень — из ортотропного материала, оси координат направлены по главным направлениям упругости, при этом ось Ox — по оси стержня.

Принимая перемещения обычным образом, как и при изгибе

$$U_x = z\varphi(x, t), \quad U_z = w(x, t) \quad (1.1)$$

для напряжений имеем

$$\sigma_x = A_{11}z \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad \sigma_{xz} = A_{55}(\varphi + \frac{\partial w}{\partial x}) \quad (1.2)$$

а осредненные уравнения движения имеют вид

$$\frac{\partial M}{\partial x} = N + \rho I \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial N}{\partial x} = \rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - q(x, t). \quad (1.3)$$

Здесь F — площадь поперечного сечения, а I — момент инерции этого сечения относительно оси, перпендикулярной к плоскости xz .

Принимая

$$\begin{aligned}\varphi &= \alpha\beta^2 \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad w = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \alpha\beta^2 - \frac{1}{a_1^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \Phi, \\ M &= A_{11} I \alpha \beta^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}, \quad N = A_{55} F \left(\frac{\partial^3}{\partial x^3} - \frac{1}{a_1^2} \frac{\partial^3}{\partial t^2} \right) \Phi,\end{aligned}\quad (1.4)$$

систему (1.3) приводим к виду

$$\frac{1}{a_1^2 a_2^2} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial t^4} - \left(\frac{1}{a_1^2} + \frac{1}{a_2^2} \right) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + \frac{\beta^2}{a_1^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = -\frac{1}{A_{55} F} q. \quad (1.5)$$

Здесь

$$a_1^2 = \frac{A_{11}}{\rho}, \quad a_2^2 = \frac{A_{55}}{\rho}, \quad \alpha = \frac{A_{55}}{A_{11}}, \quad \beta^2 = \frac{F}{I}. \quad (1.6)$$

Уравнение сдвиговой деформации получим исходя из дисперсионного уравнения по (1.5). Если искать его решение в виде бегущей волны ($q = 0$), то получится следующее дисперсионное уравнение относительно безразмерной фазовой скорости:

$$\Omega^2 - \Omega[1 + \alpha(1 + \beta^2 k^{-2})] + \alpha = 0, \quad \Omega = \frac{\omega^2}{a_1^2 k^2}. \quad (1.7)$$

Уравнение (1.7) дает две скорости, при этом одна из скоростей (частот) большая, а вторая — маленькая. Рассмотрим предельные случаи:

$$\text{a) } \alpha \rightarrow 0, \quad \text{тогда} \quad \omega'_1 = a_1 k, \quad \omega'_2 = a_2 k \quad (1.8)$$

$$\text{b) } \alpha \rightarrow \infty, \quad \text{тогда} \quad \omega''_1 = \beta a_2, \quad \omega''_2 = a_1 \beta^{-1} k^2.$$

Теперь предположим, что (1.1) принимается при малости размера поперечного сечения по сравнению с длиной объекта (или длиной полуволны). Тогда при $k\beta^{-1} \rightarrow \infty$ и 0 получатся те же соотношения (1.8) и в той же последовательности ($\alpha \rightarrow 0 \Leftrightarrow k\beta^{-1} \rightarrow \infty$, $\alpha \rightarrow \infty \Leftrightarrow k\beta^{-1} \rightarrow 0$).

Так как кривые Ω от $k\beta^{-1}$ не пересекаются, то при $a_1 > a_2 \omega'_1$ переходит в ω'_1 , а ω''_2 — в ω'_2 . При $a_2 > a_1$ же $\omega'_1 \rightarrow \omega'_2$, а $\omega''_2 \rightarrow \omega'_1$. Заметим, что сдвиговая частота — $\omega = a_2 k$ и, следовательно, деформация сдвига при $a_1 > a_2$ даст нижнюю ветвь кривой Ω от $k\beta^{-1}$, а при $a_2 > a_1$ — верхнюю ветвь. Уравнение сдвиговой деформации получим исходя из тех же соображений.

Итак, при $a_1 > a_2$ уравнение сдвига получится из (1.5), если взять нужную ветвь, т.е.

$$\frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} - \left(\frac{1}{a_1^2} + \frac{1}{a_2^2} \right) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\beta^2}{a_1^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0 \quad (1.9)$$

В известных работах по изгибу пластин с учетом поперечных сдвигов например, [1]) при определении частот изгибных колебаний членом инерции вращения обычно пренебрегают. И это объяснимо. Ведь частоты, соответствующие этому члену, больше изгибных. Из (1.9) получается частота

$$\omega^2 = \frac{a_2^2 k^4}{(1 + \alpha)k^2 + \alpha\beta^2}. \quad (1.10)$$

По [1] α в скобках знаменателя отсутствует. Из (1.10) при $k^2 \gg \alpha\beta^2$ получается изгибная частота

$$\omega_1^2 = a_1^2 k^4 \frac{I}{F} \left(1 - \frac{k^2}{\alpha\beta^2}\right), \quad (1.11)$$

а при $k^2 \gg \alpha\beta^2$ – сдвиговая

$$\omega_2^2 = a_2^2 k^2 \left(1 - \frac{\alpha\beta^2}{k^2}\right). \quad (1.12)$$

Следует отметить, что если поправка вследствие уточнения частоты при изгибе с увеличением номера гармоники увеличивается, то сдвиговая частота, наоборот, уменьшается. То же самое относится и к коэффициенту α^{-1} . Для $a_2 > a_1$ сдвиговая модель получится из верхней ветви Ω , т.е.

$$\frac{1}{a_1^2 a_2^2} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial t^4} - \left(\frac{1}{a_1^2} + \frac{1}{a_2^2}\right) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\beta^2}{a_1^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0 \quad (1.13)$$

Из выражений (1.3) и (1.4) видно, что уравнение (1.9) получится, если в выражениях w и N брать подчеркнутые члены (и учитывать, что $\alpha < 1$). Но по тем же соображениям в (1.9) Φ можно заменить w и при этом в качестве главного оставить первый член. Кстати, если при изгибе гипотеза прямых нормалей трактуется как $A_{55} \rightarrow \infty$, то сдвиг можно трактовать как $A_{11} \rightarrow \infty$. Учитывая все приведенные соображения, окончательно для сдвиговой деформации имеем уравнение

$$a_2^2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \alpha\beta^2 w\right) = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \frac{1}{\rho F} q(x, t) \quad (1.14)$$

Случай (1.13) (верхняя ветвь) получится, если выражение w брать полностью, в N брать не подчеркнутый член. Если теперь учесть, что в w главным является инерционный член, и от Φ перейти к w , получим следующее уравнение:

$$a_2^2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \beta^2 w\right) = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \frac{1}{\rho F} q(x, t) \quad (1.15)$$

Случай (1.14) физически более реален, чем (1.15), хотя всегда можно конструировать анизотропию с такими механическими данными ($A_{55} \rightarrow A_{11}$). В работе [4] получено уравнение сдвиговой деформации именно для такого случая (малость изгибающего момента или $a_2 > a_1$).

Как видно из (1.14) и (1.15), при $\beta = 0$ получится классическое уравнение. Учет новых членов в выражениях частот приводит к членам порядка l^2/h^2 (в случае изгиба, наоборот, h^2/l^2). Как и следовало ожидать, если в первом случае учет нового члена приводит к уменьшению частоты, то во втором – наоборот.

2. Если имеется общая анизотропия (с плоскостью симметрии, ортогональной к плоскости xz), в уравнениях движения помимо (1.3) должно быть еще уравнение, учитывающее кручение. Тогда вместо (1.2) следует воспользоваться соотношениями

$$\sigma_x = A_{11}e_x + A_{16}e_{xy}, \quad \sigma_{xz} = A_{45}e_{yx} + A_{55}e_{xz}, \quad (2.1)$$

$$\sigma_{xy} = A_{16}e_x + A_{66}e_{xy}, \quad \sigma_{yz} = A_{44}e_{yx} + A_{45}e_{xz},$$

а к (1.1) прибавится

$$u_x = z\psi(x, t), \quad e_{yz} = \psi, \quad e_{xy} = z \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.2)$$

Окончательно уравнение сдвига примет вид (1.14)

$$\alpha = \frac{A_{11}A_{45}^2 + A_{66}A_{55}^2 - 2A_{45}A_{55}A_{16}}{A_{55}(A_{11}A_{66} - A_{16}^2)} \quad (2.3)$$

Отсюда, в частности, получается ортотропный случай $\alpha = A_{55}/A_{11}$.

3. Уравнения типа (1.14) и (1.15) уже допускают рассмотрение также задач устойчивости. Если предполагать, что колонна сжата осевой силой P , то на основании (1.14) уравнением устойчивости будет:

$$A_{55}F\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \alpha\beta^2 w\right) = P\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.1)$$

При защемленных концах ($w = 0$ при $x = 0$ и $x = l$) из (3.1) получится следующая критическая сила:

$$P_{kp} = A_{55}F\left(1 - \frac{F A_{55}}{I A_{11}} \frac{l^2}{\pi^2}\right) \quad (3.2)$$

4. Уравнение движения колонны, основание которой движется по произвольному закону $w_0(t)$, запишется в виде

$$a_2^2\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \alpha\beta^2 w\right) = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2}. \quad (4.1)$$

Функции, удовлетворяющие краевым условиям ($w = 0$ при $x = 0$ и $\frac{\partial w}{\partial x} = 0$ при $x = l$), суть $\{\sin \frac{(2m-1)\pi x}{2l}\}$, поэтому, если искать

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} f_m(t) \sin \lambda_m x, \quad \lambda_m = \frac{(2m-1)\pi}{2l} \quad (4.2)$$

при нулевых начальных условиях, для неизвестных $f_m(t)$ получим

$$f_m = \frac{2}{l\lambda_m\omega_m} \int_0^t \frac{\partial^2 w_0}{\partial \tau^2} \sin \omega_m(t - \tau) d\tau, \quad (4.3)$$

$$\omega_m^2 = a_2^2(\lambda_m^2 - \alpha\beta^2).$$

Если предполагать, что движение основания осуществляется в виде сейсмического удара [5], то

$$f_m = \frac{2I}{l\lambda_m\omega_m} \sin \omega_m t, \quad I = \int_0^T \frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2} dt, \quad (4.4)$$

откуда и выражение перерезывающей силы

$$N = 2I \frac{A_{55}F}{l} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_m} \sin \omega_m t \cos \lambda_m x \quad (4.4)$$

α	0	0.125	0.25	0.5
$\frac{2l}{\pi a_2} \omega_1$	1	0.935	0.866	0.707
$\frac{a_2}{l} t_{max}$	0.5	0.511	0.523	0.552
$\frac{\pi a_2}{4I} \frac{N_{max}}{A_{55}F}$	0.943	0.958	0.975	1.011

В таблице приведены значения первой частоты, максимальной перерезывающей силы (в сечении $x = 0$) и время, когда достигается этот максимум, в зависимости от α ($\alpha = 0$ соответствует классическому уравнению). Как видно из таблицы, влияние нового члена ($\alpha\beta^2 w$ в уравнении (4.1)) больше всего сказывается на значении частоты (или на периодах колебаний; напомним, что при расчете на сейсмостойкость важным показателем является период колебания сооружений [5]). Такое же влияние будет оказывать β^2 .

Институт механики НАН РА.

Լ. Ա. Մովսիսյան

Առաձգական սյունի սահքի վերաբերյալ

Առաջին մոտավորությամբ ստացված է սահքի դեֆորմացիայի միաչափ խնդրի համար շարժման հավասարում, որի մեջ հաշվի է առնվում ինչպես կտրվածքի ձևն, այնպես էլ անիզոտրոպության բնույթը: Անիզոտրոպության գործակիցների մի հարաբերության համար սեփական հաճախությունները մեծանում են դասականի հետ համեմատած, մյուս դեպքում՝ ընդհակառակը:

Դիտարկված են կայունության և սեյսմիկ հարվածի մոդելային խնդիրներ:

Литература

1. Амбарцумян С. А. - Теория анизотропных пластин. М. Наука. 1967. 266 с.
2. Mindlin R. D. - 7. Appl. Mech. 1951. V. 18. N1. P. 31-38,
3. Naghdi P. M. - Quart. Appl. Math. 1957. V. 14. N14. P. 369-380.
4. Мовсисян Л. А. - Изв. НАН Армении. Механика. 2000. Т. 53. N1 С 13-18.
5. Хачиян Э. Е. - Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. Ереван. Айастан. 1973. 327 с.

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

УДК 539.3.31

С. А. Мелкумян, Д. С. Мелконян

Плоская контактная задача электроупругости для составной полуплоскости

(Представлено академиком Б. А. Абрамяном 22/1 2001)

При конструировании электромеханических преобразователей энергии для ультразвуковых излучателей из пьезокерамических силовых пьезотрансформаторов, искровых пьезогенераторов и т.п. необходимо иметь характеристику сопряженных электроупругих полей в керамике при прямом и обратном пьезоэффекте, а также знать закономерности их изменения. Так, для получения механических напряжений, электрической индукции, напряженности с выведенной особенностью и коэффициента интенсивности, необходимых для описания прочности и закономерности разрушения, необходимо решить краевые задачи электроупругости в соответствии с данным конструктивным элементом.

В настоящей работе получено решение плоской контактной задачи электроупругости для составной полуплоскости. Исследованиям аналогичных задач в теории упругости посвящена работа [1].

Полуплоскость состоит из двух квадрантов, один из которых представляет собой предварительно поляризованную пьезокерамику ($x \geq 0, z \geq 0$), а другой — упругий ортотропный материал ($x \leq 0, z \leq 0$). Оба квадранта жестко сцеплены друг с другом и вдавливается жесткий, гладкий штамп. Рассматривается плоское деформированное состояние

($U_y = 0; \partial U / \partial y = 0, \partial \psi / \partial y = 0$) Предполагается, что направление предварительной поляризации пьезокерамики параллельно линии сцепления квадрантов и совпадает с положительным направлением оси Oz . Принимается, что горизонтальная и вертикальная границы пьезокерамического квадранта имеют короткозамкнутое тонкое электродное покрытие.

Для решения задачи за основные неизвестные принимаем упругие перемещения ($U_x(x, z), U_z(x, z)$) и электростатический потенциал ($\psi(x, z)$). Все величины для пьезокерами-

ческого квадранта при написании обозначим индексом один, а для упругого ортотропного проводника - индексом два.

Решение ищем в виде интегралов Фурье:

$$\begin{aligned}
 U_x^{(1)}(x, z) &= -\frac{1}{c_{44}^E} \int_0^\infty \alpha \bar{U}^{(1)}(\alpha, z) \cos \alpha x d\alpha + \frac{1}{c_{11}^E} \int_0^\infty \beta \bar{U}_*^{(1)}(\beta, x) \cos \beta z d\beta, \\
 U_z^{(1)}(x, z) &= \frac{1}{c_{44}^E} \int_0^\infty \alpha \bar{W}^{(1)}(\alpha, z) \sin \alpha x d\alpha + \frac{1}{c_{44}^E} \int_0^\infty \beta \bar{W}_*^{(1)}(\beta, x) \sin \beta z d\beta, \\
 \psi(x, z) &= -\frac{1}{e_{15}} \int_0^\infty \alpha \bar{\psi}(\alpha, z) \sin \alpha x d\alpha - \frac{1}{e_{15}} \int_0^\infty \beta \bar{\psi}_*(\beta, x) \sin \beta z d\beta, \\
 (0 \leq x < \infty), (0 \leq z < \infty)
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 U_x^{(2)}(x, z) &= \frac{1}{A_{11}} \int_0^\infty \alpha \bar{U}^{(2)}(\alpha, z) \cos \alpha x d\alpha + \frac{1}{A_{11}} \int_0^\infty \beta \bar{U}_*^{(2)}(\beta, x) \cos \beta z d\beta, \\
 U_z^{(2)}(x, z) &= \frac{1}{A_{44}} \int_0^\infty \alpha \bar{W}^{(2)}(\alpha, z) \sin \alpha x d\alpha + \frac{1}{A_{44}} \int_0^\infty \beta \bar{W}_*^{(2)}(\beta, x) \sin \beta z d\beta, \\
 (-\infty < x \leq 0), (0 \leq z < \infty).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Затухающие в бесконечности плотности интегралов Фурье (1), (2) представляются в виде:

$$\begin{aligned}
 \bar{U}^{(1)}(\alpha, z) &= \sum_{j=1}^3 t_j \Delta_1(t_j) A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z}, & \bar{U}_*^{(1)}(\beta, x) &= \sum_{k=1}^3 t_k \Delta_1(t_k) B_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x}, \\
 \bar{W}^{(1)}(\alpha, z) &= \sum_{j=1}^3 \Delta_2(t_j) A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z}, & \bar{W}_*^{(1)}(\beta, x) &= \sum_{k=1}^3 \Delta_2(t_k) B_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x}, \\
 \bar{\psi}(\alpha, z) &= \sum_{j=1}^3 \Delta_3(t_j) A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z}, & \bar{\psi}_*(\beta, x) &= \sum_{k=1}^3 \Delta_3(t_k) B_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x}, \quad (0 \leq x < \infty),
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{U}^{(2)}(\alpha, z) &= \sum_{p=1}^2 \Delta_1^*(t_p^*) C_p(\alpha) e^{-\alpha t_p z}, & \bar{U}_*^{(2)}(\beta, x) &= \sum_{q=1}^2 \frac{\Delta_1^*(t_q^*)}{t_q^{*2}} D_q(\beta) e^{\frac{\beta}{t_q^*} x}, \\
 \bar{W}^{(2)}(\alpha, z) &= \sum_{p=1}^2 \Delta_2^*(t_p^*) C_p(\alpha) e^{-\alpha t_p z}, & \bar{W}_*^{(2)}(\beta, x) &= \sum_{q=1}^2 \Delta_2^*(t_q^*) D_q(\beta) e^{\frac{\beta}{t_q^*} x}, \\
 (-\infty < x \leq 0.)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Определение $\Delta_1(t_j)$, $\Delta_2(t_j)$, $\Delta_3(t_j)$ и t_j дано в работе [2], а $\Delta_1^*(t_p^*)$, $\Delta_2^*(t_p^*)$, и t_p^* в [3].

Пользуясь (1),(2),(3) и уравнением электроупругости в декартовых координатах [4], а также основными соотношениями теории упругости для ортотропного материала [5], выразим все компоненты сопряженного электроупругого и упругого полей соответственно через неизвестные функции интегрирования $A_j(\alpha)$, $B_k(\beta)$ и $C_p(\alpha)$, $D_q(\beta)$, которые определяются из граничных условий:

$$\psi(x, 0) = 0 \quad (0 \leq x < \infty) \quad (5)$$

$$\tau_{zx}^{(1)}(x, 0) = 0 \quad (0 \leq x < \infty), \quad \tau_{zx}^{(2)}(x, 0) = 0 \quad (-\infty < x \leq 0) \quad (6)$$

$$U_z^{(1)}(x, 0) = f_1(x) \quad (0 \leq x \leq a_1), \quad U_z^{(2)}(x, 0) = f_2(x) \quad (-a_2 \leq x \leq 0) \quad (7)$$

$$\sigma_z^{(1)}(x, 0) = f_3(x) \quad (a_1 < x < \infty), \quad \sigma_z^{(2)}(x, 0) = f_4(x) \quad (-\infty < x < -a_2), \quad (8)$$

$$\psi(0, z) = 0 \quad (0 \leq z < \infty) \quad (9)$$

и условий полного контакта квадрантов:

$$U_x^{(1)}(0, z) = U_x^{(2)}(0, z), \quad U_z^{(1)}(0, z) = U_z^{(2)}(0, z) \quad (0 < z < \infty), \quad (10)$$

$$\sigma_x^{(1)}(0, z) = \sigma_x^{(2)}(0, z), \quad \tau_{xz}^{(1)}(0, z) = \tau_{xz}^{(2)}(0, z) \quad (0 < z < \infty). \quad (11)$$

Удовлетворяя условиям (5) и (6), получим:

$$A_j(\alpha) = m_j A_1(\alpha), \quad C_p(\alpha) = m_p^* C_1(\alpha), \quad (12)$$

$$\text{где } m_1 = 1 \quad \text{при } j = 1, \quad m_1^* = 1 \quad \text{при } p = 1,$$

$$m_2 = \frac{a_{21}a_{13} - a_{11}a_{23}}{a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22}} \quad \text{при } j = 2, \quad m_2^* = -\frac{a_{11}^*}{a_{12}^*} \quad \text{при } p = 2,$$

$$m_3 = \frac{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}}{a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22}} \quad \text{при } j = 3, \quad (13)$$

здесь:

$$a_{1j} = \frac{c_{44}^E}{c_{11}^E} t_j^2 \Delta_1(t_j) + \Delta_2(t_j) - \Delta_3(t_j), \quad a_{1p}^* = \frac{A_{44}}{A_{11}} \Delta_1^*(t_p^*) t_p^* + \Delta_2^*(t_p^2). \quad (14)$$

Имея в виду (12) и удовлетворяя условиям (7) и (8), получаем системы из двух парных интегральных уравнений [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^\infty \alpha A_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = \frac{c_{11}^E}{m_{11}} f_1(x) \quad (0 \leq x \leq a_1) \\ \int_0^\infty \alpha^2 A_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = \frac{1}{m_{12}} f_3(x) + \frac{1}{m_{12}} \sum_{k=1}^3 b_{1k} \int_0^\infty \beta^2 B_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} d\beta \quad (a_1 < x < \infty) \end{array} \right. \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^\infty \alpha C_1(\alpha) \sin \alpha x_1 d\alpha = -\frac{A_{44}}{m_{11}^*} f_2(-x_1) \quad (0 \leq x_1 \leq a_2) \\ \int_0^\infty \alpha^2 C_1(\alpha) \sin \alpha x_1 d\alpha = -\frac{f_4(-x)}{m_{12}^*} + \frac{1}{m_{12}^*} \sum_{q=1}^2 b_{1q}^* \int_0^\infty \beta^2 D_q(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_q} x_1} d\beta \quad (a_2 < x_1 < \infty) \end{array} \right. \quad (16)$$

где

$$m_{11} = \sum_{j=1}^3 \Delta_2(t_j) m_j \quad m_{12} = \sum_{j=1}^3 a_{3j} m_j a_{3j} = t_j \left[\frac{c_{13}^E}{c_{11}^E} \Delta_1(t_j) - \frac{c_{33}^E}{c_{44}^E} \Delta_2(t_j) + \frac{e_{13}}{c_{15}} \Delta_3(t_j) \right],$$

$$(j = 1, 2, 3)$$

$$m_{12}^* = \sum_{p=1}^2 a_{2p}^* m_p^* \quad m_{11}^* = \sum_{p=1}^2 \Delta_2^*(t_p^*) m_p^* a_{2p}^* = \frac{A_{13}}{A_{11}} \Delta_1^*(t_p^*) - \frac{A_{33}}{A_{44}} \Delta_2^*(t_p^*) t_p^*,$$

$$(p = 1, 2). \quad (17)$$

Решая "парные" интегральные уравнения (15), (16) методом преобразующих операторов [7], получим:

$$A_1(\alpha) = \frac{2}{\pi\alpha} \int_0^{a_1} \varphi_1(r) J_0(\alpha r) dr + \frac{2}{\pi\alpha} \int_{a_1}^{\infty} r \varphi_3(r) J_0(\alpha r) dr + \frac{2}{\pi\alpha} \int_{a_1}^{\infty} r G_1(r) J_0(\alpha r) dr,$$

$$C_1(\alpha) = \frac{2}{\pi\alpha} \int_0^{a_2} \varphi_2(t) J_0(\alpha t) dt + \frac{2}{\pi\alpha} \int_{a_2}^{\infty} t \varphi_4(t) J_0(\alpha t) dt + \frac{2}{\pi\alpha} \int_{a_2}^{\infty} t G_2(t) J_0(\alpha t) dt, \quad (18)$$

где

$$\varphi_1(r) = \frac{c_{11}^E}{m_{11}^E} \frac{d}{dr} \int_0^r \frac{x f_1(x)}{\sqrt{r^2 - x^2}} dx, \quad \varphi_2(t) = -\frac{A_{44}}{m_{11}^*} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{x_1 f_2(x_1)}{\sqrt{t^2 - x_1^2}} dx_1,$$

$$\varphi_3(r) = \frac{1}{m_{12}} \int_r^{\infty} \frac{f_3(x)}{\sqrt{x^2 - r^2}} dx, \quad \varphi_4(t) = -\frac{1}{m_{12}^*} \int_t^{\infty} \frac{f_4(x_1)}{\sqrt{x_1^2 - t^2}} dx_1,$$

$$G_1(r) = \frac{1}{m_{12}} \sum_{k=1}^3 b_{1k} \int_0^{\infty} \beta^2 B_k(\beta) K_0\left(\frac{\beta}{t_k} r\right) d\beta, \quad G_2(t) = \frac{1}{m_{12}^*} \sum_{q=1}^3 b_{1q}^* \int_0^{\infty} \beta^2 D_q(\beta) K_0\left(\frac{\beta}{t_q} t\right) d\beta, \quad (19)$$

$J_0(\alpha t)$ – функция Бесселя первого рода с действительным аргументом, $K_0(\beta r/t_k)$ – функция Макдональда.

Удовлетворяя условию (9), получим:

$$B_k(\beta) = d_k B_1(\beta) + c_k B_2(\beta), \quad (20)$$

$$\text{где } d_1 = 1, \quad c_1 = 0 \quad \text{при } k = 1,$$

$$d_2 = 0, \quad c_2 = 1 \quad \text{при } k = 2,$$

$$d_3 = -\frac{\Delta_3(t_1)}{\Delta_3(t_3)}, \quad c_3 = -\frac{\Delta_3(t_2)}{\Delta_3(t_3)}, \quad \text{при } k = 3. \quad (21)$$

Учитывая (20) и удовлетворяя условиям (10) и (11) будем иметь систему из четырех уравнений, решая которую, получим:

$$B_k(\beta) = (d_k P_{11} - c_k P_{12}) F_1(\beta) + (-d_k P_{12} - c_k P_{22}) F_2(\beta), \quad (k = 1, 2, 3),$$

$$D_q(\beta) = P_{1q}^* F_1(\beta) + P_{2q}^* F_2(\beta), \quad (q = 1, 2), \quad (22)$$

где

$$\begin{aligned} F_1(\beta) &= \frac{2}{\pi \beta c_{11}^E} \sum_{j=1}^3 f_{1j} \int_0^\infty \frac{\alpha^2 t_j}{\beta^2 + \alpha^2 t_j^2} A_j(\alpha) d\alpha + \frac{2}{\pi \beta A_{11}} \sum_{p=1}^2 f_{1p}^* \int_0^\infty \frac{\alpha^2 t_p^*}{\beta^2 + \alpha^2 t_p^2} C_p(\alpha) d\alpha, \\ F_2(\beta) &= \frac{2}{\pi \beta} \sum_{j=1}^3 n_{1j} \int_0^\infty \frac{\alpha^2 A_j(\alpha)}{\beta^2 + \alpha^2 t_j^2} d\alpha + \frac{2}{\pi \beta} \sum_{p=1}^2 n_{1p}^* \int_0^\infty \frac{\alpha^2 C_p(\alpha)}{\beta^2 + \alpha^2 t_p^2} d\alpha, \end{aligned} \quad (23)$$

Коэффициенты, участвующие в (23), определяются $\Delta_j(t_k)$ и физико-механическими постоянными пьезокерамического материала.

Имея в виду (12) и используя (22), (23) и (19), исключим из (18) $B_k(\beta)$ и $D_q(\beta)$, получив тем самым для определения $A(\alpha)$ и $C(\alpha)$ следующую систему интегральных уравнений Фредгольма второго рода:

$$\begin{cases} A(\alpha) = \Omega_1(\alpha) + \int_0^\infty K_1(\alpha, \gamma) A(\gamma) d\gamma + \int_0^\infty K_2(\alpha, \gamma) C(\gamma) d\gamma, \\ C(\alpha) = \Omega_2(\alpha) + \int_0^\infty K_3(\alpha, \gamma) A(\gamma) d\gamma + \int_0^\infty K_4(\alpha, \gamma) C(\gamma) d\gamma, \end{cases} \quad (24)$$

где $A(\alpha) = \alpha^2 A_1(\alpha)$, $C(\alpha) = \alpha^2 C_1(\alpha)$

$$\begin{aligned} \Omega_1(\alpha) &= \frac{2}{\pi} \alpha \int_0^{a_1} \varphi_1(r) J_0(\alpha, r) dr + \frac{2}{\pi} \alpha \int_0^{a_1} r \varphi_3(r) J_0(\alpha, r) dr, \\ \Omega_2(\alpha) &= \frac{2}{\pi} \alpha \int_0^{a_2} \varphi_2(t) J_0(\alpha, t) dt + \frac{2}{\pi} \alpha \int_0^{a_2} t \varphi_4(t) J_0(\alpha, t) dt, \\ K_1(\alpha, \gamma) &= \frac{4}{\pi^2} \frac{\alpha}{m_{12}} \sum_{k=1}^3 b_{1k} \sum_{j=1}^3 P_{1j}^{(k)} \int_0^\infty \frac{\beta}{\beta^2 + \gamma^2 t_j^2} d\beta \int_{a_1}^\infty r K_0\left(\frac{\beta}{t_k} r\right) J_0(\alpha, r) dr, \\ K_2(\alpha, \gamma) &= \frac{4}{\pi^2} \frac{\alpha}{m_{12}} \sum_{k=1}^3 b_{1k} \sum_{p=1}^2 d_{1p}^{(k)} \int_0^\infty \frac{\beta}{\beta^2 + \gamma^2 t_p^2} d\beta \int_{a_1}^\infty r K_0\left(\frac{\beta}{t_k} r\right) J_0(\alpha, r) dr, \\ K_3(\alpha, \gamma) &= \frac{4}{\pi^2} \frac{\alpha}{m_{12}^*} \sum_{q=1}^2 b_{1q}^* \sum_{j=1}^3 P_{2j}^{(q)} \int_0^\infty \frac{\beta}{\beta^2 + \gamma^2 t_j^2} d\beta \int_{a_2}^\infty t K_0\left(\frac{\beta}{t_q} t\right) J_0(\alpha, t) dt, \\ K_4(\alpha, \gamma) &= \frac{4}{\pi^2} \frac{\alpha}{m_{12}^*} \sum_{q=1}^2 b_{1q}^* \sum_{p=1}^2 d_{2p}^{(q)} \int_0^\infty \frac{\beta}{\beta^2 + \gamma^2 t_p^2} d\beta \int_{a_2}^\infty t K_0\left(\frac{\beta}{t_q} t\right) J_0(\alpha, t) dt. \end{aligned} \quad (25)$$

Доказывается разрешимость системы (24) для пьезокерамики PZT-1[6], Решая (24), определим $A(\alpha)$ и $C(\alpha)$, а далее по формулам (1)-(4) и основным соотношениям теории упругости [5] и электроупругости [4] можно определить все компоненты упругого и сопряженного электроупругого поля в любой точке полуплоскости.

В частности, механические нормальные напряжения, нормальные составляющие электрической индукции и напряженность электрического поля под штампом определяются по формулам [6]:

$$\sigma_z^{(1)}(x, 0) = -\frac{2}{\pi} m_{12} x \left[\frac{-\varphi_1(a_1)}{a_1 \sqrt{a_1^2 - x^2}} + \frac{\varphi_3(a_1)}{\sqrt{a_1^2 - x^2}} + \frac{G_1(a_1)}{\sqrt{a_1^2 - x^2}} + \int_x^{a_1} \frac{[\varphi_1^*(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} + \int_{a_1}^{\infty} \frac{[\varphi_3(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} + \int_{a_1}^{\infty} \frac{[G_1(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} \right] - \sum_{k=1}^3 b_{1k} \int_0^{\infty} \beta^2 B_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} d\beta \quad (0 < x < a_1), \quad (26)$$

$$\sigma_z^{(2)}(x_1, 0) = -\frac{2}{\pi} m_{12} x_1 \left[\frac{-\varphi_2(a_2)}{a_2 \sqrt{a_1^2 - x_1^2}} + \frac{\varphi_4(a_2)}{\sqrt{a_2^2 - x_1^2}} + \frac{G_2(a_2)}{\sqrt{a_2^2 - x_1^2}} + \int_{x_2}^{a_2} \frac{[\varphi_2^*(t)]' dt}{\sqrt{t^2 - x_1^2}} + \int_{a_2}^{\infty} \frac{[\varphi_4(t)]' dt}{\sqrt{t^2 - x_1^2}} + \int_{a_2}^{\infty} \frac{[G_2(t)]' dt}{\sqrt{t^2 - x_1^2}} \right] - \sum_{q=1}^3 b_{1q}^* \int_0^{\infty} \beta^2 D_q(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_q} x_1} d\beta \quad (0 < x_1 < a_2), \quad (27)$$

$$D_z(x, 0) = -\frac{2}{\pi} \frac{e_{15} m_{14}}{c_{11}^E} x \left[\frac{-\varphi_1(a_1)}{a_1 \sqrt{a_1^2 - x^2}} + \frac{\varphi_3(a_1)}{\sqrt{a_1^2 - x^2}} + \frac{G_1(a_1)}{\sqrt{a_1^2 - x^2}} + \int_x^{a_1} \frac{[\varphi_1^*(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} + \int_{a_1}^{\infty} \frac{[\varphi_3(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} + \int_{a_1}^{\infty} \frac{[G_1(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} \right] - \frac{e_{15}}{c_{11}^E} \sum_{k=1}^3 b_{2k} \int_0^{\infty} \beta^2 B_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} d\beta \quad (0 < x < a_1), \quad (28)$$

$$E_z(x, 0) = -\frac{2}{\pi} \frac{m_{14}^*}{e_{15}} x \left[\frac{-\varphi_1(a_1)}{a_1 \sqrt{a_1^2 - x^2}} + \frac{\varphi_3(a_1)}{\sqrt{a_1^2 - x^2}} + \frac{G_1(a_1)}{\sqrt{a_1^2 - x^2}} + \int_x^{a_1} \frac{[\varphi_1^*(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} + \int_{a_1}^{\infty} \frac{[\varphi_3(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} + \int_{a_1}^{\infty} \frac{[G_1(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} \right] + \frac{1}{e_{15}} \sum_{k=1}^3 \Delta_3(t_k) \int_0^{\infty} \beta^2 B_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} d\beta \quad (0 < x < a_1). \quad (29)$$

Из (26)-(29) видно, что на границе зоны контакта жесткого гладкого штампа нормальные механические напряжения, нормальный компонент электрической индукции и напряженность электрического поля сопровождаются значительным увеличением механических и электрических полей, обладающим корневой особенностью. Как показывает численный анализ, проведенный для пьезокерамики марки PZT-4, закономерность изменения нормального механического напряжения под плоским штампом при наличии пьезоэффекта, качественно совпадает с закономерностью изменения тех же величин при его отсутствии. Однако коэффициент интенсивности нормального напряжения количественно больше, чем при отсутствии пьезоэффекта.

Ս. Ա. Մելքումյան, Դ. Ս. Մելքոնյան

**Էլեկտրաառաձգականության կոնտակտային հարթ խնդիրը
բաղադրյալ կիսահարթության համար**

Դիտարկվում է պիեզոկերամիկական և հաղորդիչ օրթոտրոպ քառորդ հարթություններից բաղկացած բաղադրյալ կիսահարթության կոնտակտային խնդիրը: Երբ կիսահարթության եզրում ճնշում է քառորդ հարթությունների միացման գծին ոչ համաչափ դասավորված ողորկ հիմքով կոշտ դրոշմը: Ընդունվում է, որ պիեզո-կերամիկայի նախնական բևեռացման ուղղությունը ուղղահայաց է կիսահարթության եզրին և դրոշմից դուրս ազդում են միայն արտաքին նորմալ լարումներ: Խնդրի լուծումը ամեն մի քառորդ հարթության համար փնտրվում է Ֆուրյեի ինտեգրալների գումարի տեսքով: Ինտեգրման անհայտ ֆունկցիաների որոշումը բերվում է նախ զույգ ինտեգրալ հավասարումներից, ապա Ֆրեդհոլմի երկրորդ սեռի ինտեգրալ հավասարումներից բաղկացած համակարգի լուծման: Ցույց է տրված այդ համակարգի լուծելիությունը: Ստացված են առաձգական և փոխկապակցված էլեկտրաառաձգական դաշտերը բնորոշող մեծությունների հաշվարկային բանաձևերը:

Литература

1. Тоноян В. С., Минасян А. Ф. - Изв. АН АрмССР. Механика. 1979. Т. 32. №3.
2. Мелкумян С. А., Улитко А. Ф. - Прикладная механика. 1987. Т. 23. №19. С. 14-51.
3. Тоноян В. С., Мелкумян С. А. - ДНАН Армении. 1991. Т. 92. №3. С. 133-137.
4. Гринченко В. Т., Улитко А. Ф., Шульга Н. А. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т.5. Электроупругость. Киев. Наукова Думка. 1989. 479 с.
5. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М. Мир. 1982. 334 с.
6. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М. Изд. физ-мат. лит. 1971. 1108 с.
7. Мелкумян С. А. - ДНАН Армении. 1999. Т. 99. №1. С. 84-87.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.313.322.01

Академик Г. Л. Арешян

Решение операторных уравнений потокосцеплений автономного синхронного генератора при набросе нагрузки

(Представлено 22/V 2001)

В работе [1] получена система операторных уравнений потокосцеплений автономного синхронного генератора (СГ) при набросе нагрузки. Система, после исключения потокосцеплений демпферных обмоток и потокосцепления обмотки возбуждения, содержит восемь неизвестных (двух напряжений и шести потокосцеплений) и имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} (p + \omega''_{sd})\Psi_d + \omega_0\Psi_q &= -U_d + U'_f + B''_d; & -\omega_0\Psi_d + (p + \omega'_{sq})\Psi_q &= -U_q + B'_q; \\ (p + \omega_1)\Psi_{d1} + \omega_0\Psi_{q1} &= U_d + p^{-1}B^0_{d1}; & -\omega_0\Psi_{d1} + (p + \omega_1)\Psi_{q1} &= U_q + p^{-1}B^0_{q1}; \\ (p + \omega_2)\Psi_{d2} + \omega_0\Psi_{q2} &= U_d + p^{-1}B^0_{d2}; & -\omega_0\Psi_{d2} + (p + \omega_2)\Psi_{q2} &= U_q + p^{-1}B^0_{q2}; \\ \frac{\Psi_d}{L''_{11}} - \frac{\Psi_{d1}}{L_1} - \frac{\Psi_{d2}}{L_2} &= C''_d + \frac{1}{L'_{21}} \cdot \frac{U_f}{p + \omega'_{ff}}; & \frac{\Psi_q}{L'_{44}} - \frac{\Psi_{q1}}{L_1} - \frac{\Psi_{q2}}{L_2} &= C'_q \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Решение системы (1) получаем, записывая ее в матричном виде.

Введем матрицы-столбцы

$$\left. \begin{aligned} \Psi &= (\Psi_d \Psi_q); & \Psi_1 &= (\Psi_{d1} \Psi_{q1}); & \Psi_2 &= (\Psi_{d2} \Psi_{q2}); \\ U &= (U_d U_q); & B &= (U'_f + B''_d \ B'_q); & B^0_1 &= (B^0_{d1} B^0_{q1}); \\ B^0_2 &= (B^0_{d2} B^0_{q2}); & C &= \left(C''_d + \frac{1}{L'_{21}} \cdot \frac{U_f}{p + \omega'_{ff}} \ C'_q \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

квадратные матрицы операторных частот

$$Q = \begin{bmatrix} p + \omega''_{sd} & \omega_0 \\ -\omega_0 & p + \omega'_{sq} \end{bmatrix}; \quad Q_1 = \begin{bmatrix} p + \omega_1 & \omega_0 \\ -\omega_0 & p + \omega_1 \end{bmatrix}; \quad Q_2 = \begin{bmatrix} p + \omega_2 & \omega_0 \\ -\omega_0 & p + \omega_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

квадратные матрицы обратных индуктивностей

$$F = \left[\begin{array}{cc} \frac{1}{L_{11}''} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_{44}'} \end{array} \right]; F_1 = \left[\begin{array}{cc} \frac{1}{L_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_1} \end{array} \right]; F_2 = \left[\begin{array}{cc} \frac{1}{L_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_2} \end{array} \right]; \quad \left. \vphantom{\begin{array}{c} F \\ F_1 \\ F_2 \end{array}} \right\} \quad (4)$$

Тогда система уравнений в матричном виде будет

$$Q\Psi = -U + B; \quad Q_1\Psi_1 = U + p^{-1}B_1^0; \quad Q_2\Psi_2 = U + p^{-1}B_2^0; \quad (5)$$

$$F\Psi - F_1\Psi_1 - F_2\Psi_2 = C. \quad (6)$$

Для решения этой системы из уравнения (5) определяем

$$\Psi = -Q^{-1}U + Q^{-1}B; \quad \Psi_1 = Q_1^{-1}U + p^{-1}Q_1^{-1}B_1^0; \quad \Psi_2 = Q_2^{-1}U + p^{-1}Q_2^{-1}B_2^0 \quad (7)$$

и подставляем в (6). Получаем

$$\vec{G}U = \vec{I} \quad (8)$$

где обозначены новые матрицы

$$\left. \begin{array}{l} \vec{G} = FQ^{-1} + L_1^{-1}Q_1^{-1} + L_2^{-1}Q_2^{-1}; \\ \vec{I} = FQ^{-1}B - p^{-1}L_1^{-1}Q_1^{-1}B_1^0 - p^{-1}L_2^{-1}Q_2^{-1}B_2^0 - C. \end{array} \right\} \quad (9)$$

При этом было учтено, что (см. уравнение (4))

$$F_1 = \frac{1}{L_1}E; \quad F_2 = \frac{1}{L_2}E; \quad E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Решение для напряжений получаем из (8)

$$U = \vec{R} \cdot \vec{I}, \quad (10)$$

где матрица сопротивлений $\vec{R}$ равна обратной матрице проводимостей $\vec{G}$

$$\vec{R} = (\vec{G})^{-1}, \quad (11)$$

Используя (10), получаем для приращений потокоцеплений (см. уравнение (7))

$$\psi = -Q^{-1}\vec{R} \cdot \vec{I} + Q^{-1}B; \quad (12)$$

$$\psi_1 = Q_1^{-1}\vec{R} \cdot \vec{I} + p^{-1}Q_1^{-1}B_1^0; \quad (13)$$

$$\psi_2 = Q_2^{-1}\vec{R} \cdot \vec{I} + p^{-1}Q_2^{-1}B_2^0. \quad (14)$$

Уравнения (10), (12), (13) и (14) являются решениями системы (1).

Выражения $\Psi_d^0, \Psi_q^0, \dots, \Psi_{d1}^0, \Psi_{q1}^0, \Psi_{d2}^0, \Psi_{q2}^0$, которые входят в уравнения для определения коэффициентов начальных значений B_i^0 , равны, если известны токи:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d^0 &= L_d i_d^0 + M_d^0 i_f^0 + M_d i_D^0; & \Psi_q^0 &= L_q i_q^0 + M_q i_Q^0; \\ \Psi_f^0 &= L_f i_f^0 + M_d i_d^0 + M_d i_D^0; & \Psi_D^0 &= L_D i_D^0 + M_d i_d^0 + M_d i_f^0; \\ \Psi_Q^0 &= L_Q i_Q^0 + M_q i_q^0; & \Psi_{d1}^0 &= L_1 i_{d1}^0; & \Psi_{q1}^0 &= L_1 i_{q1}^0; \\ \Psi_{d2}^0 &= L_2 i_{d2}^0; & \Psi_{q2}^0 &= L_2 i_{q2}^0. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Коэффициенты начальных значений B_i^0 для второго и последующего шагов итераций вычисляются на основе следующих уравнений (см. Работу [1]):

$$\left. \begin{aligned} B_d^0 &= -U_d^0 - \omega_{sd} \Psi_d^0 - \omega_0 \Psi_q^0 + \omega_{sf} \Psi_f^0 + \omega_{sD} \Psi_D^0; \\ B_q^0 &= -U_q^0 + \omega_0 \Psi_d^0 - \omega_{sq} \Psi_q^0 + \omega_{sQ} \Psi_Q^0; \\ B_f^0 &= U_f^0 + \omega_{fd} \Psi_d^0 - \omega_{ff} \Psi_f^0 + \omega_{fD} \Psi_D^0; \\ B_D^0 &= \omega_{Dd} \Psi_d^0 + \omega_{Df} \Psi_f^0 - \omega_{DD} \Psi_D^0; \\ B_Q^0 &= \omega_{Qq} \Psi_q^0 - \omega_{QQ} \Psi_Q^0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} B_{d1}^0 &= U_d^0 - \omega_1 \Psi_{d1}^0 - \omega_0 \Psi_{q1}^0; \\ B_{q1}^0 &= U_q^0 + \omega_0 \Psi_{d1}^0 - \omega_1 \Psi_{q1}^0; \\ B_{d2}^0 &= U_d^0 - \omega_2 \Psi_{d2}^0 - \omega_0 \Psi_{q2}^0; \\ B_{q2}^0 &= U_q^0 + \omega_0 \Psi_{d2}^0 - \omega_2 \Psi_{q2}^0; \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

В уравнения (15)-(17) должны подставляться мгновенные во времени амплитудные значения напряжений, токов и потокосцеплений. Ниже даны выражения для потокосцеплений и начальных коэффициентов B_i^0 для первого шага расчетов переходных процессов для случаев: а) наброса нагрузки на СГ, который находился в режиме холостого хода и б) наброса нагрузки Z_2 на СГ, который работал в стационарном режиме с нагрузкой Z_1 .

а) Наброс нагрузки на СГ при холостом ходе (первый шаг итерации)

Для режима холостого хода из расчета имеем (см. §2.5.2[2])

$$\left. \begin{aligned} U_d^0 &= 0; & U_q^0 &= E_0 = U_N; & i_d^0 &= 0; & i_q^0 &= 0; & i_f^0 &= (\omega_0 M_d)^{-1} E_0; \\ U_f^0 &= r_f i_f^0; & i_{d1}^0 &= i_{q1}^0 = i_{d2}^0 = i_{q2}^0 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

На основе (15) получаем выражения для потокосцеплений для первого момента времени включения нагрузки Z_1 или Z_2 :

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d^0 &= M_d i_f^0; & \Psi_q^0 &= 0; & \Psi_f^0 &= L_f i_f^0; & \Psi_D^0 &= M_d i_f^0; \\ \Psi_Q^0 &= 0; & \Psi_{d1}^0 &= 0; & \Psi_{q1}^0 &= 0; & \Psi_{q2}^0 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

В относительных единицах, когда $\omega_0 = 1$; $U_N = 1$, получаем

$$\Psi_d^0 = 1; \quad \Psi_f^0 = L_f M_d^{-1}; \quad \Psi_D^0 = 1. \quad (20)$$

Все коэффициенты начальных значений самого генератора равны нулю

$$B_d^0 = B_q^0 = B_f^0 = B_D^0 = B_Q^0 = 0. \quad (21)$$

Если подключается нагрузка $Z_1 = pL_1 + r_1$, то принимается

$$B_{d1}^0 = 0; \quad B_{q1}^0 = U_q^0; \quad B_{d2}^0 = 0; \quad B_{q2}^0 = 0. \quad (22)$$

Если подключается нагрузка $Z_2 = pL_2 + r_2$, то принимается

$$B_{d1}^0 = 0; \quad B_{q1}^0 = 0; \quad B_{d2}^0 = 0; \quad B_{q2}^0 = U_q^0. \quad (23)$$

Наброс нагрузки Z_2 при работе СГ в стационарном режиме с нагрузкой Z_1 (первый шаг итерации)

Для стационарного режима СГ с нагрузкой Z_1 имеем из расчета (см. §2.5.2[2]) отличные от нуля

$$U_d^0, \quad U_q^0, \quad U_f^0, \quad E_0, \quad i_d^0, \quad i_q^0, \quad i_f^0, \quad i_{d1}^0 = i_d^0, \quad i_{q1}^0 = i_q^0 \quad (24)$$

и нулевые

$$i_D^0 = 0; \quad i_Q^0 = 0; \quad i_{d2}^0 = 0; \quad i_{q2}^0 = 0, \quad (25)$$

По этим данным на основе уравнения (15) вычисляются все потокосцепления, при этом

$$\begin{aligned} \Psi_d^0 \neq 0, \quad \Psi_q^0 \neq 0, \quad \Psi_f^0 \neq 0, \quad \Psi_D^0 \neq 0, \quad \Psi_Q^0 \neq 0, \quad \Psi_{d1}^0 \neq 0, \quad \Psi_{q1}^0 \neq 0, \\ \Psi_{d2}^0 = 0, \quad \Psi_{q2}^0 = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Все коэффициенты начальных значений генератора и нагрузки Z_1 равны нулю

$$B_d^0 = B_q^0 = B_f^0 = B_D^0 = B_Q^0 = B_{d1}^0 = B_{q1}^0 = 0. \quad (27)$$

Для подключения нагрузки Z_2 принимается

$$B_{d2}^0 = U_d^0; \quad B_{q2}^0 = U_q^0. \quad (28)$$

Полученные решения системы операторных уравнений СГ и представленные аналитические выражения начальных значений потокосцеплений Ψ_i^0 и коэффициентов B_i^0 для случая наброса нагрузки на СГ при холостом ходе и наброса дополнительной нагрузки на уже работающий с другой нагрузкой СГ позволяют рассчитывать переходные процессы в этих двух случаях, используя потокосцепления, а не токи, что представляет определенный интерес и дополняют теорию синхронных генераторов.

Государственный инженерный университет Армении

Ակադեմիկոս Գ. Լ. Արեշյան

Ավտոնոմ սինխրոն գեներատորի հոսքակցումների օպերատորային հավասարումների լուծումը բեռի հավելման դեպքում

Լուծված է 8-րդ կարգի գծայնաին օպերատորային հավասարումների համակարգը սինխրոն գեներատորի լարումների, ինչպես նաև նրա և երկու բեռի շղթաների հոսքակցումների համար:

Տրվում են հավասարումների համակարգ մտած հոսքակցումների և գործակիցների սկզբնական արժեքների վերլուծական արտահայտությունները:

Ստացված լուծումները թույլ են տալիս հետազոտել սինխրոն գեներատորի անցումային պրոցեսները բեռի հավելման դեպքում՝ օգտագործելով ոչ թե հոսանքները, այլ հոսքակցումները:

Литература

1. *Аресян Г. Л.* - ДНАН Армении. 2001. Т. 101. №3. С.
2. *Аресян Г. Л.* - Специальные вопросы теории электрических машин переменного тока. Ереван. Изд-во ГИУА. 1999.

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 536.46

Р. С. Есаян

Параметрический анализ фазового пространства
модели, описывающей осцилляции в системе $CH_3CHO + O_2$

(Представлено академиком И. А. Варданян 7/VIII 2001)

Исследование нелинейной связи и обусловленных ею осцилляционных явлений путем математического моделирования и экспериментального зондирования процессов позволяет определить причины возникновения различных динамических режимов химического превращения [1-6].

Интенсификация химических процессов и увеличение селективности выхода целевого продукта также зависят от установления причин возникновения нестабильностей и автоколебаний в реакциях, осуществляемых в химических агрегатах, так как колебательное поведение системы часто способствует снижению качества продукции, а при большой амплитуде приводит к авариям. Знание механизма колебательного режима работы реактора позволит в таких случаях подавить колебания наиболее экономичным способом. Однако в сложных цепных реакциях колебательное протекание реакции в реакторах может оказаться выгодным и дать больший средний выход промежуточного ценного продукта, чем стационарный режим.

Ранее [7,8] нами была предложена гетерогенно-гомогенная модель окисления ацетальдегида, учитывающая поверхностные процессы и обратную связь, осуществляемую активными центрами системы – радикалами RCO_3 и возбужденным ($CH_2O(v)$) продуктом реакции адсорбированных радикалов RCO_3 . Известно, что формальдегид является ингибитором процесса [9]. Возможность образования возбужденной молекулы формальдегида в реакциях окисления органических соединений отмечается в [10],

На основе этой модели, описывающей осцилляции в системе $CH_3CHO + O_2$, были получены два дифференциальных параметрических уравнения [7,8]:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= K_2x - \frac{Kx}{1 + \alpha x} - k_6xy, \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{Kx}{1 + \alpha x} - k_6xy - K_8y,\end{aligned}$$

где переменными являются $x \equiv [RCO_3]$, $y \equiv [CH_2O(v)]$; а K_2 , α , K , K_8 - параметры, характеризующие поведение системы.

Параметр α связан с процессами как адсорбции ведущих цепь радикалов RCO_3 на поверхности реакционного сосуда, так и с их уводом из-за гетерогенной рекомбинации радикалов. Этот параметр количественно отражает соотношения скоростей процессов адсорбции и реакций радикалов RCO_3 на поверхности реакционного сосуда и может меняться самопроизвольно по ходу процесса из-за модификации поверхности. Величина параметра K_2 представляет собой произведение константы скорости реакции радикалов RCO_3 с молекулами ацетальдегида на концентрацию ацетальдегида. Изменение параметра K_2 характеризует влияние изменения концентрации горючего на ход процесса. Величина параметра K представляет собой произведение константы скорости адсорбции радикалов на полное число активных центров на поверхности. Так, изменение параметра K может характеризоваться изменением числа активных центров на поверхности. k_6 представляет собой константу скорости ингибирования реакции окисления ацетальдегида. Величина параметра K_8 представляет собой произведение скорости дезактивации колебательно-возбужденных молекул формальдегида при объемных столкновениях на концентрацию инертных молекул. Изменение параметра K_8 характеризуется скоростью релаксации вследствие возможного изменения давления атмосферного газа, флуктуации числа радикалов в системе или накопления промежуточного продукта.

Параметрический анализ этой модели окисления ацетальдегида подтвердил возможность возникновения концентрационных колебаний при участии гетерогенных стадий [8]. Исследование фазового портрета системы показало, что параметры α , K_2 , K , K_8 могут быть бифуркационными. Оказалось, что система более чувствительна к изменениям K_2 , K и α . Изменение K_8 сильно влияет на амплитуду, частоту колебаний и число пульсаций в системе.

Целью настоящей работы является исследование фазового портрета системы $CH_3CHO + O_2$, в частности изменение стационарного значения концентраций RCO_3 и $CH_2O(v)$ в пространстве параметров $(\alpha; K_2)$, $(\alpha; K)$ и $(\alpha; K_8)$ для установления влияния взаимосвязи пары характерных параметров на устойчивость системы.

Исследовано изменение стационарного значения RCO_3 и $CH_2O(v)$ в вышеназванных плоскостях. На графиках приведены контурные картины зависимостей концентраций RCO_3 и $CH_2O(v)$ от набора параметров $(\alpha; K_2)$, $(\alpha; K)$ и $(\alpha; K_8)$. По горизонтальной оси x на всех графиках представлены значения α в пределах, от 10^{15} до $2 \times 10^{15} \text{ см}^3 \times \text{молек}^{-1}$. По вертикальной оси y отложены значения параметров K_2 , K и K_8 соответственно.

Рис.1, а демонстрирует поведение концентрации радикалов RCO_3 в плоскости $(\alpha; K)$ вблизи стационарной точки типа неустойчивого "фокуса". Интерес представляло поведение системы в интервале параметра K от 15 до 25 с^{-1} . Как видно из рисунка, два пика с максимальным значением концентрации радикалов ($\approx 1.1 \times 10^{13} \text{ молек} \times \text{см}^{-3}$) приходится на интервал $K = 17-18 \text{ с}^{-1}$ и $\alpha = 10^{15} - 4 \times 10^{-15} \text{ см}^3 \times \text{молек}^{-1}$. В этом диапазоне концентрация $CH_2O(v) \approx 1.6 \times 10^{14} \text{ молек} \times \text{см}^{-3}$.

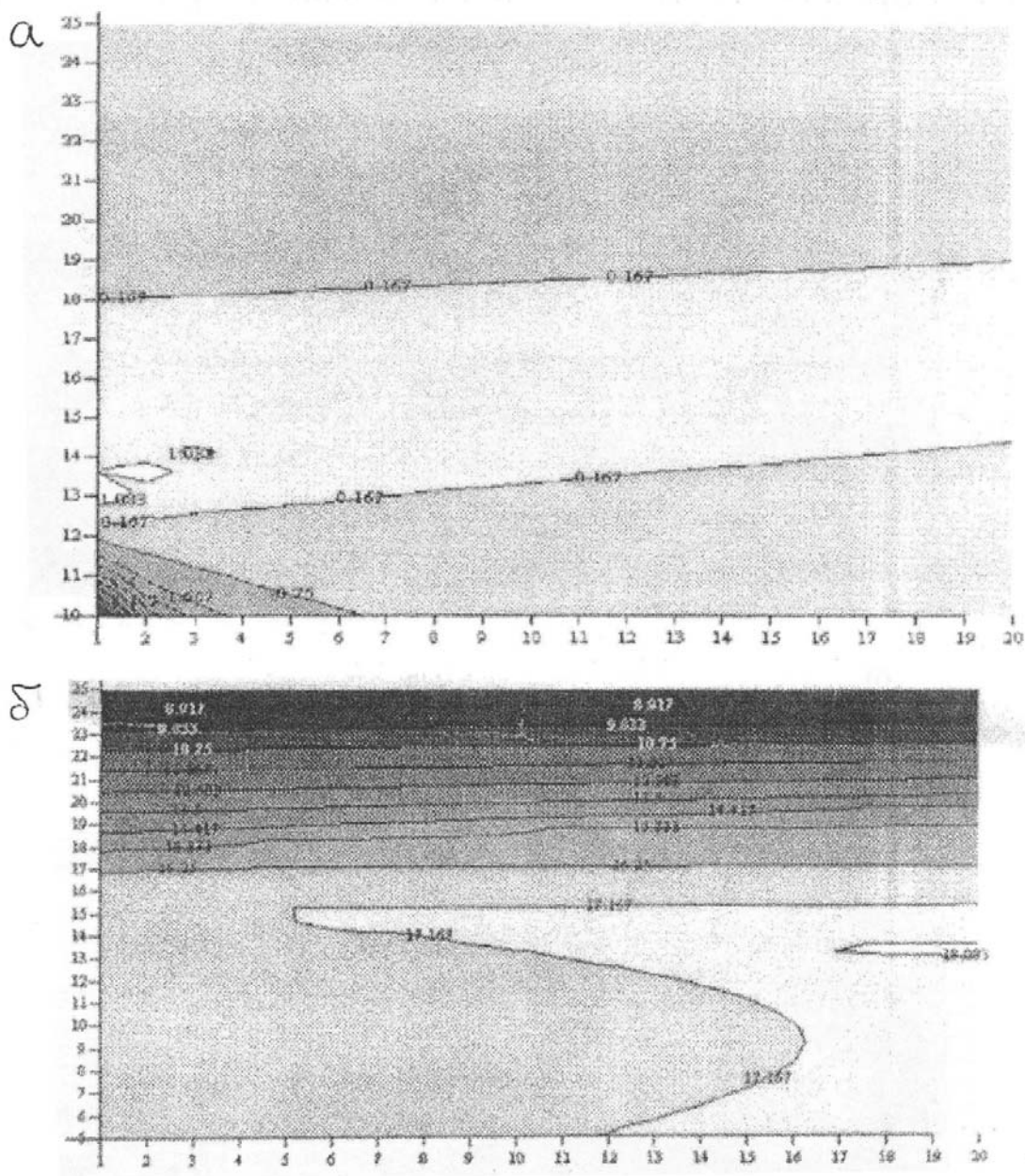


Рис. 1. Фрагмент фазового пространства концентраций RCO_3 (а) и $CH_2O(v)$ (б) в зависимости от $(\alpha; K)$ вблизи стационарной точки.
 $\alpha = 10^{-15} - 2 \times 10^{-14} \text{ см}^3 \text{ молек}^{-1}$ (ось X) и $K = 10-25 \text{ с}^{-1}$ ось Y);
 $[RCO_3] = N \times 10^{13} \text{ молек}^1 \times \text{см}^{-3}$ и $[CH_2O(v)] = N \times 10^{13} \text{ молек}^1 \times \text{см}^{-3}$.

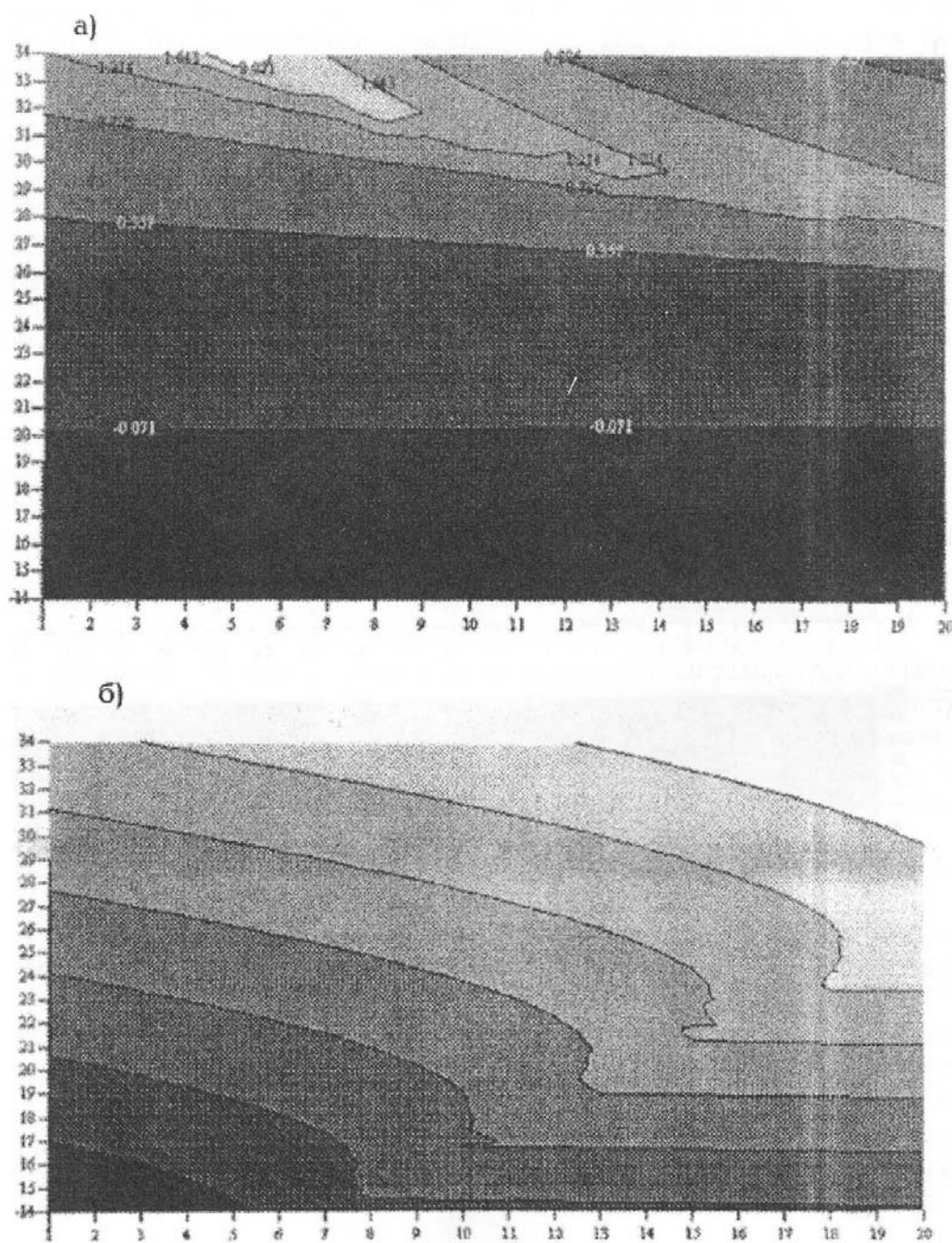


Рис. 2. Фрагмент фазового пространства концентраций RCO_3 (а) и $CH_2O(v)$ (б) в зависимости от $(\alpha; K_2)$ вблизи стационарной точки, $\alpha = 10^{-15} - 2 \times 10^{-14} \text{ см}^3 \times \text{молек}^{-1}$ (ось X) и $K_2 = 14-34 \text{ с}^{-1}$ ось Y) $10^{13} \text{ молек}^1 \times \text{см}^{-3}$; $[RCO_3] = N \times 10^{13} \text{ молек}^1 \times \text{см}^{-3}$ и $[CH_2O(v)] = N \times 10^{13} \text{ молек}^1 \times \text{см}^{-3}$.

$\times \text{см}^{-3}$. Как видно, небольшое увеличение концентрации $\text{CH}_2\text{O}(v)$ приводит к резкому (≈ 5 раз) уменьшению концентрации радикалов.

На рис. 2, а представлено поведение радикалов RCO_3 в плоскости $(\alpha; K_2)$ вблизи предельного цикла. Параметр K_2 варьировался в интервале от 14 до 34с^{-1} . Заметим, что максимальный пик приходится на область $K_2 = 33 - 34 \text{с}^{-1}$ и $\alpha = 3 \times 10^{-15} - 6 \times 10^{-15} \text{см}^3 \times \text{молек}^{-1}$, что соответствует наибольшему значению концентрации RCO_3 в системе ($\approx 2.07 \times 10^{13} \text{молек} \times \text{см}^{-3}$). В этой области концентрация ингибитора составляет ($\approx 3 \times 10^{14} \text{молек} \times \text{см}^{-3}$).

Рис. 2, б отражает поведение ингибитора системы плоскости $(\alpha; K_2)$. Изменение концентрации формальдегида сильнее зависит от модификации поверхности, чем от концентрации горючего. Так, например, максимальное значение ингибитора составляет и $\approx 3.1 \times 10^{14} \text{молек} \times \text{см}^{-3}$, в то время как концентрация радикалов в этой точке и $\approx 0.3 \times 10^{13} \text{молек} \times \text{см}^{-3}$. Концентрация ингибитора увеличивается даже при очень незначительном увеличении α без заметного расхода горючего.

Весьма интересным является влияние параметра K_8 на динамику системы. На рис. 3, а, б показано поведение величин стационарных концентраций активных центров и ингибитора соответственно в плоскости $(\alpha; K_8)$. Параметр K_8 изменялся в интервале от 0.1 до 5с^{-1} . На графике, отражающем поведение концентрации радикалов (рис. 3, а), заметны два равносильных максимальных пика в интервале $K_8 = 4.5 - 5.5 \text{с}^{-1}$ и $\alpha = 1.5 \times 10^{-15} - 2 \times 10^{-15} \text{см}^3 \times \text{молек}^{-1}$. В этом диапазоне концентрация формальдегида $\approx 1.1 \times 10^{14} \text{молек} \times \text{см}^{-3}$. Очень необычным представляется поведение $\text{CH}_2\text{O}(v)$ в указанной плоскости. Такое множество экстремальных точек в столь небольшом интервале говорит о сильной зависимости поведения системы от α и K_8 . Анализ фазовой плоскости полуэмпирическим методом не смог бы предсказать такое поведение системы в фазовом пространстве параметров. Максимальное значение концентрации ингибитора составляет $\approx 1.1 \times 10^{13} \text{молек} \times \text{см}^{-3}$, где концентрация ведущих цепь радикалов принимает значение $\approx 1.7 \times 10^{13} \text{молек} \times \text{см}^{-3}$. Отсюда можно, заключить, что незначительное увеличение концентрации ингибитора приводит к резкому уменьшению ($\approx$ в 4 раза) концентрации активных радикалов, а следовательно и скорости всего процесса окисления.

Таким образом, из полученных данных следует, что существуют критические значения концентрации ингибитора, небольшое превышение которых приводит к резкому уменьшению концентрации ведущих цепь радикалов, а следовательно и к уменьшению скорости всего процесса в целом.

Исходя из того, что альдегиды (в частности, ацетальдегид) являются промежуточным звеном в реакциях окисления углеводородов, подобный анализ позволит подобрать оптимальные режимы их проведения и тем самым усовершенствовать промышленную технологию таких процессов.

Автор благодарит Г. Н. Саргсяна и И. А. Варданян за постановку работы и обсуждение результатов.

Ռ. Ս. Եսայան

$CH_3CHO + O_2$ համակարգի տատանումները նկարագրող մոդելի ֆազային տարածության պարամետրական անալիզը

Կատարված է $CH_3CHO + O_2$ համակարգի կոնցենտրացիոն տատանումները նկարագրող հոմոգեն-հետերոգեն մոդելի ֆազային տարածության պարամետրական անալիզը:

Պարզված են ռեակցիայի ակտիվ կենտրոնների՝ RCO_3 ռադիկալների և ինհիբիտորի $CH_2O(v)$ -ի կոնցենտրացիաների վրա պարամետրերի ազդեցության օրինաչափությունները:

Հետազոտվել է $CH_3CHO + O_2$ համակարգի ֆազային հարթությունը $(\alpha; K_2)$, $(\alpha; K)$ և $(\alpha; K_8)$ տարածություններում: Նշված են ռեակցիայի օպտիմալ ռեժիմի ընտրման պայմանները:

Литература

1. Жаботинский А. М. Концентрационные автоколебания. М. Наука 1974.
2. Франк-Каменецкий Д. А. - ДАН СССР. 1939. Т. 25. С. 67.
3. Грей П., Скотт С. К. Изотермические колебания и релаксационные вспышки в газофазных реакциях: Окисление монооксида углерода и водорода. 1984.
4. Гриффите Дж. Термокинетические колебания при гомогенном газофазном окислении. 1984.
5. Noyes R. M. - J. Phys. Chem. 1990. V. 94. P. 4404.
6. Mantashyan A. A. - Арм. хим. журн. 1996. Т. 49. N4. С. 107.
7. Саргсян Г. Н. - ДНАН Армении. 1995. Т. 95. N3. С. 162-167.
8. Sargsyan G. N., Yessayan R. S., Vardanyan I. A. - APPLIED Catalysis A; General 203. P. 285-291. 2000.
9. Dixon D. J., Skirrow G., Tipper C. F. H. - Far. Trans. 1974. V. 1(6) P 1078.
10. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах. 1968.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 631.316.4.31/2307

Академик К. В. Александрян

**Определение параметров и режимов работы предохранительных
устройств машин при их столкновении с препятствиями**

(Представлено 15/V 2001)

Работа сельскохозяйственных, лесомелиоративных и строительно-дорожных машин на каменистых землях сопровождается частыми поломками и выходом из строя рабочих органов и деталей. Для обеспечения их нормальной работы применяются предохранительные устройства различного принципа действия. Однако все эти устройства мало эффективны при резком, мгновенном возрастании сопротивления, например при столкновении рабочих органов с камнями. На каменистых почвах применение предохранителей связано с потерями времени из-за частых отключений и приостановок. Особую актуальность приобретает выбор предохранительных устройств и оснащение ими машин для Армении. На протяжении многих лет в АрмНИИМЕСХ был разработан и внедрен ряд конструкций предохранительных устройств для различных групп машин. В настоящей статье рассматривается конструкция предохранителя для рыхлителей, наиболее часто используемого в перечисленных отраслях (рис.1).

Для предотвращения поломок рабочих органов и деталей машин при встрече с препятствиями и при резком возрастании тягового сопротивления применяются предохранительные устройства различного принципа действия, конструктивно отличающиеся для машин разных групп.

На рис.1 приведены схемы предохранительных устройств для культиваторов и рыхлителей (описание конструкций и работы приведено в [1–4]).

Основными параметрами при выборе предохранительных устройств являются:

– время t обхода препятствия, зависящее от размеров камней a и b , длины поводка r , высоты стойки h , расстояния от стойки до конца лапы c и скорости агрегата V_M ; угол φ поворота поводка CD под действием возмущающей силы вокруг D , величина которого зависит от конструктивных параметров рабочего органа и размеров препятствия; Δl – деформация пружины предохранительного устройства.

Эти параметры определяются из

$$t = \frac{1}{V_M} \left[c + b - r + \sqrt{h^2 + (r - c)^2 - (h - a)^2} \right], \quad (1)$$

$$\varphi = \arcsin \frac{h \sqrt{h^2 + (r - c)^2 - (h - a)^2} - (h - a)(r - c)}{h^2 + (r - c)^2}, \quad (2)$$

$$\Delta\lambda = 2\sqrt{(r - r_0)^2 + H^2} \sin \frac{\varphi}{2} \cos\left(\alpha + \frac{\varphi}{2} + \frac{H}{r + r_0}\right), \quad (3)$$

где H - расстояние от оси поворота до верхнего конца пружины, r_0 - расстояние от оси поворота до верхней точки крепления пружины в горизонтальной плоскости.

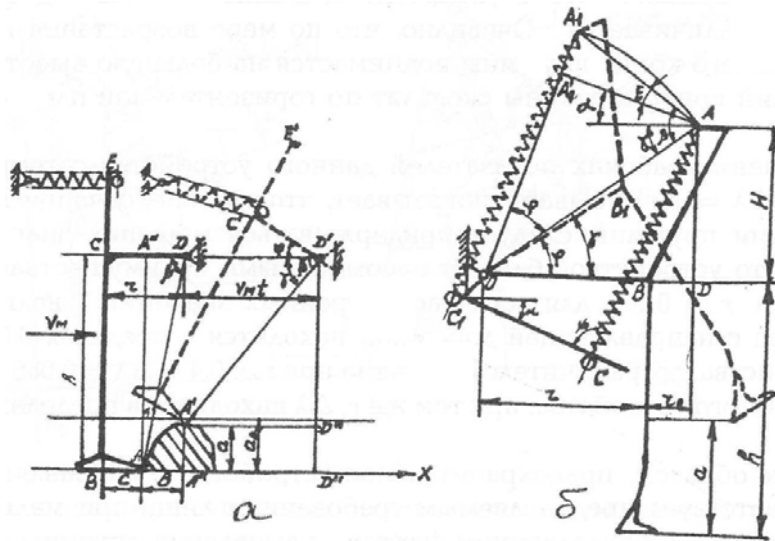


Рис. 1.

Анализ зависимостей $t = f(r, h, b)$ позволяет установить, что с увеличением r и V_M время обхода препятствия уменьшается, а увеличение размеров a и b приводит к увеличению t и, следовательно, к ухудшению процесса обработки почвы. Из графиков зависимости φ от r (рис.2) видно, что увеличение длины r поводка способствует уменьшению, а увеличение высоты препятствия - увеличению угла φ . Следовательно, для уменьшения угла поворота поводка при встрече рабочего органа с препятствием необходимо придерживаться больших значений r .

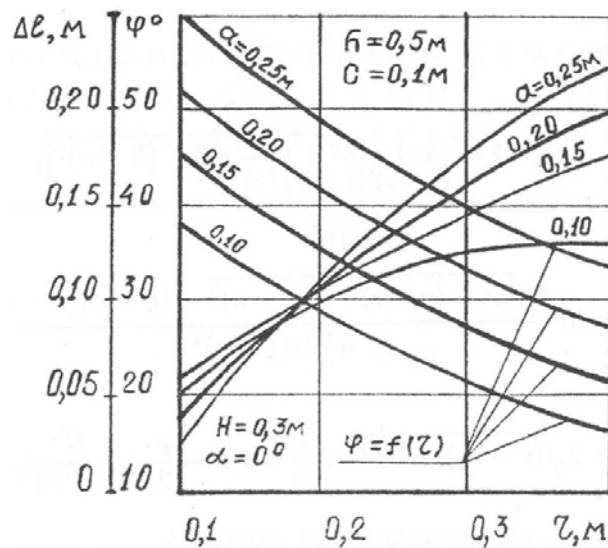


Рис. 2

После совместного решения уравнений (2) и (3) получены зависимости деформации пружины от параметров рабочего органа и препятствия, анализ которых показывает, что с увеличением длины поводка r деформация Δl пружины увеличивается. Очевидно, что по мере возрастания r точка крепления верхнего конца пружины поднимается на большую высоту, в то время как нижний конец пружины скользит по горизонтальной плоскости, так как $\alpha = 0$.

Сравнение рабочих показателей данного устройства с теми, у которых функция $\Delta l = f(r)$ убывает, показывает, что для обеспечения минимальной деформации пружины следует придерживаться меньших значений r , при которых это устройство обладает несомненными преимуществами. Так, например, при $r = 0.1$ м для всех рассмотренных значений α величина Δl для устройства с направляющей дорожкой находится в пределах $0.022 \sim 0.059$ м; для устройства с ограничителем подъема при $r = 0.4$ м $\Delta l = 0.066 \sim 0.104$ м, для производимого устройства, при том же r , Δl находится в пределах $0.109 \sim 0.262$ м,

Таким образом, предохранительное устройство с направляющей дорожкой соответствует предъявляемым требованиям лишь при малых значениях длины поводка. Определяющим фактором выявления оптимальных значений r является угол α наклона направляющей дорожки. Так, при $\alpha = 20^\circ$ величина Δl для всех значений α находится в пределах $0.068 \sim 0.077$ м, а при $\alpha = 30^\circ$ этот предел составляет $0.017 \sim 0.039$ м.

Предохранительное устройство с направляющей дорожкой благодаря как простоте конструкции, так и обеспечению минимальной деформации пружины является более эффективным для обеспечения надежности работы рабочего органа.

Устойчивость движения при обработке земель с каменистыми включениями зависит от условий эксплуатации, вида навески и способа крепления рабочих органов к раме машины. Особо отрицательным фактором является жесткое соединение рабочих органов с рамой, в результате продольных и поперечных колебаний трактора при встрече рабочих органов с камнями приводящее к нарушению глубины обработки по всей ширине захвата машины, а в ряде случаев и полному выглублению рабочих органов. При этом продольная составляющая

тягового сопротивления R_x смещается относительно продольной оси трактора на расстояние λ . Результирующая сила P от возникших поворачивающих моментов образует момент P_m , под действием которого трактор отклоняется от заданного направления движения.

Машинам с жестким креплением рабочих органов присущи и другие недостатки, как поломки и деформация рабочих органов и узлов, снижающие надежность и производительность машины.

Очевидно, что одним из путей повышения устойчивости машин при обработке каменистых земель является оснащение каждого рабочего органа индивидуальным предохранительным устройством, обеспечивающим автоматический обход препятствия.

При этом положение всех точек устройства можно определить только углом φ поворота поводка, в результате чего данное устройство представляет собой систему с одной степенью свободы, а угол φ можно принять за обобщенную координату (рис.3).

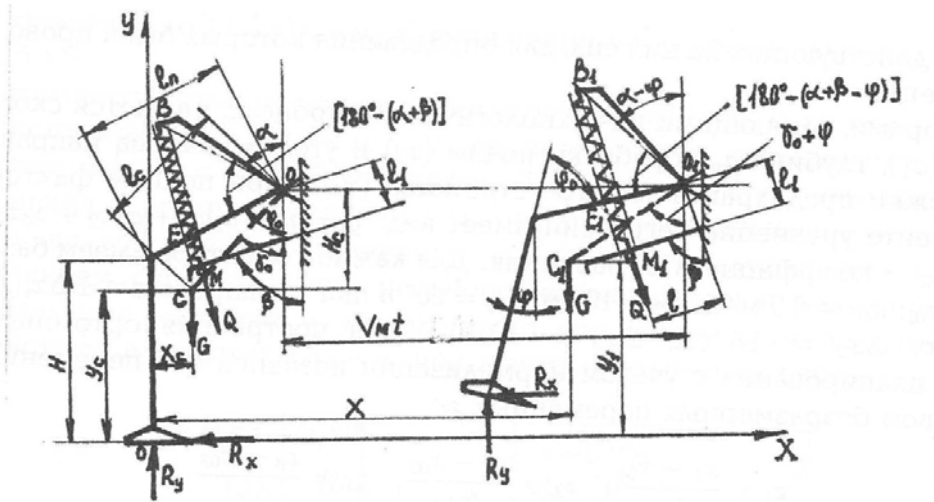


Рис. 3

Определяющими при этом являются координаты центра тяжести устройства в рабочем положении:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \lambda_n \sin \varphi_0 - \lambda_c \sin \gamma_0 \\ y_0 &= H + \lambda_n \cos \varphi_0 - \lambda_c \cos \gamma_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где λ_n — длина поводка, H — высота стойки, λ_c — расстояние от точки прицепа до центра тяжести рабочего органа, φ_0 — угол наклона поводка к вертикали в рабочем положении, γ_0 — угол наклона линии, соединяющей точку прицепа с центром тяжести рабочего органа, к вертикали.

Суммарный момент приложенных к рабочему органу сил относительно точки крепления его к раме машины определяется из

$$L_k = a_1 \cos \varphi - a_2 \sin \varphi + a_3 \cos 2\varphi - a_4 \sin 2\varphi, \quad (5)$$

где φ — угол перемещения поводка,

$$a_1 = R_x(H + \lambda_n \cos \varphi_0) + R_y \lambda_n \sin \varphi_0 - G \lambda_c \sin \gamma_0 - \frac{1}{2} k \lambda_B^2 \sin^2(\alpha + \beta), \quad (6)$$

$$a_2 = R_x \lambda_n \sin \varphi_0 - R_y(H + \lambda_n \cos \varphi_0) + G \lambda_c \cos \gamma_0 + k \lambda_B^2 \sin^2(\alpha + \beta), \quad (7)$$

$$a_3 = \frac{1}{2}k\lambda_B^2 \sin 2(\alpha + \beta), \quad (8)$$

$$a_4 = \frac{1}{2}k\lambda_B^2 \cos 2(\alpha + \beta), \quad (9)$$

где R_x и R_y – горизонтальная и вертикальная составляющие силы сопротивления грунта, действующие на рабочий орган; λ – расстояние от точки поворота до оси пружины; λ_B – длина рычага.

Величина угла φ поворота поводка

$$\varphi = \frac{a_1 + a_3}{a_2 + 2a_4} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{a_2 + 2a_4}{J_4} t} \right), \quad (10)$$

Полученное выражение (10) с учетом (6) - (9) позволяет определить угол отклонения рабочего органа в вертикальной плоскости в зависимости от конструктивных параметров рабочего органа, предохранительного устройства и действующих на них сил, для определения которых были проведены эксперименты.

Факторами, влияющими на технологический процесс, являются скорость агрегата (x_1), глубина a_p обработки почвы (x_2) и угол α наклона направляющей дорожки предохранительного устройства (x_3). При полном факторном эксперименте уравнение регрессии имеет вид: $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$, где a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты уравнения. Для каждого фактора имеем базовый уровень x_{0i} : $x_{01} = 0.9$ м/с; $x_{02} = 10$ см; $x_{03} = 20^\circ$ и шаг варьирования $\pm \Delta x_i$ ($\Delta x_1 = \pm 0.31$ м/с; $\Delta x_2 = \pm 5$ см; $\Delta x_3 = \pm 10^\circ$). Для построения ортогональной матрицы планирования с учетом нормализации независимых переменных x_i посредством безразмерных переменных z_i :

$$z_1 = \frac{x_1 - x_{01}}{\Delta x_1}, \quad z_2 = \frac{x_2 - x_{02}}{\Delta x_2}, \quad z_3 = \frac{x_3 - x_{03}}{\Delta x_3} \quad (11)$$

Нормализованное уравнение регрессии имеет вид

$$y = b_0 + b_1z_1 + b_2z_2 + b_3z_3,$$

где b_0, b_1, b_2 и b_3 – коэффициенты уравнения.

Коэффициенты b_i определяются из

$$b_i = \sum_{j=1}^N z_j \bar{y}_j, \quad (12)$$

где $\bar{y}_j$ – среднеарифметические значения тягового сопротивления для каждого опыта; N – количество опытов.

Подставив значения коэффициентов b_i в (11), получим

$$y = 7.9463 + 1.6763z_1 + 3.5088z_2 - 1.3763z_3. \quad (13)$$

С учетом z_1, z_2 и z_3 из (11) и (13) имеем

$$y = -1.1864 + 5.4074x_1 + 0.7018x_2 - 0.1376x_3 \quad (14)$$

или

$$y = -1.1864 + 5.4074V + 0.7018a_p - 0.1376\alpha \quad (15)$$

Анализ уравнения в виде $P = f(\alpha)$, $P = f(V)$ и $P = f(a_p)$ показывает, что $P = f(V)$ и $P = f(a_p)$ возрастают, а $P = f(\alpha)$ убывает. Для исследованных случаев наибольшее сопротивление машины составило до 13 кН. При рыхлении снижение сопротивления агрегата с предохранительным устройством наблюдалось при $V = 0.9$ м/с и угле $\alpha = 20^\circ$. Результаты опытов при жестком креплении нижних концов пружин к направляющим дорожкам и жестком креплении стоек $P = f(a_p)$ приведены на рис. 4. Заметно, что с увеличением a_p P увеличивается для всех трех случаев. Причем наибольшие его значения имеют место при жестком креплении стоек к раме (линия 3), а наименьшие — к предохранительным устройствам (линия 1). При $a_p = 15$ см сопротивление рыхлителя с жестко закрепленными стойками составляет 15.5 кН. Крепление стоек с неподвижными нижними концами пружин уменьшает сопротивление до 13.6 кН, а при применении предохранительного устройства до 11.6 кН.

Результаты показывают, что амплитуда колебаний P от среднеарифметического значения для всех случаев неодинакова, что свидетельствует о различии нагрузок на рабочий орган. Из значений среднеквадратического отклонения σ_p сопротивления и его графических зависимостей от глубины (рис.4) видно, что с увеличением a_p σ_p увеличивается, что связано с увеличением сопротивления, неоднородностью почвы и наличием камней. Минимальные значения σ_p имеют место при работе с предохранительным устройством, а максимальные — при жестком креплении рабочего органа.

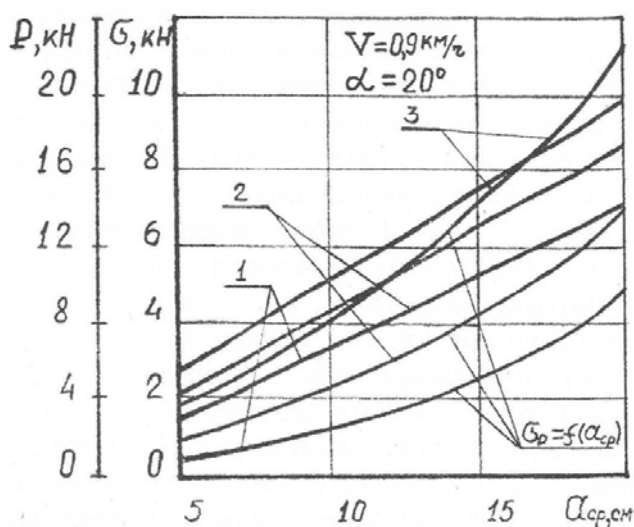


Рис. 4

Таким образом, предохранительное устройство с направляющей дорожкой снижает сопротивление и его среднеквадратическое отклонение и повышает надежность машин.

Ակադեմիկոս Կ. Վ. Ալեքսանդրյան

Մեքենաների ապահովիչ սարքերի պարամետրերի և աշխատանքի ռեժիմների որոշումը խոչնդոտների հետ բախման դեպքում

Դիտարկված են քարքարոտ հողերի պայմաններում աշխատող մեքենաների համար ապահովիչ սարքերի կառուցվածքի հիմնավորման, նրանց հիմնական պարամետրերի հաշվարկման հարցերը խոչնդոտների հետ բախման և հաղթահարման դեպքում:

Բերված են առաջարկված ապահովիչ սարքերի կառուցվածքային սխեմաները և նրանց փորձարկման արդյունքները գրաֆիկների տեսքով:

Литература

1. А. С. СССР N 828997. Предохранительное устройство к рабочим органам для обработки почвы. БИ. 1981, N18.
2. А. С. СССР N 869592 Предохранительное устройство к рабочему органу почвообрабатывающей машины. БИ. 1981. N87.
3. А. С. СССР N 387642 Навесная однокорпусная глубокопахотная машина. БИ. 1973. N28.
4. А. С. СССР N 1752212 Предохранительное устройство к рабочим органам почвообрабатывающей машины БИ. 1992. N29.

МЕДИЦИНА

УДК 616-018; 616.45; 615:083-08

Л. А. Авакян, Г. Г. Арцруни

**Ультразвуковая характеристика мозгового вещества
надпочечников крыс в различные сроки после воздействия
внешнего электростатического поля**

(Представлено академиком М. А. Давтяном 12/VII 2001)

Ранее нами было показано, что воздействие электростатического поля (ЭСП) напряженностью 200 кВ/м в течение часа, суток и 6 суток по 6 ч ежедневно приводит к изменениям клеток и микроциркуляторного русла мозгового вещества надпочечников [1–3]. Наиболее существенные субмикроскопические изменения наблюдались после суточного воздействия ЭСП. Однако вопрос о том, обратимы ли наблюдаемые изменения и как происходит восстановление, остается открытым.

Целью данной работы является изучение ультраструктуры мозгового вещества надпочечников крыс в различные сроки после действия ЭСП.

Опыты проводились на белых беспородных крысах массой 130–150 г. ЭСП напряженностью 200 кВ/м создавали при помощи установки конденсаторного типа с контролируемыми параметрами поля [4]. Исследовали мозговое вещество надпочечников через 1, 4 и 7 дней после суточного воздействия ЭСП. Для каждой экспозиции использовались 5 – 6 животных, которых забивали декапитацией. Во избежание влияния циркадных ритмов все заборы проводились в одно и то же время суток. Кусочки из мозгового вещества надпочечников, фиксированные растворами 5%-ного глутаральдегида, затем 1%-ной осмиевой кислоты, приготовленными на 0.1 М фосфатном буфере с pH 7.2 – 7.4, заливали в смесь аралдита и эпон. Резка блоков проводилась на австрийском ультрамикротоме фирмы "Reichert – Young". Срезы на сетках контрастировали 1%-ным водным раствором уранилацетата и солями свинца. Просмотр и съемка проводились при помощи электронного микроскопа BS – 613 фирмы "Tesla".

Ультраструктура мозгового вещества надпочечников контрольных крыс (рис.1) соответствует описанному в работе [5]. Ядра у части хромаффинных клеток через день после суточного воздействия имеют круглую или овальную форму, содержат 1–2 ядрышка, много грубых нитевидных образований, разбросанных в кариоплазме, и мелкие глыбки хроматина, локализованные у ядерной мембраны в виде каемки. Большинство митохондрий по своей ультраструктуре не отличаются от контрольных, однако в некоторых из них наблюдаются очаги просветления различных размеров. Ультраструктура гранулярного ретикулума не изменена.

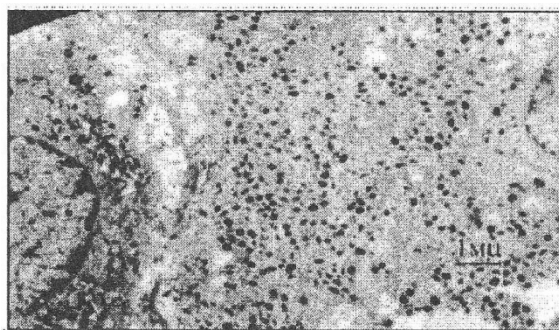


Рис. 1. Субмикроскопическое строение адрено- и норадреноцитов мозгового вещества надпочечников интактной крысы.

Адрено - и норадреноциты содержат характерные секреторные гранулы (рис.2), количество которых меньше, чем у интактных животных. Гранулы адреноцитов, имеющие различную электронную плотность, расположены по всей цитоплазме. Увеличенные гранулы норадреноцитов имеют вид вакуолей, содержат осмиофильную эксцентрично расположенную сердцевину разной величины. Межклеточные пространства местами расширены, и в них видны единичные секреторные гранулы.

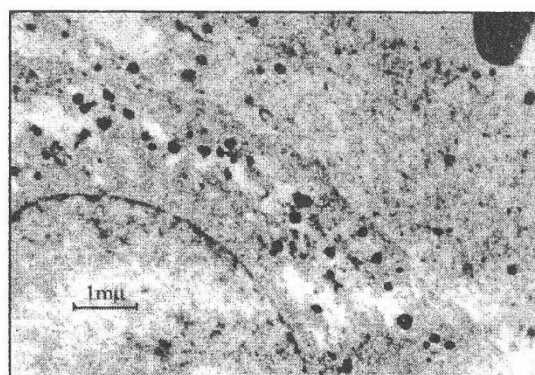


Рис. 2. Ультраструктура норадреноцита через день после суточного воздействия ЭСП.

Следует отметить, что большая часть хромаффинных клеток не отличается от контрольных и наблюдаются признаки восстановительных процессов. Так, большинство хромаффинных

клеток находится на стадии накопления секрета (хотя количество гранул в части клеток не увеличивается), имеет активные ядра, митохондрии обычного строения лизосомы выявляются, чаще. Наблюдаемые расширения межклеточного и перикапиллярного пространств менее выражены, чем сразу после суточного воздействия.

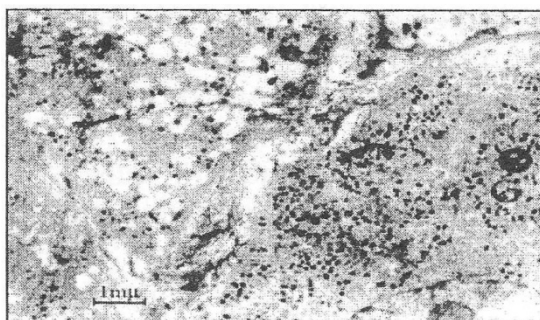


Рис. 3. Расширение межклеточного и периваскулярного пространств через 4 дня после суточного воздействия ЭСП.

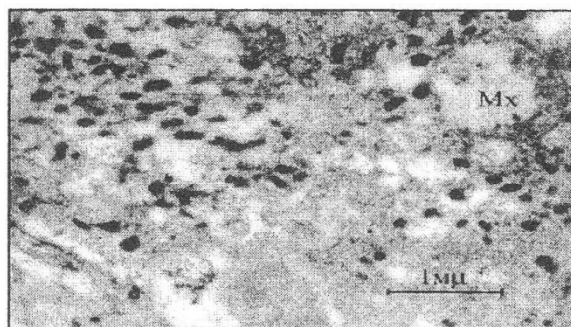


Рис. 4. Измененные митохондрии (Mx) и секреторные гранулы в адреноците спустя 7 дней после суточного воздействия ЭСП.

Через 4 дня после суточного воздействия наблюдается резкое расширение межклеточного пространства (некоторые клетки обособлены друг от друга светлой полоской), где видны широкие, короткие выросты плазмолеммы и нитевидные образования. Расширены и периваскулярные пространства. Сосуды полны нитевидными образованиями, эритроцитами различных форм. Эндотелий образует разнообразные выросты (длинные, короткие, широкие, узкие, извилистые и т.д.) в сторону просвета сосудов. Хромаффинные клетки светлые или темные с округлыми или овальными ядрами. Хроматин у ядерной мембраны образует тонкую каемку. Хроматиновые нити тонкие и меньше, чем через день после суточного воздействия. Митохондрии без изменений. Гранулярный ретикулум в пределах нормы, агранулярный расширен, иногда содержит гранулы. Встречаются фагосомы и лизосомы (рис.3). Адреноциты заполнены секреторными гранулами, распределенными по всей клетке. Часть гранул "пустая" и увеличенная. Сердцевина гранул либо нормальная, либо менее осмиофильная, нитевидная и запол-

нает ее в центре или локализована у края расширенной оболочки. Норадреноциты часто располагаются группами и заполнены гранулами, особенно на периферии клеток. Сердцевина гранул гетерогенная по размеру, осмиофильная, обычно локализована у края мембраны, Иногда встречаются группы "пустых" гранул, похожие на пчелиные соты.

Судя по полученным данным, происходит выброс катехоламинов, признаком чего являются увеличение количества "опустошенных" гранул, расположенных на периферии клеток, резкое расширение межклеточных и периваскулярных пространств, увеличение количества ворсинок клеток в этих пространствах и т. п. Ультраструктурная картина мозгового вещества надпочечников через 4 дня после суточного воздействия ЭСП повторяет картину, наблюдаемую сразу после суточного воздействия.

Через 7 дней после суточного воздействия ЭСП в ядрах хромаффинных клеток выявляются глыбки, нити хроматина и эксцентрично расположенное ядрышко. Митохондрии этих клеток изменены: часто набухшие, имеют светлый матрикс, мало крист, очаги просветления разной формы и размеров (рис.4). В некоторых митохондриях наблюдаются мембраноподобные образования и мелкие осмиофильные гранулы. В адреноцитах имеется множество характерных секреторных гранул, которые заполняют всю клетку и, в основном, имеют нормальное строение. Некоторые гранулы имеют эксцентричную осмиофильную сердцевину и увеличенную оболочку.

Норадреноциты также содержат много гранул, незначительная часть которых "пустая" и "полупустая". Расширение межклеточных пространств менее выражено, чем в предыдущие сроки исследования, и редко проявляется на всем межклеточном протяжении. Плазмолемма имеет множество выростов в межклеточном пространстве, где видны хлопьевидные образования и единичные секреторные гранулы. Как следует из изложенного, активность клеток падает, микроциркуляторное русло начинает восстанавливаться, однако ядерный аппарат не теряет активности. Таким образом, даже на 7 день после суточного воздействия ЭСП напряженностью 200 кВ/м не происходит восстановления ультраструктуры мозгового вещества надпочечников.

Полученные результаты дают основание полагать, что восстановительные процессы в мозговом веществе надпочечников крыс после действия ЭСП неоднородны по времени и носят волнообразный характер. Так, изменения, наблюдаемые на 4-ые сутки после суточного воздействия ЭСП практически совпадают с изменениями, отмеченными сразу после воздействия, а через 1 и 7 дней после воздействия проявляются признаки восстановления определенных структур.

НИЦ Ереванского государственного
медицинского университета им. М. Гераци

Լ. Հ. Ավագյան Գ. Գ. Արծրունի

Առնետների մակերիկամների միջուկային նյութի անդրկառուցվածքային բնութագիրը արտաքին էլեկտրաստատիկ դաշտի ազդեցությունից հետո տարբեր ժամկետներում

Ուսումնասիրված է առնետների մակերիկամների միջուկային նյութի անդրկառուցվածքը 200 կՎ/մ լարվածությամբ էլեկտրաստատիկ դաշտի (ԷՄԴ) 1-օրյա ազդեցությունից հետո առաջին, 4 և 7-րդ օրերին:

Էլեկտրոնային մանրադիտակային հետազոտության արդյունքները ցույց են տվել, որ ԷՄԴ-ի 1-օրյա ազդեցությունից 7 օր հետո նույնիսկ տեղի չի ունենում առնետների մակերիկամների միջուկային նյութի անդրկառուցվածքի վերականգնում:

Վերականգնողական պրոցեսները ԷՄԴ-ի ազդեցությունից հետո ընթանում են ոչ միատեսակ և կրում են ալիքավոր բնույթ: Այսպես, ազդեցությունից հետո 4-րդ օրը նկատվող փոփոխությունները համընկնում են այն փոփոխություններին, որոնք դիտվում են ԷՄԴ-ի 1 օրյա ազդեցությունից անմիջապես հետո (կատեխոլամինների արտահոս, արյան միկրոշրջանառության փոփոխություններ և այլն), իսկ առաջին և 7-րդ օրերին ի հայտ է գալիս որոշակի կառուցվածքների վերականգնում:

Литература

1. *Арируни Г. Г., Зильфян А. В., Азгалдян Н. Р. и соавт.* - Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1987. № 6. С. 67-70.
2. *Авакян Л. А., Арируни Г. Г.* - ДНАН Армении. 1995. Т. 95. № 3. С. 190-203.
3. *Авакян Л. А., Арируни Г. Г.* - ДНАН Армении. 1997. Т. 97. № 2. С. 57-61.
4. *Арируни Г. Г.* – Матер. конф. молодых ученых, посвященной XXV съезду КПСС. Ереван. 1975. С. 32.
5. *Гордиенко В. М., Козырицкий В. Г.* В кн.: Ультраструктура желез эндокринной системы, Киев, 1978. С. 71-82.

МОРФОЛОГИЯ

УДК 616.832.611.83.004.18

И. Б. Меликсетян

Метод выявления миелиновых оболочек нервных волокон

(Представлено академиком В. В. Фанарджяном 3/VII 2001)

Изучение миелоархитектоники стало возможным после открытия Вейгертом техники окраски миелиновых оболочек. В дальнейшем этот метод применялся в гистологии для систематического топографического изучения мозга. В настоящее время имеется большое количество новых методов и различные модификации старых классических методов, далеко не исчерпавших себя [1–3]. Широкое применение получили экспериментально-морфологические исследования с использованием различных нейро-гистологических методов.

Основным недостатком большинства методов является их трудоемкость, препятствующая широкому применению в повседневной исследовательской работе. Другой серьезный недостаток — дифференцировка окраски, часто затрудняющая интерпретацию полученных фактов. Данное обстоятельство побудило нас заняться разработкой нового методического подхода с целью устранения этих факторов и, по возможности, стандартизации этапов обработки материала, что очень важно для гистохимических исследований. В решении этой задачи мы исходили из принципа дробного блокирования металлоорганических соединений и факта избирательной реакции ионов трехвалентного железа с миелином [4].

Для разработки нашей методики были проведены эксперименты на 30 белых крысах массой 220-250 г. У животных, находящихся под глубоким нембуталовым наркозом (45 мг/кг), мозг брали и фиксировали в 10%-ном растворе нейтрального формалина от двух недель до нескольких месяцев. Длительное уплотнение в фиксаторе дает лучшие результаты. Из кусочков мозга готовили замороженные срезы толщиной 40-50 мкм, которые помещали в свежеприготовленный 3-5% -ный раствор хлорного железа на 20-30 мин. Затем срезы тщательно промывали в нескольких сменах дистиллированной воды в течение 15 мин. Миелин окрашивался в светло-коричневый цвет. Для усиления интенсивности окрашивания срезы переносились в свежеприготовленную инкубационную смесь, предназначенную для гистохимических исследований. Эта смесь основана на выявлении активности кислой фосфатазы с точки зрения закономерности

концентрационного взаимоотношения [5]. Согласно этой закономерности в образовании преципитатов свинца в клеточных структурах первостепенное значение имеют концентрационные взаимоотношения ионов металла и буфера при данном значении pH . Для выявления активности фермента нами рекомендуется инкубационная смесь следующего состава: 20 мл 0.04%-ный раствор уксуснокислого свинца, 7 мл 1 М ацетатный буфер pH 5.6, 2.5 мл 1%-ный раствор β глицерофосфат натрия. Этот состав доводим дистиллированной водой до 100 мл.

Сроки инкубации составляют 10-12 ч. Затем срезы промывали, опускали на 1-2 с. в 1%-ный раствор сульфосалициловой кислоты для просветления, снова промывали и проявляли в растворе сернистого натрия, приготовленном на физиологическом растворе. После промывки срезы заключали в бальзам.

На препаратах выявляются интенсивно окрашенные нервные волокна (рис. 1, А, В, С, 2, С). В белом веществе мозга местами видны ядра глиальных клеток. При коротких сроках фиксации мозга в сером веществе наблюдается слабая реакция нервных клеток.

Выявление миелиновых оболочек нервных волокон проводилось у взрослых крыс с поперечно перерезанной бульбарной пирамидой. Соответствующий отдел мозга брали под нембуталовым наркозом после выработки у животных рефлексов. Горизонтальные и сагитальные срезы мозга обрабатывались согласно вышеописанной методике.

На препаратах выше и ниже от места перерезки наблюдается распад миелина в восходящих и нисходящих трактах, соответственно. Место перерезки заполнено соединительнотканым рубцом (рис. 2, А. В).

Из гистологической практики хорошо известно, что трехвалентное железо образует комплексные соединения белковой или небелковой природы и связанное железо легко обнаруживается разными способами. На этой основе разработаны многочисленные методы окраски клеточных структур путем протравы железом. Это либо железные квасцы, либо хлорное железо. Такая обработка перед экстракцией растворителями жиров дает более удовлетворительное окрашивание гематоксилином. Результаты нашей реакции также свидетельствуют об образовании комплексного соединения железо — миелин. Однако последнее, по-видимому, менее устойчиво, на что указывает слабая реакция волокон. Поэтому для усиления интенсивности и стойкости окраски мы обрабатываем срезы в среде, где присутствуют ионы свинца, который как тяжелый металл образует прочное нерастворимое соединение с фосфатными группами.

Таким образом, преимуществом предлагаемой нами методики является высокая избирательность и постоянная воспроизводимость полученных результатов. Помимо преимуществ методического порядка, результаты наших данных показали возможность стандартизации звеньев обработки материала, что очень важно в гистохимическом отношении. Кроме того, установлено, что железо-миелиновый комплекс устойчив в кислой среде. Разумеется, это правило относится к формалин - фиксированному материалу. Быстрота и простота предлагаемой методики дают возможность ее применения в повседневных работах.

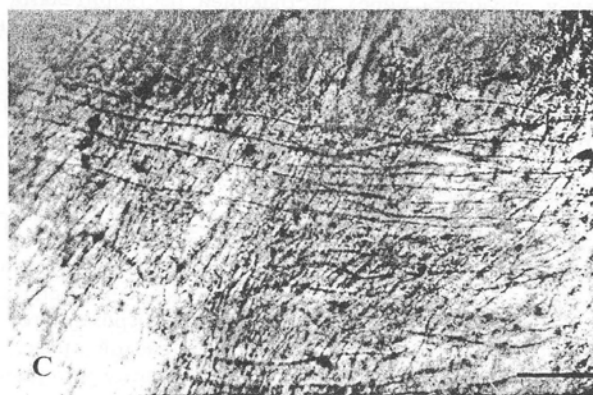
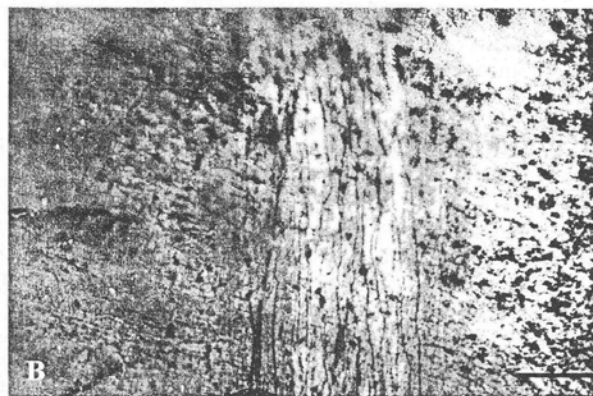
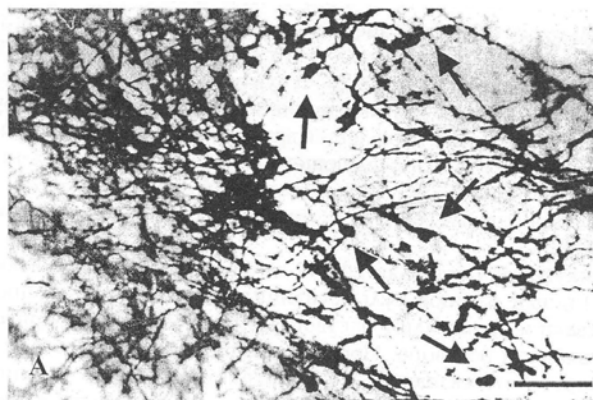


Рис. 1.

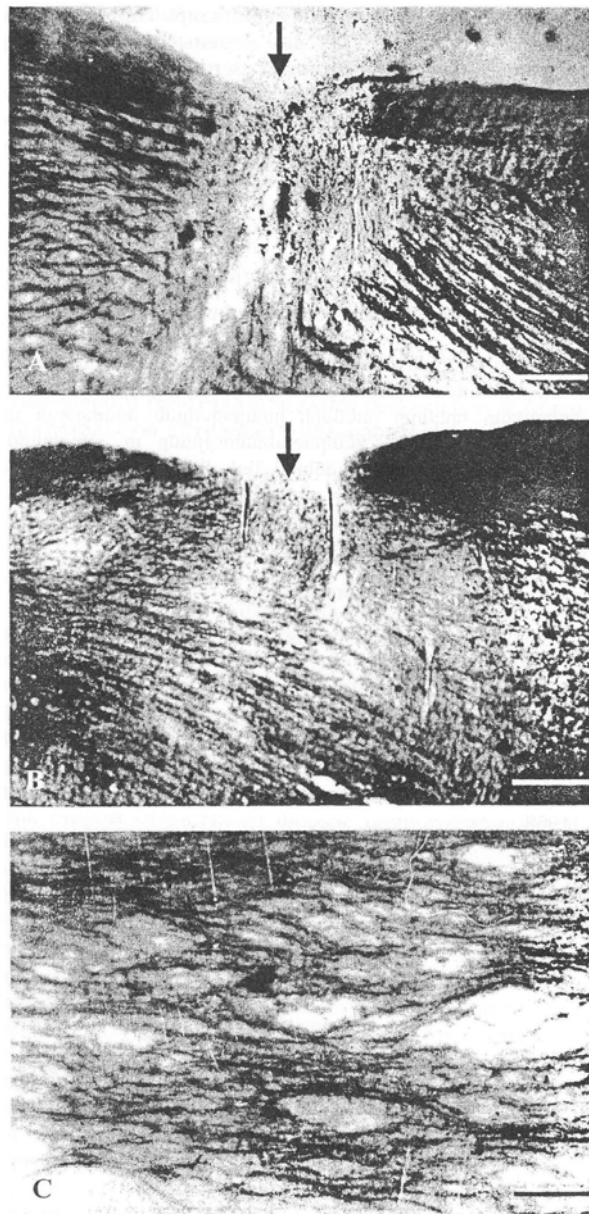


Рис. 2.

Рис. 1. (А) Средний мозг крысы. Миелинизированные нервные волокна вокруг Сильвиева водопровода. Концевые нервные окончания (стрелки). (В) Спинной мозг крысы. Пучок корешковых нервных волокон. (С) Фрагмент (В). Масш 75 мкм (А), 150 мкм (С), 300 мкм (В).

Рис. 2. (А, В) Продолговатый мозг крысы. Дегенирированные миелинизированные нервные волокна. Место перерезки (стрелки). (С) Миелинизированные нервные волокна пирамидного тракта. Масш. 150 мкм (А-С).

Ի. Բ. Մելիքսեթյան

Ներվաթելերի միելինային թաղանթի հայտնաբերման մեթոդ

Մշակված է ներվաթելերի միելինային թաղանթի հայտնաբերման մեթոդ, որը հիմնված է մետաղօրգանական միացությունների կոտորակային բլոկադայի սկզբունքի, ինչպես նաև եռվալենտ երկաթի իոնների ընտրողական նստեցման փաստի վրա: Մեթոդը աչքի է ընկնում բարձր ընտրողականությամբ ու ստացված տվյալների մշտական վերատադրությամբ: Ավելացնելով նաև վերը նշվածին նրա արագությունն ու պարզությունը, առաջարկվող մեթոդը առօրյա հետազոտական աշխատանքներում լայն կիրառության հնարավորություն է ստանում:

Литература

1. *Лилли Р.* - Патогистологическая техника и практическая гистохимия. М. Мир. 1969. 645 с.
2. *Gallyas F.* - Neurol. Res. 1979. V. 1. P. 203-209.
3. *Hess D. T., Merker B. H.* - J. Neuros. Methods. 1963. Y. 8. P. 95-97.
4. *Чилингарян А. М.* - ДАН АрмССР. 1960. Т. 31. N 4. С. 241-243.
5. *Чилингарян А. М.* Микроскопическое изучение кровеносных сосудов и нервной ткани, основанное на применении соединений свинца. Автореф. докт. дис. Л. 1968.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.171:577.156.2

Д. Н. Худавердян, академик А. А. Галоян, А. С. Тер-Маркосян, О. В. Мкртчян

Влияние нового гипоталамического нейропептида галармина на сократительную активность изолированного сердца лягушки

(Представлено 8/V 2001)

К настоящему времени накоплен ряд сведений относительно возможности влияния различных гормонов пептидной природы [1–3], и в том числе пептидов, выделенных из гипоталамуса [4], на деятельность сердца. Многолетние исследования А. А. Галояна и сотрудников установили множество нейрогуморальных механизмов интеграции нейросекреторного гипоталамуса с нейросекреторными ганглионарными клетками предсердий [5,6].

Открытие множественных форм коронарорасширяющих и коронаросуживающих нейрогормонов, продуцируемых в нейросекреторных ядрах гипоталамуса животных, находящихся на различных этапах эволюционного развития, а также обнаружение гормонов предсердий, регулирующих высвобождение кардиоактивных гормонов гипоталамуса, свидетельствуют о наличии очень старой (первичной) формы нейрогормональной интеграции между двумя возбудимыми органами — мозгом и сердцем.

За последние годы из нейросекреторных гранул гипоталамо-нейрогипофизарной системы животных была выделена группа полипептидов, являющихся иммуномодуляторами и нейропротекторами [4,7]. Иммуногистохимическими методами с использованием моно- и поликлональных антител против одного из них — пролин-богатого полипептида галармина — было установлено его наличие не только в микроструктурах мозга и в лимфатических узлах крыс, но и в супраоптическом ядре лягушек. Это дало основание изучить влияние гипоталамического нейропептида галармина на функциональную активность изолированного сердца лягушки.

Эксперименты были проведены на изолированном сердце лягушки с применением метода исследования деятельности изолированных органов по Волленбергеру, основанного на фотоэлектрическом принципе, в модификации Карапетяна [8] и нашей [3]. Энергетически стабильный поток света от источника освещения, проходя через конденсор микроскопа и камеру с питательной средой (раствор Рингера следующего состава: $NaCl$ — 0,65%, KCl — 0,018%,

CaCl_2 – 0,02%, NaH_2PO_4 – 0,01%, Na_2HPO_4 – 0,03%) и изолированным сердцем, модулировался с частотой его сокращений. Модулированное излучение, проходя через оптику микроскопа, диафрагму, проецируясь на фотокатод ФЭУ, приводило к пропорциональному изменению анодного тока, который в свою очередь усиливался при помощи усилителя. Модификация метода заключалась в применении интерференционного фильтра с длиной волны 546 нм с целью более четкой локализации границ сокращающегося сердца, а также в применении поляризационных фильтров (поляризатор и анализатор), установленных перед конденсором микроскопа и торцевой плоскостью фотокатода-умножителя, соответственно. Кроме того, спектральные характеристики примененного фотоумножителя ФЭУ-89 позволяют регистрировать не только огибающее объект исследования модулированное облучение, но и сокращения ткани объекта. Сигнал с выхода усилителя поступал на вход самописца и осциллографа. Для записи сокращающегося изолированного сердца фиксировалось в камере таким образом, чтобы оно находилось в центре диафрагмы. Четкость записи регулировалась изменением величины световой щели между краем сокращающегося сердца и отверстием диафрагмы. В опытах был использован галармин в концентрациях 10^{-13} , 10^{-11} , 10^{-9} и 10^{-7} М. Деятельность сердца регистрировалась в течение 40 мин. Анализ и сопоставление полученных данных проводили ежеминутно до 5-й мин и с интервалом в 5 мин с 5-й до 40-й мин регистрации.

В контрольной серии опытов было установлено, что амплитуда и частота сокращений изолированного сердца лягушки, независимо от каких-либо воздействий на него, уменьшаются во времени (рис. 1а,2). Причем изменение амплитуды более выражено и к концу исследуемого временного периода составляет в среднем 40%, а для частоты – 20-25% от их исходных величин, зарегистрированных в самом начале эксперимента (после помещения сердца в камеру с питательной средой и стабилизации его деятельности). Подобное временное изменение параметров сокращения в контроле, очевидно, связано с метаболическими сдвигами в миокарде в условиях *in vitro*.

Для выяснения возможности влияния галармина на функциональную активность сердца и определения его наиболее эффективной концентрации было проведено исследование дозой зависимости (от 10^{-13} до 10^{-7} М) влияния нейропептида (количество опытов для каждой концентрации составляло 8-16). Причем на первом этапе исследования оценка степени изменений амплитуды и частоты сокращений изолированного сердца в различные интервалы времени после добавления в среду каждой из доз галармина производилась по сравнению с исходными значениями параметров сокращений, регистрируемыми до добавления нейропептида, а на втором проводилась сравнительная оценка временного изменения частоты и амплитуды сокращений сердец лягушек контрольной серии с опытной серией (рис. 1, 2).

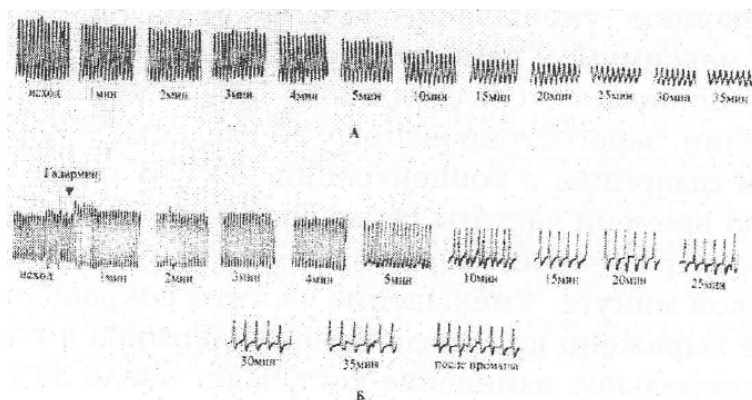


Рис.1. Изменения во времени амплитуды и частоты сокращений изолированного сердца лягушки в норме (А) и после добавления в среду галармина в концентрации 10^{-11} М(Б).

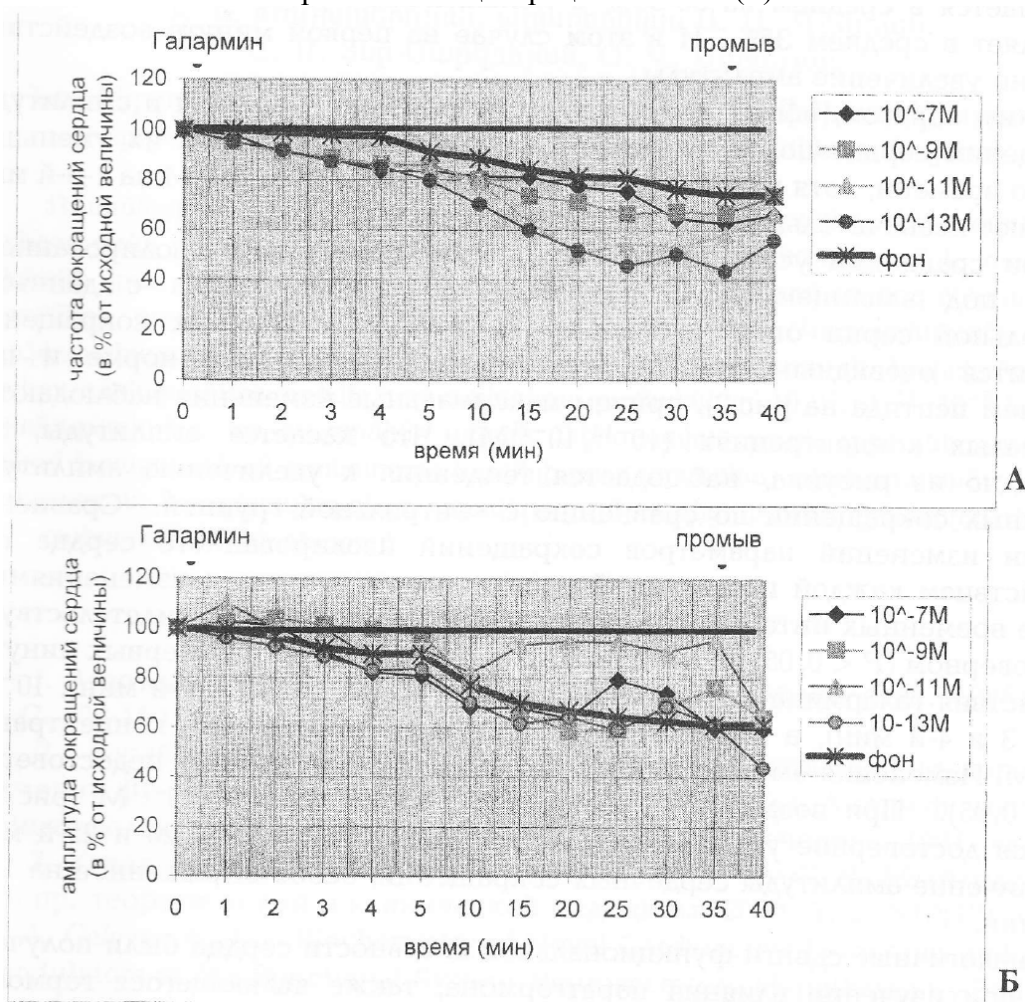


Рис.2. Усредненные показатели (в % к исходным величинам) временных изменений частоты (А) и амплитуды (Б) сокращений изолированного сердца лягушки до (фон) и после добавления в питательную среду различных концентраций галармина.

Как видно из рис.2, под влиянием галармина в концентрации 10^{-13} М происходит постепенное уменьшение как частоты, так и амплитуды сокращений сердца с максимумом изменений на 20-35-й мин. Максимальное уменьшение частоты составляет в среднем около 60%, а амплитуды — около 40% от исходных величин, зарегистрированных до введения галармина.

Под воздействием галармина в концентрации 10^{-11} М также зарегистрировано уменьшение во времени частоты сердечных сокращений (около 50%), и относительно менее выраженное уменьшение амплитуды (около 20%) при ее увеличении на первой минуте. Уменьшение частоты сокращений изолированного сердца менее выражено при воздействии галармина в концентрации 10^{-9} М (в среднем максимальное изменение составляет около 35%). При этом отмечено увеличение амплитуды на первых минутах воздействия пептида и уменьшение в среднем на 40% в поздние сроки исследования. И наконец, под влиянием галармина в концентрации 10^{-7} М частота сокращений сердца уменьшается в среднем на 30-35%, а максимальное уменьшение амплитуды составляет в среднем 35%. И в этом случае на первой минуте воздействия отмечено увеличение амплитуды.

Таким образом, общая направленность изменений частоты и амплитуды сокращений сердца под влиянием галармина характеризуется их уменьшением во времени, хотя концентрации пептида 10^{-11} , 10^{-9} и 10^{-7} на 1-3-й мин вызывают незначительное увеличение амплитуды сокращений.

При сравнении усредненных параметров сокращений изолированного сердца под влиянием различных концентраций галармина с данными контрольной серии опытов уменьшение частоты сердечных сокращений становится очевидным (см. результирующие кривые в норме и под влиянием пептида на рис.2), причем максимальные изменения наблюдаются при малых концентрациях (10^{-13} , 10^{-11} М). Что касается амплитуды, то, как видно из рисунка, наблюдается тенденция к увеличению амплитуды сердечных сокращений по сравнению с контрольной группой. Сравнение степени изменений параметров сокращений изолированного сердца под воздействием каждой исследуемой концентрации пептида с изменениями в тех же временных интервалах в контрольной серии опытов свидетельствуют о достоверном ($P < 0,05$) уменьшении частоты сокращений на первых минутах воздействия галармина в концентрациях 10^{-9} М (на 1, 2, 3 и 4-й мин), 10^{-7} М (на 2, 3 и 4-й мин), а также во все сроки исследования при концентрации 10^{-13} М. Изменения амплитуды при указанных концентрациях недостоверны ($P > 0,05$). При воздействии галармина в концентрации 10^{-11} М (рис.1,Б) имеется достоверное уменьшение частоты (на 1, 2, 3, 4, 15, 20 и 25-й мин) и увеличение амплитуды сердечных сокращений, особо выраженное на 15–35-й мин.

Аналогичные сдвиги функциональной активности сердца были получены нами при изучении влияния паратгормона, также являющегося гормоном пептидной природы, что, как было установлено, связано с изменением функциональной активности кальциевых каналов *T*- и *L*-типа [3,9].

Учитывая ключевую роль ионов кальция и некоторых мембранозависимых процессов в функционировании сердечной мышцы, а также установленные факты воздействия гормонов пептидной природы на различные звенья клеточного метаболизма в сердечной мышце [3,4,9,10], можно допустить, что галармин также может действовать аналогичным образом. Молекулярный механизм влияния галармина может послужить объектом дальнейших исследований.

Таким образом, на основании полученных данных можно заключить:

1) галармин оказывает влияние на функциональную активность изолированного сердца лягушки, что в целом проявляется в виде отрицательного хронотропного и менее выраженного положительного инотропного эффектов.

2) наиболее выраженные изменения функциональной активности изолированного сердца наблюдаются при концентрации галармина 10^{-11} М (наиболее эффективная концентрация) и 10^{-13} М.

Ереванский государственный медицинский университет им. М. Гераци
Институт биохимии им. Г. Х. Бунятыана НАН РА

**Դ. Ն. Խոնդավերդյան, ակադեմիկոս Ա. Ա. Գալոյան,
Ա. Ս. Տեր-Մարկոսյան, Օ. Վ. Մկրտչյան**

**Նոր ենթատեսաթմբային նյարդապեպտիդի՝ գալարմինի ազդեցությունը
գորտի մեկուսացված սրտի կծկողական ակտիվության վրա**

Ուսումնասիրված է ենթատեսաթմբային նոր նյարդապեպտիդի՝ գալարմինի ազդեցությունը գորտի մեկուսացված սրտի կծկումների հաճախության և տատանասահմանի վրա: Օգտագործվել է ֆոտոէլեկտրական սկզբունքով գործող մեկուսացված օրգանների ուսումնասիրման մեթոդը ըստ Վոլենբերգերի (Կարապետյանի և մեր մոդիֆիկացիայով): Գալարմինի չափաբաժնային ազդեցության կախվածությունը որոշելու համար օգտագործվել է դրա հետևյալ քանակները՝ 10^{-13} , 10^{-11} , 10^{-9} և 10^{-7} Մ: Հայտնաբերված է, որ գալարմինը գորտի մեկուսացված սրտի գործունեության վրա թողնում է բացասական քրոնոտրոպ և ավելի թույլ արտահայտված դրական ինոտրոպ ազդեցություն: Նյարդապեպտիդի առավելագույն ազդեցությունը դրսևորվում է 10^{-11} , 10^{-13} չափաբաժինների դեպքում:

Литература

1. Мерзон К. А., Баринов Э. Ф., Гринь В. К. - Кардиология. 1985. Т. 25. N5. С. 108-110.
2. Барабанова В. В. Роль кальцитонина и паратиреоидного гормона в регуляции функциональной активности клеток миокарда. Автореф. докт. дис. Л. Ин-т эволюционной физиологии и биохимии им. Сеченова. 1981. 48 с.

3. *Худавердян Д. Н., Тер-Маркосян А. С., Мкртчян О. В., Налбандян С. Г.* - *Вопр. теоретической и клинической медицины*. 2000. Т. 2. N10(17). С. 3-6.
4. *Galoyan A. A.* - *Biochemistry of Novel Cardioactive Hormones and Immunomodulators of the Functional System Neurosecretory Hypothalamus-Endocrine Heart*, Nauka Publishers. M. 1997. P. 234.
5. *Галоян А. А.* *Некоторые проблемы биохимии гипоталамической регуляции*. Ереван. Айастан, 1965. 242 с.
6. *Галоян А. А., Ростомян М. А.* - *Биол. ж. Армении*. 1967. Т.20. N9. С.3-7.
7. *Galoyan A. A.* - *Neurochemical Research*, 2000. V. 25. N. 9/10. P. 1343-1355.
8. *Каранетян А. Е., Геворкян Р. А., Манукян Г. А., Львов М. В.* - *Бюлл. эксп. биол. и мед.* 1969. N9. С. 124-125.
9. *Mkrtchyan O. V., Ter-Markosyan A. S., Sahakyan E. A., Khudaverdyan D. N.* - *Third conference of the Armenian International Brain Research Organization (IBRO) association*. Yerevan. 2000. P. 54-55.
10. *Galoyan A. A., Kevorkian G., Voskanian L., Alexanian S., Muradian M.* - *Neurochemical Research*. 1988. V, 13. N5. P. 493-498.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.822.3:612.827

Р. В. Карапетян, А. С. Аматуни

Фоновая импульсная активность нейронов подкорковых ядер мозжечка крыс в условиях его деафферентации

(Представлено академиком В. В. Фанарджяном 17/VII 2001)

Согласно современным представлениям эфферентные послыжки мозжечка к функционально различным образованиям мозга окончательно формируются на выходе мозжечка — в центральных ядрах (ЦЯ), на уровне которых завершается процесс обработки обширной информации, поступающей в ЦЯ непосредственно и опосредованно корой мозжечка от экстрамозжечковых афферентов мшистого, лазающего и аминергического типов [1]. У крысы, как и у других млекопитающих, в каждой половине мозжечка в медии-латеральном направлении располагаются следующие глубинные, или центральные, ядра — фасцигиальное ядро (ФЯ), промежуточное переднее и заднее (ППЯ и ЗПЯ) и зубчатое (ЗЯ).

Целью настоящего исследования была регистрация импульсной активности в подкорковых ядрах мозжечка крыс в препаратах переживающих срезов (*in vitro preparation*), деафферентированных от различных экстрамозжечковых афферентных влияний в результате отсечения всех мозжечковых ножек и выделения мозжечка. В условиях сниженного притока афферентной импульсации к ЦЯ от экстра- и субмозжечковых (по принципу реципрокности связей) структур ствола мозга может возрасти вероятность обнаружения в ЦЯ нейронов, характеризующихся эндогенной импульсной активностью и поддерживающих возбудительный тонус в подкорковых структурах мозжечка. Наличие нейронов с пейсмеккерной активностью предполагалось и ранее на основе существующих представлений о тормозной природе клеток Пуркинье — нейронов, расположенных непосредственно на выходе коры мозжечка и обеспечивающих "скульптурирование" импульсных потоков в его подкорковых ядрах [2] и информативность сигналов, исходящих из мозжечка.

В связи с этим первостепенной задачей настоящего исследования была разработка адекватной методики получения жизнеспособных срезов мозговой ткани, обеспечивающих отведение нейрональной активности в структуре минимум на протяжении 5–6 ч экспери-

ментирования и возможное обнаружение эндогенной активности подкорковых нейронов. Более того, нейрофармакологическими и гистохимическими исследованиями была установлена способность нейронов аминергических структур ствола мозга, и в частности серотонинергических нейронов ядра шва (ЯШ), к регулярной, пейсмейкерного типа активности [3], которые, как было отмечено выше, являются источником афферентных посылок в кору и в ЦЯ мозжечка. Согласно [4, 5], предполагается наличие таких нейронов и в подкорковых ядрах мозжечка.

В проведенных нами экспериментах использовались 3–4-недельные крысята, мозжечок которых не отличается от мозжечка взрослой крысы, за исключением лишь того, что подкорковые ядра находятся в едином комплексе, в котором медиальные отделы соответствуют медиальному, или фастигиальному, ядру мозжечка, а латеральные – промежуточному и зубчатому ядрам [6].

Анализ регистрируемой фоновой импульсной активности (ФИА) проводился сообразно общим принципам обработки биологических сигналов. Стационарность регистрируемой ФИА определялась построением графиков "скользящей" частоты и по непараметрическому критерию Колмогорова – Смирнова [7]. О структуре стационарных импульсных потоков (ИП) судили по набору межимпульсных интервалов (МИ) и паттерну их распределения (гистограмм МИ I порядка, ГМИ) (рис.1.Б). Помимо анализа ГМИ проводился аутокорреляционный анализ с построением аутокоррелогограмм (АКГ) до 8 порядка (рис.1.В), отражающих вероятность появления потенциалов действия (ПД) через определенные отрезки времени после произвольно выбранного (опорного) ПД. В результате конфигурация АКГ отражала проявление регулярности текущей ИА. Динамическая структура регистрируемых ИП определялась путем вычисления сериальных коэффициентов корреляции (СКК) и соответствующих графиков АКГ.

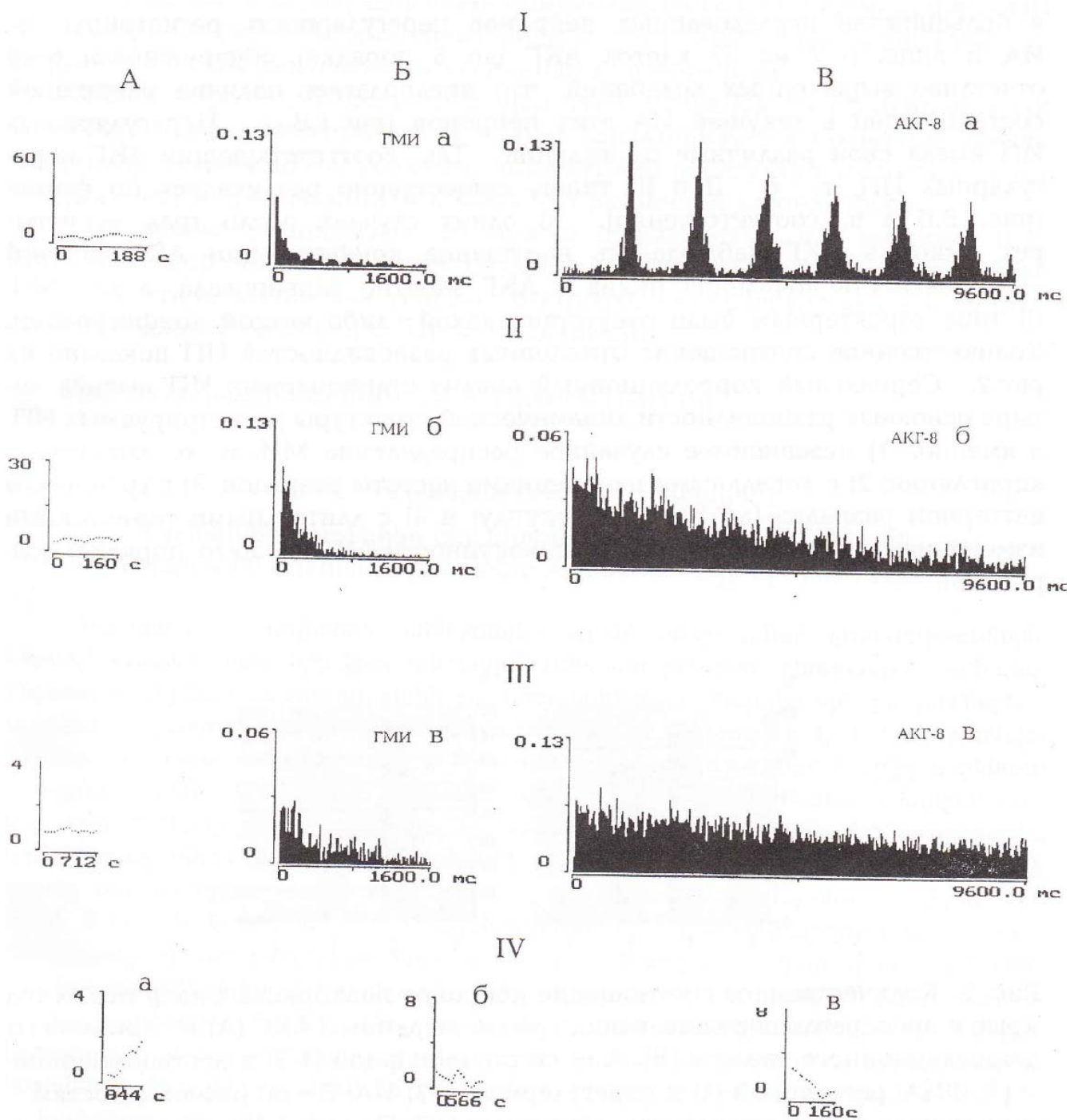


Рис. 1. Статистические характеристики фоновой импульсной активности нейронов подкорковых ядер мозжечка крыс *in vitro*. I-III — стационарная ФИА трех нейронов: А — графики "скользящих" частот. Б — ГМИ, В — АКГ, IV — нестационарная ФИА: а-в — графики "скользящих" частот трех нейронов. По оси абсцисс — время анализа; по оси ординат — средние частоты ФИА (I-III, А; IV, а-в) и вероятность наблюдения МИ для ГМИ и АКГ.

Из 61 исследованного нейронного элемента в подкорковых ядерных образованиях мозжечка 57 (т. е. 93%) характеризовались стационарностью течения фоновых ИП (рис.1,А). К нестационарным были отнесены ИП 4 нейронов (рис.1, IV, а–в). Аутокорреляционный анализ обнаружил в большинстве исследованных нейронов нерегулярность регистрируемой ИА и лишь в 7 из 57 клеток АКГ (до 8 порядка) обнаруживали 6–8 отчетливо выраженных колебаний, что предполагает наличие регулярной составляющей в текущей ИА этих нейронов (рис.1,В,а). Нерегулярность ИП имела свои различные проявления. Так, соответствующие АКГ нерегулярных ИП, т. е. II и III типов, существенно различались по форме (рис.1,В,б и в, соответственно). В одних случаях после трех – четырех пиков в АКГ наблюдалось нарушение конфигурации АКГ (II тип) – вероятность появления пиков в АКГ заметно варьировала, а для АКГ III типа характерным было отсутствие какой – либо четкой конфигурации. Количественное соотношение отмеченных разновидностей ИП показано на рис.2. Сериальный корреляционный анализ стационарных ИП выявил четыре основных разновидности динамической структуры регистрируемых ИП, а именно: 1) независимое случайное распределение МИ, т. е. отсутствие корреляции; 2) с локальными изменениями частоты разрядов; 3) с групповым паттерном разрядов (до 10–12 в секунду) и 4) с длительными тоническими изменениями в частоте разрядов (совокупности МИ до 50-го порядка) (см. рис.2,Б).

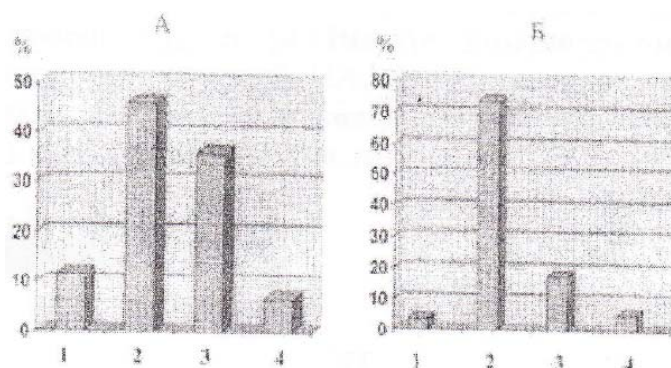


Рис. 2. Количественное соотношение нейронов подкорковых ядер мозжечка крыс в преператах переживающих срезов по данным АКГ (А) и сериального корреляционного анализа (Б). А – со стационарной (1-3) и нестационарной (4) ФИА: регулярной (1) и нерегулярной (2-3) ИА; Б – по разновидностям динамической структуры регистрируемых ИП. По оси ординат - количество нейронов в % к общему количеству анализируемых по данным АКГ (А) и СКК (Б).

Для нейронов со стационарным течением рассчитывались следующие статистические показатели: средняя частота разрядов (F_{cp}), стандартное отклонение (SD), коэффициент вариации (CV%), коэффициенты асимметрии (As) и эксцесса (Ex) ГМИ I порядка. Между значениями As, Ex и CV% их в пике ГМИ прослеживалась корреляция, что подтверждает их зависимость, максимальный коэффициент корреляции ($R = 0.9$) между As и Ex.

По паттернам ГМИ оценивалась также их моно-, би- и полимодальность. Во всей популяции регистрируемых нейронов ЦЯ преобладали ИП с моно- и полимодальными ГМИ.

Обобщенный анализ результатов исследования обнаружил, что наибольшие средние частоты разрядов нейронов наблюдались при мономодальных ИП нерегулярного типа с редким появлением регулярной составляющей (АКГ—2) и при тонических длительных изменениях в частоте (СКГ—4).

Таким образом, ФИА, регистрируемая в основной массе нейронов ЦЯ мозжечка крыс, в экспериментах *in vitro* характеризуется преимущественно стационарным течением, различно выраженной нерегулярностью появления сходных МИ и преобладанием в ФИА МИ различной длительности.

На основе вышесказанного можно предполагать, что нейроны подкорковых ядер мозжечка могут обладать эндогенной активностью, однако возможности ее выявления, генез и электрофизиологические характеристики требуют дальнейших специальных исследований.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА

Ռ. Վ. Կարապետյան, Ա. Ս. Ամատունի

Առնետների ուղեղիկի ենթակեղևային նեյրոնների ֆոնային ազդակային ակտիվությունը դեաֆերենտացիայի պայմաններում

Կատարվել է ուղեղիկի անմիջապես ելքում տեղադրված գոյացությունների՝ ենթակեղևային նեյրոնների ֆոնային ազդակային ակտիվության բնութագրերի անալիզ: Օգտագործվել են առնետի ուղեղիկի արտաուղեղիկային բոլոր մուտքերից դեաֆերենտացված վերապրող կտրվածքներ (*in situ preparation*): Գրանցվող ՖԱԱ-նր ենթարկվել է վիճակագրական անալիզի ըստ ստանդարտ և հատուկ մշակված հաշվիչ մեքենայի ծրագրերի, որոնք նախկինում օգտագործվել են մեծ թեթևակի անզգայացված առնետների ՖԱԱ-նր ուսումնասիրելիս (*in vivo preparation*): Որոշվել են՝ ազդակային հոսքի ստացիոնար լինելը, միջազդակային ընդմիջումների հիստոգրամմաները (ՄՀՀ), դրանց ասիմետրիան (As) և էկսցեսը (Ex), գերակշռող մոդալությունը, ինչպես նաև մինչև 8 կարգի միատեսակ ՄՀ կանոնավորությունը (աուտոկորելոգրամմա, ԱԿԳ) և միատեսակ ՄՀ ամբողջության հարևան և մինչև 50 կարգի, անկախ դասավորվածությամբ և համեմատվող ՄՀ կորելացիայով (բացասական կամ դրական) (կորելացիայի սերիալ գործակից, ԿՄԳ): Բացահայտվել է, որ դեաֆերենտացված ուղեղիկում և ուղեղիկի վերապրող կտրվածքների վրա կատարած փորձերում ենթակեղևային կորիզների նեյրոնների ՖԱԱ-նր բնորոշվում է ազդակային հոսքի միատեսակ ՄՀ անկանոնությամբ, նեյրոնային լիցքաթափումների ցածր միջին հաճախությամբ և խմբային կամ գրանցվող ազդակային հոսքի բաղադրության պատեռների երկարատև փոփոխություններով ազդակային ակտիվության գերակշռումով:

Литература

1. *Аматуни А. С.* Функциональная организация и участие центральных ядер в интегративной деятельности мозжечка. Ереван: Изд. АН Арм. ССР. 1987. 274 с.
2. *Eccles J. C., Ito M., Szentagothai J.* The cerebellum as a neuronal machine. Berlin: Springer-Verlag. 1967.
3. *Aghajanian G.* - Preparations of vertebrate central nervous system in vitro, methods in neurosciences. - 1990. V 13, P. 25-49.
4. *Kerr Ch. W. H., Bishop G. A.* - J. Comp. Neurol. 1991. V. 304 P 502-515.
5. *Kitzman P. H., Bishop G. A.* - J. Comp. Neurol. 1994. V. 340. P. 541-550.
6. *Jahnsen H. J.* - J. Physiol. 1986. V. 372. P. 129- 147.
7. *Большев Л. Н., Смирнов Н. В.* Таблицы математической статистики. М.: Наука. 1983. 416 с.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.796.071:577

М. Г. Агаджанян

Об особенностях адаптации гемодинамики к различным типам нагрузки у спортсменов

(Представлено академиком В. В. Фанарджяном 13/VIII 2001)

Адаптационные изменения, возникающие под воздействием регулярных физических нагрузок, развиваются во всех звеньях аппарата кровообращения. Большинство работ в этой области посвящено особенностям спортивного сердца, гемодинамические же реакции сосудов изучены в гораздо меньшей степени.

Исходя из вышеизложенного мы задались целью изучить ряд гемодинамических параметров у спортсменов при долговременной адаптации к нагрузкам различного типа.

Было исследовано 50 велосипедистов, в тренировочном процессе которых превалировала динамическая нагрузка "на выносливость", и 30 тяжелоатлетов, в тренировочном процессе которых превалировала статическая нагрузка.

Проведены эхокардиографические (ЭхоКГ) и сфигмографические (СФГ) исследования по общепринятым методикам с определением ударного (УО) и минутного объемов сердца, фракции выброса (ФВ), общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС), скорости распространения пульсовой волны (СРПВ). Производился также контурный анализ СФГ по методу А. Д. Валтнериса [1]. Материал статистически обработан с определением критерия достоверности.

Полученные данные свидетельствуют о меньшей величине УО у тяжелоатлетов при почти равнозначной величине ФВ по сравнению с велосипедистами (смотри таблицу). При этом время анакротического подъема СФГ сонной артерии, соответствующее времени максимального изгнания, было достоверно короче, а площадь пульсовой волны меньше, чем у велосипедистов. Систолическое плато СФГ у тяжелоатлетов было куполообразной формы в отличие от велосипедистов, у которых оно имело нисходящий контур.

Таким образом, меньший УО у тяжелоатлетов, адаптированных к анаэробному типу энергообеспечения мышечной нагрузки при статическом напряжении, отражается на кривой СФГ в виде меньшей площади пульсовой волны, а ее форма свидетельствует о короткой фазе максимального изгнания с дальнейшим выбросом большого объема крови в течение периода редуцированного изгнания. У велосипедистов же большая часть крови изгоняется из левого желудочка в период максимального изгнания, что, конечно, более экономично и свидетель-

ствуется о меньшей величине постнагрузки по сравнению с тяжелоатлетами. Необходимо отметить, что нагрузка на сердце со стороны артериальной системы преодолевается усилиями миокарда левого желудочка при каждом выбросе крови в аорту. Поэтому некоторыми авторами введено понятие входного импеданса артериальной системы, определяющего комплексность постнагрузки левого желудочка, формирующейся при динамическом воздействии миокарда левого желудочка, упругих стенок аорты и магистральных сосудов, а также ОПСС, регулирующего отток крови в капиллярное русло [2]. Как следует из полученных данных, величина ОПСС и высота инцизуры СФГ сонной артерии у велосипедистов меньше, чем у тяжелоатлетов. О связи высоты инцизуры СФГ и величины ОПСС отмечается в ряде исследований [1,3].

Интереса заслуживает большая СРПВ у тяжелоатлетов по сравнению с более медленным распространением пульсовой волны по артериям верхних конечностей у велосипедистов. Это свидетельствует о более эластическом состоянии стенок артерий у последних. Меньшие эластические свойства стенок артерий у тяжелоатлетов, видимо, связаны с сильно развитой мышечной системой верхних конечностей. Можно предположить, что одновременно с развитием скелетных мышц и повышением внутримышечного давления, блокирующего кровоток при статической нагрузке, увеличивается и тонус гладкомышечных элементов стенок кровеносных сосудов мышечного типа, к которым относятся артерии верхних конечностей. Имеется мнение и о том, что стрессорное воздействие спорта реализуется не только в кардиомиоцитах, но и в миоцитах артерий и артериол на основании выявления утолщения сосудистой стенки параллельно увеличению толщины миокарда [4,5].

Полученные данные свидетельствуют о том, что морфо-функциональные изменения сосудистой системы спортсменов отражают различные пути адаптации сердечно-сосудистой системы, и, в частности, гемодинамики, к нагрузкам в зависимости от типа мышечной деятельности (динамической и статической), что необходимо учитывать при оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы у спортсменов различных специализаций. Структурные же особенности артериального русла у спортсменов заслуживают более пристального внимания и глубокого изучения.

Эхокардиорграфический и сфигмографический показатели спортсменов ($M^+ - m$)

Вид спорта	ЭхоКГ			СФГ		
	УО, мл	ФВ, %	ОПСС, Дин.с.ам ⁻⁵	Время анакроты, с	Высота инцизуры, %	СРПВ, м/с
Велоспорт	75.83±1.37	61,86±1.78	1349.0±78.5	0.080±0.002	42,2±1.19	7.74±0,33
Тяжелая атлетика	65.53±1.39*	63.62±2.12	1823,3±45.5*	0.068±0.003*	62,1±2.17*	9.09±0.36*

* Статистически достоверное отличие.

**Տարբեր տիպի բեռնվածությունների նկատմամբ մարզիկների
հեմոդինամիկայի հարմարվողականության
առանձնահատկությունների մասին**

Մարզիկների անոթային համակարգի մորֆո-ֆունկցիոնալ փոփոխությունները արտացոլում են արյան շրջանառության հարմարվողականության տարբեր ուղիները, մասնավորապես, կախված մկանային զործունեության տեսակից (դինամիկ և ստատիկ): Այս հանգամանքը անհրաժեշտ է հաշվի առնել տարբեր մասնագիտացման մարզիկների սիրտ-անոթային համակարգի ֆունկցիոնալ վիճակը գնահատելիս:

Литература

1. *Валтнерис А. Д.* Сфигмография. Рига. 1996. 171 с.
2. *Богданов В.* - Тез. конф. "Человек в мире спорта". 1998 Т. 1. С. 141-143.
3. *Яуя Я. А.* Изменения сфигмографических показателей кровообращения человека под влиянием физической нагрузки. Автореф. канд. дис. Тарту. 1985. 18 с.
4. *Abergel E., Linhart A., Chatellier G. et al* - Am. Heart J. 1998. Nov. V. 136 N5. P. 818.
5. *Cuspidi C., Lonati L., Samprieri L. et al.* - J. Hypertens. 1996. Jun. V. 14. N6. P. 759-764.

ՍԱԹԵՍԱՏԻԿԱ

Ա. Բ. Ներսիսյան – Քվազիէքսպոնենցիալ ֆունկցիան և Ֆուրբեյի քվազիձևափոխությունները.	5
Ս. Ա. Նիզիյան, Ս. Ա. Ավետիսյան – Ոչ-տիպային λ -հաշվում անջատվող փոփոխականով ռեկուրսիվ հավասարումների լուծումների մասին.....	12
Կ. Լ. Ավետիսյան – Լիթվուդ-Պելլի տիպի անհավասարությունների մասին.....	20
Ս. Լ. Համբարյան – Պարզ արտադրիչների վերլուծման Ֆերմայի մեթոդի ընդհանրացումը.....	107
Ս. Լ. Համբարյան – Անսահմանափակ ճշտությամբ բաժանման ալգորիթմ.....	203
Ս. Լ. Համբարյան – Անսահմանափակ ճշտությամբ բաժանման ալգորիթմ.....	203
Կ. Լ. Ավետիսյան – Սահմանափակ պրոյեկտորներ խառը նորմով հարմոնիկ տարածությունների վրա.....	211
Ռ. Ա. Բաղդյան – Բեռնշտեյն-Հաուսդորֆի տիպի քվազիրազմանդամների զուգամիտությունը անսահմանափակ ֆունկցիաների վերաբերյալ.....	216
Լ.Զ. Գևորգյան – Հատված օպերատորի սպեկտրի նկարագրություն և միջանկյալ խնդիրներ .	309

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՍԱԹԵՍԱՏԻԿԱ

Ա. Վ. Պողոսյան – Դիֆերենցիալ հավասարումների մոտավոր սիմվոլիկ լուծման զուգամիտության մասին.....	24
Ա. Խ. Հայրապետյան – Հելմհոլցի հավասարման համար Դիրիլլեի խնդրի մոտավոր սիմվոլիկ լուծումը.....	31
Ա. Բ. Ներսիսյան, Ն. Վ. Հովհաննիսյան – Քվազիպարբերական ինտերպոլյացիա.....	115

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՍԱԹԵՍԱՏԻԿԱ

Գ. Լ. Արեշյան – Մակերեսների ինվերսիա.....	37
---	----

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Գ. Վ. Բերբերյան – Անհավաք բազմությունների պատկանելության աստիճանի որոշումը հիդրոգեներատորների ցերմային ախտորոշման համակարգում որոշումներ ընդունելու համար.....	222
--	-----

ԱՎՏՈՍԱՏԱՑՈՒՄ

Ս. Լ. Համբարյան – Անալիտիկ ծրագծում և նրա կիրառումը սխեմաների հապաղումների հաշվարկման խնդիրներում.....	40
--	----

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Դ. Մ. Սինասյան, Մ. Մ. Սինասյան – Նոր մոտավորություն գազի գերձայնային հոսանքում սալի ֆլատերի մասին խնդրում.....	49
--	----

Ս. Հ. Սարգսյան, Ա. Ժ. Ֆարմանյան – Առաձգականության ոչ սիմետրիկ տեսությամբ բարակ սալերի մարող լուծումների պայմանների գոյությունը.....	55
---	----

Մ. Ա. Զադոյան – Արագ պտտվող կոնական խողովակի պլաստիկական հոսքը.....	122
---	-----

Ս. Հ. Սարգսյան, Ա. Ժ. Ֆարմանյան – Ընդհանրացված օրթոգոնալությունն առաձգականության ոչ սիմետրիկ տեսության հարթ խնդրում.....	128
--	-----

Ի. Մ. Կարախանյան – Հեռավոր դաշտում հարմոնիկ ալիքի դիֆրակցիան առաձգական կիսաանվերջ ներդիրի վրա.....	230
--	-----

Կ. Ա. Կարապետյան -- Ապակեպլաստե խողովակների դեֆորմատիվ հատկությունները կրկնվող-ստատիկ միարանցք և կոմբինացված բեռնավորման դեպքում.....	317
---	-----

Ս. Մ. Սարգսյան, Մ. Ա. Զադոյան -- Անհամասեռ-բաղադրյալ սալերի թերլարվածային վիճակը.....	324
---	-----

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Բ. Լ. Աբրահամյան – Գլանաձև խողովակի թույլ մակերեսով վերջավոր հատվածում տեղադրված օղակաձև կոշտ երեսապատման սահմանային տատանումների մասին.....	61
--	----

Ս. Ա. Սելբումյան, Ա. Ժ. Գրիգորյան – Ներքին վերջավոր ուղղաձիգ ճեղքով թուլացված օրթո-	135
---	-----

տրուպ կիսահարթության մեջ կոշտ դրոշմի անհամաչափ ճնշման մասին.....	
<i>Ռ. Մ. Գեորգյան, Ե. Գ. Վիրաբյան</i> – Ամսեղմելի նյութից շրջանային օդակածն սալի առածգականության տեսության եզրային խնդիրների ասիմպտոտիկական լուծումները.....	237
<i>Ն. Ա. Մեվսիայան</i> - Առածգական սյունի սահքի վերաբերյալ.....	330
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆԱԶԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ	
<i>Ս. Ա. Մեյրումյան, Դ. Ս. Մեյրումյան</i> - Էլեկտրաառածգականության կոնտակտային հարթ խնդիրը բաղադրյալ կիսահարթության համար.....	336
ՖԻԶԻԿԱ	
<i>Դ. Մ. Սեդրակյան, Ա. Ժ. Խաչատրյան, Գ. Մ. Անդրեասյան</i> – Էլեկտրոնի ցրման խնդիրը միաչափ կամայական դաշտում, որն ունի անվերջությունների տարբեր ֆիքսված արժեքներ.....	142
<i>Ա. Մ. Իշխանյան</i> – Պոլյարիտոմային խնդրի լուծում անընդհատ սահմանի համար.....	245
ԶԻՍԻԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ	
<i>Ռ. Ս. Եսայան</i> – $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2$ համակարգի տատանումները մկաքագրող մոդելի ֆազային տարածության պարամետրական անալիզը.....	347
ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ	
<i>Գ. Լ. Արեշյան</i> – Ավտոմոմ սինխրոն գեներատորի դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը՝ արտահայտված հոսքակցումների միջոցով.....	252
<i>Գ. Լ. Արեշյան</i> - Ավտոմոմ սինխրոն գեներատորի հոսքակցումների օպերատորային հավասարումների լուծումը բեռի հավելման դեպքում.....	343
ՍԵՔԵՆԱՇԽՆՈՒԹՅՈՒՆ	
<i>Կ. Վ. Ալեքսանդրյան</i> – Սեքենաների ապահովիչ սարքերի պարամետրերի և աշխատանքի ռեժիմների որոշումը խոչընդոտների հետ բախման դեպքում.....	354
ՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ԶԻՍԻԱ	
<i>Վ. Վ. Դովլաթյան, Ֆ. Վ. Ավետիսյան, Տ. Զ. Պապոյան, Թ. Լ. Ջիվանշիրյան, Ա. Ֆ. Ենգոյան</i> – Էթիլէթրոմիզանյութի ռեակցիաները հալոգենիդների ֆունկցիոնալ ածանցյալների հետ.....	146
ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱ	
<i>Է. Ե. Խաչիյան</i> – Երկրաշարժի օջախի մակրոտեսանիկ պարամետրերով մրա էներգիայի որոշման մի մոտեցման մասին.....	66
<i>Ա. Կ. Մաթևոսյան</i> – Հարուցված բևեռացման ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշներ.....	76
<i>Ա. Կ. Մաթևոսյան</i> – Համարժեք էլեկտրական ազդեցության որոշումը՝ հարուցված ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշների միջոցով.....	150
ԵՐԿՐԱԷԿԱԼՈԳԻԱ	
<i>Ռ. Հ. Ռևազյան</i> – Բիոսֆերոլոգիան և շրջակա միջավայրի պահպանության հիմնախնդիրները.....	158
ԶՐԱՅԻՆ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐ	
<i>Հ. Վ. Թորմաջյան, Ա. Խ. Մարկոսյան, Ա. Վ. Սիմոնյան, Հ. Ֆ. Մեյրումյան, Վ. Բ. Սկրտչյան</i> – Հայաստանի ջրամատակարարման համակարգի տնտեսական անվտանգության հաշվարկարգի մասին.....	84
ԶՐԱՅԻՆ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐ	
<i>Հ. Վ. Թորմաջյան, Լ. Ա. Չիլինգարյան, Վ. Բ. Սկրտչյան, Հ. Ֆ. Մեյրումյան, Ա. Վ. Սիմոնյան</i> – Ջրային տնտեսության բնագավառում օգտագործվող եփմնական սահմանումները և հասկացությունները.....	164
<i>Է. Բ. Բարսեղյան</i> – Հայաստանի Հանրապետության տարածքի ջրամբարներից ֆիլտրացիոն կորուստների գնահատման հիդրոերկրաբանական պայմանների սխեմատիզացիայի մի քանի հարցեր.....	259
ՍՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	
<i>Ա. Զ. Փեկոյան</i> – <i>Salmonella derby</i> բջիջների թաղանթների կազմակերպվածությունը.....	171
<i>Մ. Օ. Սահակյան, Ա. Ա. Շահինյան, Ա. Զ. Փեկոյան, Կ. Գ. Ղարաբյոքյան</i> – Մարդու աղիքային միկրոֆլորայի <i>Escherichia coli</i> շտամների հակաբիոտիկակայունության որոշ տեսանկյուններ.....	178

ԿԵՆՍԱԼԶԻՄԻԱ

Գ. Մ. Սիմոնյան, Ն. Ա. Սերոպյան, Է. Ա. Բաշվորյան, Ս. Ա. Սիմոնյան, Կ. Գ. Ղարազյոզյան – Սևանա լճի *Coregonus lavaretus sevanicus* էրիթրոցիտների թաղանթներից ցիտոքրոմ b₅₅₈ ֆրակցիայի ստացումը և օպտիկա-սպեկտրային բնութագրերը..... 183

Լ. Ա. Սիմոնյան, Ա. Ա. Սիմոնյան, Կ. Գ. Ղարազյոզյան, Ի. Հ. Բատիկյան – Էներգետիկ փոխանակության առանձնահատկությունները միտոքոնդրիումներում փորձարարական միջավայրի դեպքում..... 265

Ա. Ջ. Փեփոյան – *Salmonella derby* ՈւՄ-զգայուն շտամների բջջապատերի կառուցվածքային փոփոխությունները և աճը՝ կախված միջավայրի թթվայնությունից..... 273

Ա. Ա. Գալոյան, Վ. Ա. Շախլամով, Լ. Ի. Կոնդակովա, Վ. Ի. Ալտուխովա, Գ. Պ. Պոլյակովա – Հիպոթալամուսի նոր պոլիմ-հարուստ պոլիպեպտիդի ազդեցության վերլուծությունը առնետի Հասսերյան հանգույցի ներիոմային ուռուցքային բջիջների մորֆոլոգիայի և միտոտիկ ակտիվության վրա (էլեկտրոնային և միկրոսկոպիական հետազոտություններ)..... 279

ԲԺՇԿԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Կ. Գ. Աղամյան, Մ. Գ. Աղաջանյան – Ֆունկցիոնալ փորձերի կիրառումը ստատիկ գործունեության նկատմամբ սիրտ-անոթային համակարգի հարմարվողականության գնահատման համար..... 287

Լ. Գ. Գիմոյան – Ուղեղային ինսուլտի կլինիկա-համաճարակաբանական բնութագիրը Հայաստանում 1985-1999 թթ..... 292

Լ. Հ. Ավագյան, Գ. Գ. Արծրունի - Առնետների մակերիկամների միջուկային նյութի անդրկառուցվածքային բնութագիրը արտաքին էլեկտրաստատիկ դաշտի ազդեցությունից հետո տարբեր ժամանակներում..... 361

ԿԱԶՄԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Թ. Ս. Ազիմցյան – Կենսաբանական թաղանթների կառուցվածքա-քիմիական կազմավորման և կենսազենեզի մասին..... 89

ԿԱԶՄԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Վ. Ի. Պողոսյան, Ծ. Լ. Հարությունյան, Թ. Ս. Ազիմցյան, Մ. Ա. Դանիելյան, Վ. Բ. Ֆանարջյան – Գորտի ողնուղեղի տարբեր սեգմենտների վրա պրոյեկցվող անդաստակային կորիզների նեյրոնների տարածական բաշխումը..... 298

Ի. Բ. Սելիքսեթյան – Ներվաթելերի միելինային թաղանթի հայտնաբերման մեթոդ..... 366

ԲՈՒՅՍԵՐԻ ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Վ. Հ. Ղազարյան, Վ. Ա. Դավթյան, Վ. Վ. Ղազարյան – Թփատեսակների պտղաբերման առատության կախվածությունը վեգետատիվ աճից..... 187

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ա. Ա. Հայրապետյան, Վ. Հ. Մալոյան, Ն. Ս. Մալոյան, Լ. Գ. Վահանյան, Է. Գ. Կոստանյան, Ի. Գ. Թադևոսյան, Ն. Է. Թադևոսյան – Հիշողության և ասոցիատիվ պրոցեսների հոգեֆիզիոլոգիական ուսումնասիրությունը երկլեզվայնության պայմաններում..... 96

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ն. Է. Թադևոսյան, Է. Գ. Կոստանյան, Ի. Գ. Թադևոսյան, Է. Գ. Գևորգյան, Լ. Գ. Վահանյան, Կ. Ա. Մանասյան – Կարճատև հիշողության արդյունավետության և դինամիկայի ուսումնասիրությունը երկլեզվայնության պայմաններում..... 192

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Դ. Ն. Խոդապեթյան, Ա. Ա. Գալոյան, Ա. Ս. Տեր-Սարկոսյան, Օ. Վ. Մկրտչյան Նոր ենթաթմբային նյարդապեպտիդի՝ գալարմինի ազդեցությունը գորտի մեկուսացված սրտի կծկողական ակտիվության վրա..... 371

Դ. Վ. Կարապետյան, Ա. Ս. Ամատունի - Առնետների ուղեղիկի ենթակեղևային նեյրոնների ֆոնային ազդակային ակտիվությունը դեֆերենտացիայի պայմաններում..... 377

Մ. Գ. Աղաջանյան – Տարբեր տիպի բեռնվածությունների նկատմամբ մարզիկների հեմոդինամիկայի հարմարվողականության առանձնահատկությունների մասին..... 383

МАТЕМАТИКА

<i>А. Б. Нерсисян</i> — Квазиэкспонента и квазипреобразования Фурье.....	5
<i>С. А. Нигиян, С. А. Аветисян</i> — О решениях рекурсивных уравнений с отделяющейся переменной в бестиповом λ -исчислении.....	12
<i>К. Л. Аветисян</i> — О неравенствах типа Литтлвуда — Пэли.....	20
<i>С. Л. Амбарян</i> — Обобщение метода Ферма разложения на простые множители.....	107
<i>С. Л. Амбарян</i> — Алгоритм деления с неограниченной точностью.....	203
<i>К. Л. Аветисян</i> — Ограниченные проекторы на гармонических пространствах со смешанной нормой.....	211
<i>Р. А. Багиян</i> — О сходимости квазиполиномов типа Бернштейна-Хаусдорфа к неограниченным функциям.....	216
<i>Л. З. Геворгян</i> — Описание спектра усеченного оператора и промежуточные проблемы.....	309

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

<i>А. В. Погосян</i> — О сходимости приближенного символьного решения дифференциальных уравнений.....	24
<i>А. Х. Айрапетян</i> — Приближенное символьное решение задачи Дирихле для уравнения Гельмгольца.....	31
<i>А. Б. Нерсисян, Н. В. Оганесян</i> — Квазипериодическая интерполяция.....	115

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

<i>Г. Л. Арешян</i> — Инверсия поверхностей.....	37
--	----

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>Г. В. Берберян</i> — Определение принадлежности нечетких подмножеств для принятия решений в системе тепловой диагностики гидрогенераторов.....	222
---	-----

АВТОМАТИЗАЦИЯ

<i>С. Л. Амбарян</i> — Аналитическая трассировка и ее применение в задачах расчета задержек схем.....	40
---	----

МЕХАНИКА

<i>Д. М. Минасян, М. М. Минасян</i> — Новое приближение в задаче о флаттере пластинки в сверхзвуковом потоке газа.....	49
<i>С. О. Саркисян, А. Ж. Фарманян</i> — Условия существования затухающих решений для тонких пластин по несимметричной теории упругости.....	55
<i>М. А. Задоян</i> — Пластическое течениебыстровращающейся конической трубы.....	122
<i>С. О. Саркисян, А. Ж. Фарманян</i> — Обобщенная ортогональность в плоской задаче несимметричной теории упругости.....	128
<i>И. М. Караханян</i> — Дифракция гармонической волны на упругом полубесконечном включении в дальнем поле.....	230
<i>К. А. Карапетян</i> — Деформативные свойства стеклопластиковых труб при повторно-статическом одноосном и комбинированном нагружениях.....	317
<i>С. М. Саргсян, М. А. Задоян</i> — Малонапряженное состояние неоднородно-составных плит.....	324

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

<i>Б. Л. Абрамян</i> — О сдвиговых колебаниях жесткой кольцевой облицовки, установленной на конечном слабом участке поверхности цилиндрической полости...	61
---	----

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- С. А. Мелкумян, А. Ж. Григорян* — О несимметричном вдавливании жесткого штампа в упругую ортотропную полуплоскость, ослабленную внутренним вертикальным конечным разрезом..... 135
- Р. С. Геворкян, Е. Г. Вирабян* — Асимптотические решения краевых задач теории упругости для круговой кольцевой пластины из несжимаемого материала..... 237
- Л. А. Мовсисян* — К сдвигу упругих колонн..... 330

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

- С. А. Мелкумян, Д. С. Мелконян* — Плоская контактная задача электроупругости для составной полуплоскости..... 336

ФИЗИКА

- Д. М. Седракян, А. Ж. Хачатрян, Г. М. Андреасян* — К задаче рассеяния электрона в поле неоднородного потенциала с различными фиксированными значениями в бесконечностях..... 142
- А. М. Ишханян* — Решение поляритонной задачи для плавной границы..... 245

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Р. С. Есаян* — Параметрический анализ фазового пространства модели, описывающей осцилляции в системе $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2$ 347

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Г. Л. Арешян* — Система дифференциальных уравнений автономного синхронного генератора, представленная через потокосцепления..... 252
- Г. Л. Арешян* — Решение операторных уравнений потокосцеплений автономного синхронного генератора при набросе нагрузки..... 343

- К. В. Александрян* — Определение параметров и режимов работы предохранительных устройств машин при их столкновении с препятствиями..... 354

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- В. В. Довлатян, Ф. В. Аветисян, Т. З. Папоян, Т. Л. Дживанширян, А. П. Егоян* — Реакции этилентиомочевины с функциональными производными галогенидов..... 146

ГЕОФИЗИКА

- Э. Е. Хачиян* — Об одном подходе к определению величины энергии землетрясения по макросейсмическим параметрам очага землетрясения..... 66

- А. К. Матевосян* — Интегральные амплитудно-временные параметры вызванной поляризации..... 76

- А. К. Матевосян* — Определение эквивалентного электрического воздействия по интегральным амплитудно-временным параметрам вызванной поляризации..... 150

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Р. Г. Реваян* — Биосферология и проблемы охраны окружающей среды..... 158

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

- О. В. Токмаджян, А. Х. Маркосян, А. В. Симонян, Г. Ф. Мелконян, В. Б. Мкртчян* — О концепции экономической безопасности системы водоснабжения Армении..... 84

- О. В. Токмаджян, Л. А. Чилингарян, В. Б. Мкртчян, Г. Ф. Мелконян, А. В. Симонян* — Основные понятия и определения, применяемые в области водного хозяйства.. 164

- Э. Б. Барсегян* — Некоторые вопросы схематизации гидрогеологических условий для оценки фильтрации из водохранилищ Республики Армения..... 259

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

- А. З. Пепоян* — Структурная организация мембран клеток *Salmonella derby*..... 171

- М. О. Саакян, А. А. Шагинян, А. З. Пепоян, К. Г. Карагезян* — Некоторые аспекты антибиотикорезистентности штаммов *Escherichia coli* из кишечной микрофлоры человека..... 178

БИОХИМИЯ

- Г. М. Симонян, Н. А. Серопян, М. А. Симонян, Э. А. Качворян, К. Г. Карагезян — Получение фракции цитохрома b_{558} из мембран эритроцитов *Coregonus lavaretus sevanicus* из оз. севан и ее оптические спектральные характеристики..... 183

БИОХИМИЯ

- Л. А. Симонян, А. А. Симонян, К. Г. Карагезян, И. Г. Батикян — Особенности энергетического обмена в митохондриях при экспериментальном миокардите..... 265

- А. З. Пепоян — Структурные изменения клеточных стенок и рост УФ-чувствительных штаммов *Salmonella derby* в зависимости от кислотности среды..... 273

- А. А. Галоян, В. А. Шахламов, Л. И. Кондакова, В. И. Алтухова, Г. П. Полякова — Влияние нового нейросекреторного пролин-богатого полипептида гипоталамуса на морфологию и митотическую активность опухолевых клеток неврином Гассерова узла крысы (электронно-микроскопические исследования)..... 279

МЕДИЦИНА

- К. Г. Адамян, М. Г. Агаджанян — Применение функциональных проб для оценки адаптации сердечно-сосудистой системы к статической деятельности..... 287

- Л. Г. Гимоян — Клинико-эпидемиологическая характеристика мозгового инсульта в Армении за 1985-1999 гг..... 292

- Л. А. Авакян, Г. Г. Арицун — Ультраструктурная характеристика мозгового вещества надпочечников крыс в различные сроки после воздействия внешнего электростатического поля..... 361

МОРФОЛОГИЯ

- Т. С. Аглинцян — О структурно-химической организации биологических мембран и их биогенезе..... 89

- В. И. Погосян, Ц. Л. Арутюнян, Т. С. Аглинцян, М. А. Даниелян, В. В. Фанарджян — Пространственное распределение нейронов вестибулярных ядер, проецирующихся к различным сегментам спинного мозга лягушки..... 298

- И. Б. Меликсетян — Метод выявления миелиновых оболочек нервных волокон. 366

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- В. О. Казарян, В. А. Дагян, В. В. Казарян — Зависимость обильности плодоношения от вегетативного роста кустарниковых пород..... 187

- Н. Э. Татевосян, Э. Г. Костанян, Э. Г. Геворкян, Л. Г. Ваганян, К. А. Манасян — Исследование продуктивности и динамики краткосрочной памяти в условиях двузвучия 192

- Д. Н. Худавердян, А. А. Галоян, А. С. Тер-Маркосян, О. В. Мкртчян — Влияние нового гипоталамического нейропептида галармина на сократительную активность изолированного сердца лягушки..... 371

- Р. В. Каранетян, А. С. Аматауни — Фоновая импульсная активность нейронов подкорковых ядер мозжечка крыс в условиях его деафферентации..... 377

- М. Г. Агаджанян — Об особенностях адаптации гемодинамики к различным типам нагрузки у спортсменов..... 383

CONTENTS OF VOLUME 101

MATHEMATICS

<i>A. B. Nersessian</i> – Quasiexponential function and Fourier quasitransforms	5
<i>S. A. Niginyan, S. A. Avetisyan</i> – On solutions of recursive equations with separable variable in untyped λ -calculus.....	12
<i>K. L. Avetisyan</i> – On Littlewood - Paley type inequalities.....	20
<i>S. L. Hambarian</i> – Generalization of Fermat's prime factorization method.....	107
<i>S. L. Hambarian</i> – Division algorithm the unlimited accuracy.....	203
<i>K. L. Avetisyan</i> – Bounded projections on harmonic mixed norm spaces.....	211
<i>R. A. Baghiyan</i> – About a convergence of Bernstein-Hausdorff type quasipolynomials to unbounded function.....	216
<i>L. Z. Gevorgyan</i> – A description of a truncated operator's spectrum and intermediate problems.....	309

NUMERICAL MATHEMATICS

<i>A. V. Poghosyan</i> – On the convergence of the approximate symbolic solution of differential equations.....	24
<i>A. Kh. Hayrapetyan</i> – Approximate symbolic solution of Dirichlet problem for Helmholtz equation	31

NUMERICAL MATHEMATICS

<i>A. B. Nersessian, N. V. Hovhannisyan</i> – Quasiperiodic interpolation.....	115
--	-----

APPLIED MATHEMATICS

<i>G. L. Areshian</i> – Inversion of surfaces.....	37
--	----

MEASURING TECHNOLOGY

<i>G. V. Berberyan</i> – Determination of the degree of belonging of fuzzy sets used for decision making in hydrogenerators thermal diagnostics system.....	222
---	-----

AUTOMATION

<i>S. L. Hambarian</i> – Analytical routing and its application in circuits delay calculation...	40
--	----

MECHANICS

<i>D. M. Minasyan, M. M. Minasyan</i> – New approach in the flutter problem of a plate in the gas supersonic flow.....	49
<i>S. O. Sarkisyan, A. G. Farmanyanyan</i> – Conditions of existence of damped solutions for thin plates on asymmetrical theory of elasticity.....	55

MECHANICS

<i>M. A. Zadoyan</i> – The plastic flow of the fast rotating conical tube.....	122
<i>S. O. Sarkisyan, A. G. Farmanyanyan</i> – Conditions of existence of damped solutions for thin plates on asymmetrical theory of elasticity.....	128

MECHANICS

<i>I. M. Karakhanyan</i> – Diffraction of harmonic wave on elastic semi infinite inclusion in far field.....	230
<i>K. A. Karapetyan</i> – Deformation of glass-plastic tubes under repeated-static uniaxial and combined loadings.....	317
<i>S. M. Sargsyan, M. A. Zadoyan</i> - On low stress-state of non-homogeneous compound plates Theory of elasticity.....	324

THEORY OF ELASTICITY

<i>B. L. Abrahamyan</i> – On axial shear vibrations of rigid circular facing, which is establish on finite weak region of surface cylindrical cavity.....	61
<i>S. A. Melkumyan, A. G. Grigoryan</i> – About unsymmetric pressing of the cruel stamp in the elastic ortotrop semi-plane, weakened by interior vertical final slit.....	135

<i>R. S. Gevorgyan, Ye. G. Virabyan</i> – Asimptotic solutions of boundary problems of elasticity theory for a circular ring plate of an incompressible material.....	237
<i>L. G. Movsisian</i> – On the shear of elastic columns.....	330
THEORY OF ELECTROELASTICITY	
<i>S. A. Melkumyan, D. S. Melkonyan</i> - Plane contact problem of electroelasticity for complex semi-plane.....	336
PHYSICS	
<i>D. M. Sedrakian, A. Zh. Khachatrian, G. M. Andreasyan</i> – To the problem of an electron scattering in the field of an one-dimensional potential having at infinities different fixed values.....	142
<i>A. M. Ishkhanyan</i> – Analytic treatment of the polariton problem for a smooth interface.....	245
CHEMICAL PHYSICS	
<i>R. S. Essayan</i> - Parametrical analysis of phase space of the model, describing oscillations in $\text{CH}_3\text{CHO}+\text{O}_2$ system.....	347
ELECTROTECHNICS	
<i>G. L. Areshian</i> – A system of differential equations of autonomous synchronous generator introduced through flux linkages.....	252
<i>G. L. Areshian</i> - The solution of operator flux linkage equations of autonomous synchronous generator during the load addition.....	343
MACHINE-BUILDING	
<i>K. V. Aleksandrian</i> – Construction substantiation and parameters calculation for safety devices when encountering the obstacles.....	354
ORGANIC CHEMISTRY	
<i>V. V. Dovlatyan, F. V. Avetisyan, T. Z. Papoyan, T. L. Djivanshiryan, A. P. Yengoyan</i> – The reaction of ethylthiourea with halogen functional derivatives.....	146
<i>A. K. Matevosyan</i> – Integral amplitudical and temporary parameters of induced polarization.....	150
GEOECOLOGY	
<i>R. H. Revasyan</i> – Biosperology and issues of environmental conservation.....	158
WATER RESOURCE	
<i>H. V. Tockmajyan, A. Kh. Markosyan, A. V. Simonyan, H. F. Melkonyan, V. B. Mkrtchyan</i> – The concept of economic safety of a water-supply system of Armenia.....	84
<i>H. V. Tockmajyan, V. B. Mkrtchyan, L. A. Chilingaryan, A. V. Simonyan, H. F. Melkonyan</i> – Main concepts and formulations used in the field of water facilities.....	164
<i>E. B. Barsegyan</i> – Some problems of a schematization a hydro-geological condition for an evaluation of a filtration from reservoirs of Republic of Armenia.....	259
MOLECULAR BIOLOGY	
<i>A. Z. Pepoyan</i> – Structural organization of Salmonella derby cell membranes.....	171
<i>M. O. Sahakian, A. A. Shahinian, A. Z. Pepoyan, K. G. Karageuzyan</i> – Several aspects of antibioticoresistancy of Escherichia coli strains from human normal intestinal microflora.....	178
<i>G. M. Simonyan, N. A. Seropyan, M. A. Simonayn, E. A. Kachvoryan, K. G. Karageuzyan</i> – The praparation and optical spectral characteristics of the fraction of cytochrome b_{558} from membranes of erythrocytes of Coregonus Lavaretus Sevanicus from lake Sevan.....	183
BIOCHEMISTRY	
<i>L. A. Simonyan, A. A. Simonyan, K. G. Karageuzyan, I. H. Batikyan</i> – Peculiarities of energetic metabolism in mitochondrias at experimental myocardit.....	265
<i>A. Z. Pepoyan</i> – Cell walls structural changes and growth in Salmonella derby cells depending from medium acidity.....	273
<i>A. A. Galoyan, V. A. Schachlamov, L. J. Kondakova, V. J. Altuchova, G. P. Polyakova</i> – Effect of a new hypothalamic neurosecretory proline-rich polypeptide on morphology and mitotic activity of tumos cells of nevrioma of rat Hasser node (electron-microscopic investigations).....	279

MEDICINE

<i>K. G. Adamyan, M. G. Aghajanyan</i> – Functional tests in evaluation of cardio-vascular adaptation to static loads.....	287
<i>L. G. Gimoyan</i> – The clinico-epidemiological characteristics of stroke incidents in Armenia in the period of 1985-1999.....	292
<i>L. H. Avagyan, G. G. Artsruni</i> - Ultrastructure characteristics of adrenals' medulla of rats at different terms after influence of the external electrostatic field.....	361

MORPHOLOGY

<i>T. S. Aglintsyan</i> —About the structural-chemical organization of biological membranes and their biogenesis	89
--	----

MORPHOLOGY

<i>V. I. Pogossian, Ts. L. Harutunyan, T. S. Aglintsyan, M. H. Danielyan, V. V. Fanardjian</i> – Spatial distribution the vestibular niclei neurons projecting to the different spinal cord segments in the frog.....	298
---	-----

<i>I. B. Meliksetyan</i> - A method of the revelation of nerve fiber myeline membranes.....	366
---	-----

PLANT PHYSIOLOGY

<i>V. O. Kazaryan, V A. Davtyan, V.V. Kazaryan</i> – Dependence on the abundance of the production of the shrubberies from the vegetatianal growth.....	187
---	-----

PHYSIOLOGY

<i>A. A. Hayrapetyan, V. A. Maloian, N. M. Maloian, L. G. Vaganian, E. G. Kostanian, I. G. Tatevosian, N. E. Tatevosian</i> – The psychophysiological study of memory and associative processes in bilingual conditions.....	96
--	----

<i>N. E. Tatevosian, E. G. Kostanian, L. G. Tatevosian, E. G. Gevorkian, L. G. Vahanian, K. A. Manasian</i> – The efficiency and dynamics of short-term memory in bilinguals.....	192
---	-----

<i>D. N. Khudaverdyan, A. A. Galoyan, A. S. Ter-Markosyan, O. V. Mkrtchyan</i> - The influence of the new hypothalamic neuropeptide galarminine on the contractive activity of the isolated frog heart.....	371
---	-----

<i>R. V. Karapetyan, A. S. Amatuni</i> - Background impulse activity of the deafferented subcortical neurones in the rat cerebellum.....	377
--	-----

<i>M. G. Aghajanyan</i> - About particularities of haemodynamic adaptation to various types of load in athletes.....	383
--	-----