

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

ISSN 0321-1339

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

2012

Երևան

Երևան

Yerevan

Հիմնադրվել է 1944 թ.: Լույս է տեսնում տարին 4 անգամ

Основан в 1944 г. Выходит 4 раза в год

Founded in 1944. Published quarterly

Գլխավոր խմբագիր՝ ակադեմիկոս Վ. Ս. ԶԱԽԱՐՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ ակադեմիկոս Է. Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ա. ԲՐՈՒՏՅԱՆ, ակադեմիկոս Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Ս. Ա. ՀԱՄԲԱՐՑՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Լ. Ռ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու. Հ. ՇՈՒԲՈՒՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ. Ս. ՍԵՂՈՒՅԱՆ, Գ. Ա. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ (պատ. քարտուղար)

Главный редактор академик В. С. ЗАХАРЯН

Редакционная коллегия: академик С. А. АМБАРЦУМЯН, академик Э. Г. АФРИКЯН, академик Г. Е. БАГДАСАРЯН, академик Г. А. БРУТЯН, академик Э. М. КАЗАРЯН, академик К. Г. КАРАГЕЗЯН, чл.-кор. НАН РА Л. Р. МАНВЕЛЯН (зам. главного редактора), академик Р. М. МАРТИРОСЯН, академик Д. М. СЕДРАКЯН, академик А. А. ТАЛАЛЯН, академик Ю. Г. ШУКУРЯН, Г. А. АБРАМЯН (отв. секретарь)

Editor-in-chief academician V. S. ZAKARYAN

Editorial Board: academician S. A. AMBARTSUMIAN, academician E. G. AFRIKIAN, academician G. E. BAGDASARIAN, academician G. A. BRUTIAN, academician K. G. KARAGEUZYAN, academician E. M. KAZARYAN, corresponding member of NAS RA L. R. MANVELYAN (associate editor), academician R. M. MARTIROSYAN, academician D. M. SEDRAKIAN, academician Yu. H. SHOUKOURIAN, academician A. A. TALALIAN, G. A. ABRAHAMYAN (executive secretary)

Խմբագրության հասցեն՝ 0019, Երեւան 19, Մարշալ Բաղրամյան պող. 24գ

Адрес редакции: 0019, Ереван 19, просп. Маршала Баграмяна 24г

Communication links: address – 24g Marshal Bagramian Ave., Yerevan, 0019, Armenia

Phone: (37410) 56-80-67 URL: <http://elib.sci.am> e-mail: mas@sci.am

© НАН РА. Президиум. 2012

© Издательство “Гитутюн”

НАН РА. 2012

ԲՈՎԱՆՂԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ

Գ. Է. Հարությունյան, ակադեմիկոս Ս. Կ. Շուքրյան, Ե. Ա. Ջորյան – Անսարքությունների և թեստ ալգորիթմների պարբերականության հիպոթեզ հիշող սարքերում և դրա կիրառումը հիշող սարքերի ներդրված ինքնաթեստավորող պրոցեսորի ճարտարապետությունում 229

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ա. Ն. Մարտիրոսյան, Ա. Ս. Դինունց, Ա. Վ. Դավթյան – Կամայական արագությամբ շարժվող հորիզոնական դրոշմի խնդրի լուծումը առաձգական կիսահարթության համար 239

Ս. Հ. Սարգսյան – Առաձգական բարակ թաղանթների դասական ճշգրտված տեսության կառուցումը միկրոպոլյար տեսությունից ելնելով..... 246

Ս. Վ. Բելուբեկյան, Ս. Ռ. Մարտիրոսյան – Ուղղանկյուն առաձգական սալի դիվերգենտ անկայունությունը գազի գերձայնային հոսքում 256

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Լ. Ա. Աղալովյան, Ռ. Ս. Գևորգյան, Լ. Գ. Ղուլլազարյան – GPS համակարգերի տվյալների հիման վրա Երկրագնդի լիտոսֆերային սալերի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակների որոշման մասին 264

ԱՍՏՂԱՖԻԶԻԿԱ

Ս. Ս. Գրիգորյան – Գալակտիկաներում «մութ» նյութի բնույթի մասին 273

ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ

Ի. Ա. Վարդանյան – Կրիտիկական երևույթները CH_3O_2 ռադիկալների օրգանական միացության հետ հետերոգեն փոխազդեցության ընթացքում ... 277

ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ

Հ. Ռ. Վարդապետյան, Ս. Ս. Բլբուլյան, Ս. Գ. Տիրացույան, Ա. Հ. Թոչունյան – *Hypericum perforatum*-ի էքստրակտների հակառադիկալային և հակաբակտերիալ հատկությունների ուսումնասիրությունը 282

ԿԵՆՍԱՖԻՍԻԿԱ

Ա. Գ. Գրիգորյան – Ածխաջրատների փոխանակության խանգարումներ կենդանիների մոտ հիպոկիսեզիայի պայմաններում 291

Ա. Ս. Ղարազուլյան – Նոր ցիան խումբ պարունակող լակտոնների ածանցյալի դերը թիմուսի բջջաթաղանթների ֆոսֆոինոզիտիդային ցիկլի բաղադրիչների փոխանակության կանոնավորման գործընթացում սարկոմա 45-ի ժամանակ 297

ՄԱՆԸՆԴԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ս. Ֆ. Շարիֆի Աղաբեկուր, Հ. Հ. Փանոսյան, Յու. Գ. Պոպով, Ա. Հ. Թոչունյան – Ջովշանի (Իրան) երկրաջերմային աղբյուրից բացիլների աերոբ թերմոֆիլ երկու շտամների մեկուսացումը և նույնականացումը 303

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ք. Վ. Ղազարյան, Ն. Գ. Հունանյան, Ն. Ն. Մելքոնյան – Արյունամատակարարման ազդեցությունը առնետի արգանդի պեյսմեկերային ակտիվության բնութագրերի վրա 312

Կ. Ա. Պանչուլազյան – Ձեռնարկչության գործունեության կադրային ռազմավարությունում անձնակազմի հոգեբանական և հոգեֆիզիոլոգիական հետազոտումը 320

Ա. Ս. Չոբանյան, Տ. Ս. Մարտիրոսյան, Հ. Հ. Մկրտչյան – Սինապտիկ ուսուցման պրոցեսի համակարգչային հետազոտություն 328

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА

- Г. Э. Арутюнян, С. К. Шукурян, Е. А. Зорян* – Гипотеза периодичности ошибок и тестовых алгоритмов для устройств памяти и ее применение в архитектуре процессора встроенного тестирования памяти 229

МЕХАНИКА

- А. Н. Мартиросян, А. С. Динунц, А. В. Давтян* – Решение задачи о горизонтальном штампе для упругой полуплоскости при движении с произвольной скоростью 239

- С. О. Саркисян* – Построение уточненной классической теории упругих тонких оболочек по микрополярной теории 246

- М. В. Белубекян, С. Р. Мартиросян* – Дивергентная неустойчивость прямоугольной упругой пластины, обтекаемой сверхзвуковым потоком газа 256

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- Л. А. Агаловян, Р. С. Геворкян, Л. Г. Гулгазарян* – К определению напряженно-деформированных состояний литосферных плит Земли на основе данных GPS систем 264

АСТРОФИЗИКА

- С. С. Григорян* – О природе «тёмной» материи в галактиках 273

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- И. А. Вардадян* – Критические явления при гетерогенном взаимодействии радикалов CH_3O_2 с органическим соединением 277

БИОФИЗИКА

- Г. Р. Вардапетян, С. С. Блбулян, С. Г. Тиращуян, А. А. Трчунян* – Исследование антирадикальных и антибактериальных свойств экстрактов *Hypericum perforatum* .. 282

БИОХИМИЯ

- А. Г. Григорян* – Нарушения углеводного обмена у животных при гипокинезии . 291

- А. С. Карагулян* – Роль нового производного цианосодержащих лактонов в регуляции метаболизма компонентов фосфоинозитидного цикла мембран клеток тимуса при саркоме-45 297

МИКРОБИОЛОГИЯ

- С. Ф. Шарифи Алгабпур, О. А. Паносян, Ю. Г. Попов, А. А. Трчунян* – Изолирование и идентифицирование двух аэробных термофильных бацилл из горячего источника Джовшана (Иран) 303

ФИЗИОЛОГИЯ

- К. В. Казарян, Н. Г. Унанян, Н. Н. Мелконян* – Влияние кровоснабжения на характеристики пейсмекерной активности матки крысы 312

- К. А. Панчулазян* – Психологическое и психофизиологическое исследование персонала в кадровой стратегии предпринимательской деятельности..... 320

- А. С. Чобанян, Т. С. Мартиросян, О. А. Мкртчян* – Компьютерные исследования процесса синаптического обучения 328

C O N T E N T S

INFORMATICS

- G. E. Harutyunyan, S. K. Shoukourian, Y. A. Zorian* – Fault and Test Algorithm Periodicity Hypothesis in Memory Devices and Its Application to Memory BIST Processor Architecture 229

MECHANICS

- A. N. Martirosyan, A. S. Dinunts, A. V. Davtyan* – Unsteady Problem on Dynamics of Stamps Moving with Arbitrary Velocity 239

- S. H. Sargsyan* – The Construction of Improved Classical Theory of Elastic Thin Shells on the Basis of Micropolar Theory 246

- M. V. Belubekyan, S. R. Martirosyan* – The Divergence Instability of the Elastic Rectangular Plate Streamlined by Supersonic Gas Flow 256

ELASTICITY THEORY

- L. A. Aghalovyan, R. S. Gevorgyan, L. G. Ghulghazaryan* – About Detection of Stress – Strain States of Lithospheric Plates of the Earth Based on GPS Systems Data . 264

ASTROPHYSICS

- S. S. Grigoryan* – On “Dark” Matter in Galaxies..... 273

CHEMICAL PHYSICS

- I. A. Vardanyan* – Critical Phenomena at Heterogeneous Interaction of CH_3O_2 Radicals with Organic Compound 277

BIOPHYSICS

- H. R. Vardapetyan, S. S. Blbulyan, S. G. Tiratsuyan, A. H. Trchounian* – Elucidation of Antiradical and Antibacterial Properties of *Hypericum Perforatum* Extracts 282

BIOCHEMISTRY

- A. G. Grigoryan* – Distortion of Carbohydrate Metabolism in Animals during Hypokinesia 291

- A. S. Karagulyan* – The Role of New Cyan Containing Lactones Derivative in Regulation of a Metabolism of Thymus Cells Membrane Phosphoinositide Cycle Components in Case of Sarcoma-45 297

MICROBIOLOGY

- S. F. Sharifi Alghabpoor, H. H. Panosyan, Yu. G. Popov, A. H. Trchounian* – Isolation and Identification of Two Aerobic Thermophilic Bacilli from Jowshan (Iran) Hot Spring 303

PHYSIOLOGY

- K. V. Kazaryan, N. G. Hunanyan, N. N. Melkonyan* – Effect of Blood Supply on Parameters of Pacemaker Activity of Rat Uterus 312

- K. A. Panchulazyan* – Psychological and Psychophysiological Investigation of Personal within Human Resources Strategy for Business Activity..... 320

- A. S. Chobanyan, T. C. Martirosyan, H. H. Mkrtchyan* – Computational Investigations of Synaptic Learning Process..... 328

a generic BIST architecture. Some explanations are adduced below to clarify the idea.

We consider the known classification of faults, basing on the following factors:

- Complexity of fault sensitization, i.e., the number of operations required to activate the fault.
- Number of cells that the fault involves.

Following this classification, the faults can be grouped into different classes. The number of classes and faults inside them increase with the technology shrinking (see [4]). We have done a systematic investigation of evolution for these fault classes and their detection algorithms, covering a broad range of manufacturing technologies from 90nm to 28nm. Results of this investigation led to determination of a hypothesis that some regularity and periodicity rules exist for that evolution. Moreover, the known property of symmetry (see [5]), which means that each fault usually has its twin, was developed further and a special symmetry measure was introduced to be used in test mechanisms (see [6]). This brought to a representation of the mentioned property in a form of a rule also.

It is proposed to describe all these rules in a form of a special fault periodic table (FPT). Each column of FPT corresponds to some functionality of a test mechanism, while each row of FPT corresponds to a fault family determined by the complexity of fault sensitization. Fault symmetry is also taken into account in FPT. An intersection of a given row and column determines a test algorithm for detection of the given fault family.

This table not only allows building of a generic BIST architecture that supports programmability of test algorithms without limitations mentioned above. It also allows detection of new faults which arise in the field after manufacturing within the same BIST. If these faults can be predicted beforehand then due to regularity of the FPT it is possible to include them into the range of faults covered by the built BIST architecture and to detect them further via programmability.

Another direction of FPT usage is the following. There can be faults that are not realistic in the current technology but can be predicted as realistic in the future technologies. These faults can be also reflected in the BIST architecture. This becomes actual in cases when it is planned to implement a given design, including the BIST design, on a new technology basis without making changes.

The dependencies and regularities in the FPT do not completely imply from the known results. During the investigation, several unknown before periodical dependencies and regularities, as well as unknown use of symmetry in test mechanisms were found, justified and included in the FPT.

Based on discovered fault and test mechanism periodicity and regularity we have defined a new generic architecture of BIST. It has two levels of BIST programmability: first level is test mechanism programmability and second level is test algorithm programmability. The proposed BIST architecture has the following advantages:

- Automatic generation of efficient test algorithms based on FPT;

- Complete programmability of test algorithms and test mechanisms;
- Flexible customization to the specific application and a possibility of finding the optimal trade-off between the area and BIST functionality.

2. Definitions and notations. The definition of the fault primitive concept (FP= $\langle S/F/R \rangle$), used to define memory faults, can be found in [7-9]. In the notation of FP, S is the sequence of test operations required for fault sensitization (e.g., 0W1, 1W0R0, etc.), $F \in \{0, 1\}$ is the observed memory behavior that deviates from the expected one. $R \in \{0, 1, -\}$ is the result of a read operation applied to the victim cell, in case if the last operation of S is a Read operation. “-” is used when the last operation of S is Write operation.

The difference between static and dynamic faults is determined by #S, the number of operations in S. Depending on #S, the memory faults can be classified into *static* or *dynamic* faults. Static faults are the faults sensitized by performing at most one operation ($\#S \leq 1$). Dynamic faults are the faults that can only be sensitized by performing more than one operation sequentially ($\#S > 1$). If $\#S=2$, the fault class will be named *class of two-operation dynamic faults* and, in general, if $\#S=n$, then it will be named *class of n-operation dynamic faults*.

The classification of faults can be done not only with respect to #S, but also with respect to #C, the number of different cells the fault involves. Depending on #C, a fault can be classified into *single-cell faults* involving a single cell ($\#C=1$), *two-cell (coupling) faults* that involve two cells ($\#C=2$) and, in general, *n-cell faults* involving n cells ($\#C=n$).

In the sequel, we will consider only the faults satisfying the following conditions: $\#C=1$ or $\#C=2$, $\#S \geq 0$. Several works (see [10,11]) show that these faults are the most realistic (probable) faults in nowadays memories.

Below we propose a new and simple notation to describe the faults. It is obtained from FP= $\langle S/F/R \rangle$ in the following way:

- Separate from S the cell initial value and the sensitizing sequence of test operations (*ssto*). For example, if $S=1W0R0$, then the initial value is 1 and *ssto* is W0R0.
- Do not use F and R since they can be easily obtained from S.

Notation 1. (x_v, S) denotes a single-cell fault, where $S=OP_1D_1, \dots, OP_nD_n$, $n \geq 0$, is a *ssto* applied to the victim cell, when the victim cell value is x_v . After fault sensitization the victim cell value becomes $\sim D_n$ if $S \neq \emptyset$, otherwise it becomes $\sim x_v$.

Notation 2. (x_a, x_v, S_v) denotes a two-cell (coupling) fault, where $S_v=OP_1D_1, \dots, OP_nD_n$, $n \geq 0$, is a *ssto* applied to the victim cell, when the victim cell value is x_v and the aggressor cell value is x_a . After fault sensitization the victim cell value becomes $\sim D_n$ if $S \neq \emptyset$, otherwise it becomes $\sim x_v$.

Notation 3. (x_a, S_a, x_v) denotes a two-cell (coupling) fault, where $S_a=OP_1D_1, \dots, OP_nD_n$, $n \geq 0$, is a *ssto* applied to the aggressor cell, when the aggressor cell value is x_a and the victim cell value is x_v . After fault sensitization the victim cell value becomes $\sim x_v$.

Definition 1. $FG(x, S)$ is a fault group that contains all faults that are sensitized by ssto S applied to a cell containing value x : $FG(x, S) = \{(x, S), (y, x, S), (x, S, y)\}$, $x, y \in \{0, 1\}$, $S = OP_1 D_1, \dots, OP_n D_n$, $n \geq 0$.

In case of two-cell faults, the relation (lower/higher address in the memory) between the aggressor cell “a” and the victim cell “v” is essential, since a test algorithm can detect the same coupling fault if $a < v$ and not detect if $a > v$. When we need to indicate the aggressor and victim cell relations for a fault, we will denote it by $a < v$ or $a > v$. For example, $(0, W1, 1)_{a < v}$.

A March test algorithm M is a test algorithm with a finite number of March elements $M = M_1; M_2; \dots; M_k$ (see [5]), where each March element M_i consists of an addressing order A_i and a finite number of Read/Write operations $M_i = A_i(O_1 D_1, \dots, O_m D_m)$:

- $A_i \in \{\square, \square, \uparrow\}$ - addressing order: $\square$ - ascending, $\square$ - descending, $\uparrow$ - arbitrary;
- $O_j \in \{R, W\}$ - test operations: R – Read, W – Write;
- D_j - background pattern.

Definition 2. $F_1 = (x_1, \{OP_{11} D_{11}, \dots, OP_{1k1} D_{1k1}\})$, $F_2 = (x_2, \{OP_{21} D_{21}, \dots, OP_{2k2} D_{2k2}\})$.

$F_3 = (y_1, x_1, \{OP_{11} D_{11}, \dots, OP_{1k1} D_{1k1}\})$, $F_4 = (y_2, x_2, \{OP_{21} D_{21}, \dots, OP_{2k2} D_{2k2}\})$.

$F_5 = (y_1, \{OP_{11} D_{11}, \dots, OP_{1k1} D_{1k1}\}, x_1)$, $F_6 = (y_2, \{OP_{21} D_{21}, \dots, OP_{2k2} D_{2k2}\}, x_2)$.

A pair of faults F_1 and F_2 (F_3 and F_4 , F_5 and F_6) is called a *pair of symmetric faults* (or *symmetric faults*) and denoted by $F_1 \leftarrow F_2$ (respectively, $F_3 \leftarrow F_4$, $F_5 \leftarrow F_6$), if it satisfies the following conditions:

- $k_1 = k_2$, $x_1 = \sim x_2$, $y_1 = \sim y_2$ (“ $\sim$ ” means opposite value);
- $OP_{11} = OP_{21}, \dots, OP_{1k1} = OP_{2k2}$ and $D_{11} = \sim D_{21}, \dots, D_{1k1} = \sim D_{2k2}$.

For example, $(0, \emptyset) \leftarrow (1, \emptyset)$, $(0, 1, W0R0) \leftarrow (1, 0, W1R1)$.

We can denote also $FG(x, S) \leftarrow FG(\sim x, \sim S)$ and call them as a *pair of symmetric fault groups* (or *symmetric fault groups*). This means that:

$\forall F \in FG(x, S), \exists G \in FG(\sim x, \sim S)$, that $F \leftarrow G$ and $\forall F \in FG(\sim x, \sim S), \exists G \in FG(x, S)$, that $F \leftarrow G$.

Definition 3. A pair of March elements $M_1 = A_1(O_{11} D_{11}, \dots, O_{1n1} D_{1n1})$ and $M_2 = A_2(O_{21} D_{21}, \dots, O_{2n2} D_{2n2})$ is called a *pair of symmetric March elements* and denoted by $M_1 \leftarrow M_2$, if it satisfies the following conditions:

- $n_1 = n_2$ and $OP_{11} = OP_{21}, \dots, OP_{1n1} = OP_{2n2}$;
- $(D_{11} = D_{21}, \dots, D_{1k1} = D_{2k2})$ OR $(D_{11} = \sim D_{21}, \dots, D_{1k1} = \sim D_{2k2})$.

Definition 4. March test $M = M_1; M_2; \dots; M_k$ is called *symmetric* if it satisfies one of the following conditions:

Condition A. March test M consists only of pairs of symmetric March elements.

Condition B. $M_1 = \uparrow(WD_1)$ and $M' = M_2; \dots; M_k$ satisfies Condition A.

Condition C. $M_k = \uparrow(RD_k)$ and $M' = M_1; \dots; M_{k-1}$ satisfies Condition A.

Condition D. $M_1 = \hat{\mathbb{J}}(WD_1)$, $M_k = \hat{\mathbb{J}}(RD_k)$ and $M' = M_2; \dots; M_{k-1}$ satisfies Condition A.

Four symmetric March tests are presented below. Each of them satisfies one of the conditions described in Definition 4.

$\square(W0, R0); \square(W1, R1)$ - satisfies Condition A.

$\hat{\mathbb{J}}(W0); \square(R0, W1); \square(R1, W0)$ (MATS+ [5]) - satisfies Condition B.

$\square(W0, R0, W1); \square(W1, R1, W0); \hat{\mathbb{J}}(R0)$ - satisfies Condition C.

$\hat{\mathbb{J}}(W0); \hat{\mathbb{I}}(R0, W1); \hat{\mathbb{I}}(R1, W0); \Downarrow(R0, W1); \Downarrow(R1, W0); \hat{\mathbb{J}}(R0)$ (March C-[5]) - satisfies Condition D.

Definition 5. A March test is called *partial-symmetric* if it is not a symmetric March test but contains at least one pair of symmetric March elements. For example, well-known March B test algorithm [5] is a partial-symmetric March test: March B: $\hat{\mathbb{J}}(W0); \hat{\mathbb{I}}(R0, W1, R1, W0, R0, W1); \hat{\mathbb{I}}(R1, W0, W1); \Downarrow(R1, W0, W1, W0); \Downarrow(R0, W1, W0)$.

3. Fault and test algorithm periodicity. To study the possible regularities in memory faults and test algorithms, we have investigated their evolution starting from 90nm to 45nm technology nodes. The investigations show that every new technology brings new and more complex faults. In its turn test algorithms also become more complex. The main regularities that we have noticed during our investigations are introduced below.

Regularity 1. Newly discovered faults have similar behavior as the known faults. For example, the same notation is usually used for description of known and new faults.

Regularity 2. For detection of a new fault, a new test algorithm is usually constructed/extended from an existing test algorithm. For example, March test $\hat{\mathbb{I}}(W0, W0, R0); \hat{\mathbb{I}}(W1, R1, R1)$ is constructed from March test $\hat{\mathbb{I}}(W0, R0); \hat{\mathbb{I}}(W1, R1)$.

Regularity 3. Each fault has its twin fault (e.g., Stuck-At-0 and Stuck-At-1). In other words, for each fault F there is a fault G, that $F \leftrightarrow G$ (symmetric faults).

Regularity 4. *Symmetric faults* are usually detected by symmetric March tests. For example, the pair (0, R0) and (1, R1) is detected by symmetric March test $\hat{\mathbb{I}}(W0, R0, R0); \hat{\mathbb{I}}(W1, R1, R1)$.

During investigation of fault and test algorithm regularity we have noticed that there is a periodicity in evolution of faults and test algorithms.

Fault periodicity hypothesis. Memory faults are evolved in periodic way. This means that the new faults are the periodic extensions of the existing faults.

Fault families. Based on the length of the *ssto* the faults can be divided into *fault families*. All faults that are sensitized by *ssto* of length k are from F_k -family. For example, $(0, \emptyset) \in FF_0$, $(0, 1, W1R1W0) \in FF_3$, $(1, W0R0R0R0, 1) \in FF_4$.

$FF_0 = \{FG(0, \emptyset), FG(1, \emptyset)\}$, $FF_1 = \{FG(0, W0), FG(1, W1), FG(0, W1), FG(1, W0), FG(0, R0), FG(1, R1)\}$.

Test algorithm periodicity hypothesis. Test algorithms are evolved in periodic way. This means that the new test algorithms are the periodic extensions of the existing test algorithms.

Let us compare March C- and March MSS1. March C- is a minimal March test for detection of all traditional faults, while March MSS1 is a minimal March test for detection of all static faults. Note that static faults are superset of traditional faults.

March C-: $\uparrow(W0); \uparrow(R0, W1); \uparrow(R1, W0); \downarrow(R0, W1); \downarrow(R1, W0); \uparrow(R0)$

March MSS1 [12]: $\uparrow(W0); \uparrow(R0, R0, W1, W1); \uparrow(R1, R1, W0, W0); \downarrow(R0, R0, W1, W1); \downarrow(R1, R1, W0, W0); \uparrow(R0)$

Both March tests has the same structure with a difference that Write and Read operations of 2nd, 3rd, 4th and 5th March elements in March MSS1 are doubled. This means that March MSS1 can be easily extended from March C-.

In memories the faults usually occur as *pairs of symmetric faults* (see Regularity 3). Since the *symmetric faults* are usually detected by symmetric March tests (see Regularity 4) we have developed a *March test template* to construct symmetric March tests. The template allows obtaining March tests without using time consuming March test generation tools.

March test template. Let us assume that S is the sequence of test operations, i.e., $S = OP_1 D_1, \dots, OP_k D_k, k \geq 0$ and $x \in \{0, 1\}$. *March test template* $MTT(x, S)$ has the following structure: $\uparrow(W(\sim D_k)); \uparrow([R(\sim D_k)], [W(x)], S); \uparrow([R(D_k)], [W(\sim x)], \sim S); \downarrow([R(\sim D_k)], [W(x)], S); \downarrow([R(D_k)], [W(\sim x)], \sim S); \downarrow(R(\sim D_k))$, where:

- $\sim S = OP_1(\sim D_1), \dots, OP_k(\sim D_k)$, if $k \geq 1$. $\sim S = \emptyset$, if $S = \emptyset$.
- $[W(x)]$ and $[W(\sim x)]$ are absent, if $S \neq \emptyset$ and $x = \sim D_k$, otherwise they are present;
- $[R(D_k)]$ and $[R(\sim D_k)]$ are absent, if $S \neq \emptyset, x = \sim D_k, OP_1 = R$, otherwise they are present;
- If $S = \emptyset$, then consider $D_k = x$.

All March tests obtained by MTT are symmetric. This is true since all the March tests obtained by MTT satisfy the Condition D of Definition 4.

Theorem 1. *The March test obtained by $MTT(x, S)$ detects all faults from $FG(x, S)$ and $FG(\sim x, \sim S)$.*

Proof. Let us show that March test obtained by MTT detects the considered faults. There can be 4 different cases depending on values x and S :

Case A: $S = \emptyset, x = \forall$. $MTA = \uparrow(W(\sim x)); \uparrow(R(\sim x), W(x)); \uparrow(R(x), W(\sim x)); \downarrow(R(\sim x), W(x)); \downarrow(R(x), W(\sim x)); \downarrow(R(\sim x))$.

Case B: $S = OP_1 D_1, \dots, OP_k D_k, k \geq 1, x = D_k$. $MTB = \uparrow(W(\sim x)); \uparrow(R(\sim x), W(x), S); \uparrow(R(x), W(\sim x), \sim S); \downarrow(R(\sim x), W(x), S); \downarrow(R(x), W(\sim x), \sim S); \downarrow(R(\sim x))$.

Case C: $S = OP_1 D_1, \dots, OP_k D_k, k \geq 1, x = \sim D_k$ and $OP_1 = W$. $MTC = \uparrow(W(x)); \uparrow(R(x), S); \uparrow(R(\sim x), \sim S); \downarrow(R(x), S); \downarrow(R(\sim x), \sim S); \downarrow(R(x))$.

Case D: $S=OP_1D_1, \dots, OP_kD_k, k \geq 1, x=\sim D_k$ and $OP_1=R$. $MTD=\uparrow(W(x)); \uparrow(S); \uparrow(\sim S); \downarrow(S); \downarrow(\sim S); \downarrow(R(x))$.

Table 1 shows the faults and the corresponding operations of March tests for sensitizing and detecting them for Case A. In the table, $MT_{i,j}$ denotes j^{th} component of i^{th} March element in March test MT, $i \geq 1, j \geq 1$. For example, $MTA_{3,1}$ means the first component (i.e., operation $R(x)$) of the third March element in March test MTA. It is easy to construct such tables for other cases (Cases B, C and D) as well.

March tests for detection of multiple fault groups. In order to construct a March test for detection of n pairs of *symmetric fault groups* $FG(x_1, S_1) \leftarrow FG(\sim x_1, \sim S_1), FG(x_2, S_2) \leftarrow FG(\sim x_2, \sim S_2), \dots, FG(x_n, S_n) \leftarrow FG(\sim x_n, \sim S_n)$, the following steps should be done:

Step 1. Construct a combined *ssto* CS which application to a cell containing value x will sensitize all the considered faults. For example, $CS=S_1, W(x_2), S_2, \dots, W(x_n), S_n$ applied to a cell containing value $x=x_1$.

Step 2. Obtain March test M by $MTT(x, CS)$ that will detect all the considered faults.

March tests for detection of fault families. Let us construct March test MT_0 for detection of all faults from F_0 -family. Since $FF_0=\{FG(0, \emptyset), FG(1, \emptyset)\}$, then $MT_0=MTT(0, \emptyset)=\uparrow(W0); \uparrow(R0, W1); \uparrow(R1, W0); \downarrow(R0, W1); \downarrow(R1, W0); \downarrow(R0)$. This is the well-known March C- test algorithm which is the minimal March test for detection of all traditional faults.

Now let us construct March test MT_1 for detection of all faults from FF_1 . $FF_1=\{FG(0, W1), FG(1, W0), FG(1, W1), FG(0, W0), FG(1, R1), FG(0, R0)\}$. To construct the combined *ssto*, the following cases should be considered: $W1$ should be applied to a cell containing value 0, $W1$ should be applied to a cell containing value 1, $R1$ should be applied to a cell containing value 1.

Table 1. Case A. Fault sensitization and detection

Fault Group	Fault	Sensitization	Detection	Fault Group	Fault	Sensitization	Detection
FG(x, $\emptyset$)	(x, $\emptyset$)	MTA _{2,2}	MTA _{3,1}	FG($\sim x$, $\emptyset$)	($\sim x$, $\emptyset$)	MTA _{1,1}	MTA _{2,1}
	(x, x, $\emptyset$) _{a<v}	MTA _{4,2}	MTA _{5,1}		(x, $\sim x$, $\emptyset$) _{a<v}	MTA _{2,2}	MTA _{2,1}
	(x, x, $\emptyset$) _{a>v}	MTA _{2,2}	MTA _{3,1}		(x, $\sim x$, $\emptyset$) _{a>v}	MTA _{4,2}	MTA _{4,1}
	($\sim x$, x, $\emptyset$) _{a<v}	MTA _{3,2}	MTA _{3,1}		($\sim x$, $\sim x$, $\emptyset$) _{a<v}	MTA _{3,2}	MTA _{4,1}
	($\sim x$, x, $\emptyset$) _{a>v}	MTA _{5,2}	MTA _{5,1}		($\sim x$, $\sim x$, $\emptyset$) _{a>v}	MTA _{1,1}	MTA _{2,1}
	(x, $\emptyset$, x) _{a<v}	MTA _{4,2}	MTA _{5,1}		($\sim x$, $\emptyset$, x) _{a<v}	MTA _{3,2}	MTA _{3,1}
	(x, $\emptyset$, x) _{a>v}	MTA _{2,2}	MTA _{3,1}		($\sim x$, $\emptyset$, x) _{a>v}	MTA _{5,2}	MTA _{5,1}
	(x, $\emptyset$, $\sim x$) _{a<v}	MTA _{2,2}	MTA _{2,1}		($\sim x$, $\emptyset$, $\sim x$) _{a<v}	MTA _{3,2}	MTA _{4,1}
	(x, $\emptyset$, $\sim x$) _{a>v}	MTA _{4,2}	MTA _{4,1}		($\sim x$, $\emptyset$, $\sim x$) _{a>v}	MTA _{1,1}	MTA _{2,1}

The combined *ssto* is W1W1R1, that should be applied to a cell containing value 0. $MT_1=MTT(0, W1W1R1)=\uparrow\downarrow(W0); \uparrow(R0, W1, W1, R1); \uparrow(R1, W0, W0, R0); \downarrow(R0, W1, W1, R1); \downarrow(R1, W0, W0, R0); \uparrow\downarrow(R0)$. This is the well-known March MSS [13] test algorithm which is the minimal March test for detection of all static faults.

Symmetry measure. In [6], a new method of symmetry measurement for March test algorithms is introduced. The dependency between symmetry measure and BIST optimization range is discussed. Based on the proposed metric and experiments, it is stated that the higher symmetry of a test algorithm brings to a greater BIST area saving.

In [14], an efficient test algorithm is generated by a new method that is sufficiently general and efficient to generate symmetric March test algorithms for different combinations of static and dynamic faults. The method is based on the observation that almost all known minimal or efficient March test algorithms are symmetric.

4. Fault Periodic Table. Since we have already stated about *fault periodicity* and *fault families*, we have tried to introduce the faults by a Fault Periodic Table (FPT) (see Table 2). In the table #C is the number of different cells the fault involves. Though we have restricted $\#C \leq 2$, the FPT can be extended also for cases $\#C > 2$. “SCF” stands for single-cell fault, TCFv–two-cell fault where *ssto* is applied to the victim cell and TCFa–two-cell fault where *ssto* is applied to the aggressor cell.

FPT allows studying and remembering the properties of a large number of faults in a simpler way. In FPT the locations of unknown/not discovered faults are left blank. Usually it becomes possible to predict them beforehand based on the properties of the existing faults.

Table 2. Fault Periodic Table (FPT)

Fault Family	Fault Group	#C=1	#C=2			
		SCF	TCFv	TCFv	TCFa	TCFa
FF ₀	FG(0, $\emptyset$)	(0, $\emptyset$)	(0, 0, $\emptyset$)	(1, 0, $\emptyset$)	(0, $\emptyset$, 0)	(0, $\emptyset$, 1)
	FG(1, $\emptyset$)	(1, $\emptyset$)	(1, 1, $\emptyset$)	(0, 1, $\emptyset$)	(1, $\emptyset$, 1)	(1, $\emptyset$, 0)
FF ₁	FG(0, W0)	(0, W0)	(0, 0, W0)	(1, 0, W0)	(0, W0, 0)	(0, W0, 1)
	FG(1, W1)	(1, W1)	(1, 1, W1)	(0, 1, W1)	(1, W1, 1)	(1, W1, 0)
	FG(0, W1)	(0, W1)	(0, 0, W1)	(1, 0, W1)	(0, W1, 0)	(0, W1, 1)
	FG(1, W0)	(1, W0)	(1, 1, W0)	(0, 1, W0)	(1, W0, 1)	(1, W0, 0)
	FG(0, R0)	(0, R0)	(0, 0, R0)	(1, 0, R0)	(0, R0, 0)	(0, R0, 1)
	FG(1, R1)	(1, R1)	(1, 1, R1)	(0, 1, R1)	(1, R1, 1)	(1, R1, 0)
FF ₂	FG(0, W0W0)	(0, W0W0)	(0, 0, W0W0)	(1, 0, W0W0)	(0, W0W0, 0)	(0, W0W0, 1)
	FG(1, W1W1)	(1, W1W1)	(1, 1, W1W1)	(0, 1, W1W1)	(1, W1W1, 1)	(1, W1W1, 0)
	FG(0, W0W1)	(0, W0W1)	(0, 0, W0W1)	(1, 0, W0W1)	(0, W0W1, 0)	(0, W0W1, 1)
	FG(1, W1W0)	(1, W1W0)	(1, 1, W1W0)	(0, 1, W1W0)	(1, W1W0, 1)	(1, W1W0, 0)

	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

5. Conclusions. Basing on a systematic investigation of faults and test algorithms during their evolution a periodicity and regularity of faults is discovered. A hypothesis on fault and test algorithm periodicity and their interdependence is proposed. According to this, Fault Periodic Table (FPT) and March test template (MTT) are created to reflect formally their interdependence. FPT allows to consider any large number of faults in one table and MTT allows to obtain March tests without March test generation tools. It is justified that the proposed MTT leads to effective test algorithms.

Synopsys

**G. E. Harutyunyan, academician S. K. Shoukourian,
foreign member of NAS RA Y. A. Zorian**

Fault and Test Algorithm Periodicity Hypothesis in Memory Devices and Its Application to Memory BIST Processor Architecture

This paper introduces a new approach for building a generic built-in self-test (BIST) processor architecture for memory testing that is based on a hypothesis of periodicity and regularity for faults and test algorithms. It is proposed to describe all the periodicity and regularity rules in a form of a special fault periodic table (FPT) and March test template (MTT). FPT allows to consider any large number of faults in one table and MTT allows to obtain March tests without using special tools for their generation.

**Գ. Է. Հարությունյան, ակադեմիկոս Ս. Կ. Շուքուրյան,
ՀՀ ԳԱԱ արտասահմանյան անդամ Ե. Ա. Զորյան**

**Անսարքությունների և թեստ ալգորիթմների պարբերականության
հիպոթեզ հիշող սարքերում և դրա կիրառումը հիշող սարքերի
ներդրված ինքնաթեստավորող պրոցեսորի ճարտարապետությունում**

Ներկայացվում է նոր մոտեցում՝ կառուցելու համընդհանուր ներդրված ինքնաթեստավորող պրոցեսորի ճարտարապետություն հիշող սարքերի թեստավորման համար, որը հիմնված է անսարքությունների և թեստ ալգորիթմների պարբերականության և կանոնավորության հիպոթեզի վրա: Առաջարկվում է պարբերականության և կանոնավորության բոլոր կանոնները նկարագրել անսարքությունների FPT պարբերական աղյուսակի և MTT Մարշ թեստի շարքի տեսքով: FPT-ն թույլ է տալիս նկարագրել կամայական մեծ քանակի անսարքություններ մեկ աղյուսակի մեջ, իսկ MTT-ն թույլ է տալիս ստանալ Մարշ թեստեր՝ առանց օգտագործելու դրանք ծնող հատուկ գործիքներ:

**Г. Э. Арутюнян, академик С. К. Шукурян,
иностраный член НАН РА Е. А. Зорян**

Гипотеза периодичности ошибок и тестовых алгоритмов для устройств памяти и ее применение в архитектуре процессора встроенного тестирования памяти

Предлагается новый подход к построению архитектуры универсального процессора встроенного тестирования для устройств памяти, основанный на гипотезе периодичности и регулярности ошибок. Предлагается описать все правила периодичности и регулярности в виде специальной периодической таблицы ошибок FPT и шаблона марш-тестов МТТ. FPT позволяет описать произвольно большое количество ошибок в единой таблице, а МТТ – получать марш-тесты без использования специальных средств их генерации.

References

1. *Boutobza S., Nicolaidis M., Lamara K.M., Costa A.* - International Test Conference. 2005. P. 1155-1164.
2. *Zarrineh K., Upadhyaya S. J.* - Conference on Design, Automation and Test in Europe. 1999. P. 708–713.
3. *Hakhumyan A., Harutyunyan G.* – International Conference on Computer Science and Information Technologies. 2011. P. 287-290.
4. *Hamdioui S., Wadsworth R., Reyes J. D., Van de Goor A. J.* - Journal of Electronic Testing: Theory and Applications (JETTA). 2004. V. 20., N 3. P. 245-255.
5. *Van de Goor A. J.* Testing semiconductor memories: Theory and Practice. 1991.
6. *Harutyunyan G., Hakhumyan A., Shoukourian S., Vardanian V., Zorian Y.* - Journal of Electronic Testing: Theory and Applications (JETTA). 2011. V. 27, N 6. P. 753-766.
7. *Van de Goor A. J., Al-Ars Z.* - VLSI Test Symposium, 2000. P. 281-289.
8. *Hamdioui S., Van de Goor A. J., Rodgers M.* - International Workshop on Memory Technology, Design, and Testing. 2002. P. 95-100.
9. *Hamdioui S., Gaydadjiev G. N., Van de Goor A. J.* - Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing. 2003. P. 84-89.
10. *Dilillo L., Girard P., Pravossoudovitch S., Virazel A.* - European Test Symposium. 2004. P. 140-145.
11. *Hamdioui S., Al-Ars Z., Van de Goor A. J.* - VLSI Test Symposium. 2002. P. 395-400.
12. *Harutyunyan G., Vardanian V. A., Zorian Y.* - VLSI Test Symposium. 2005. P. 53-59.
13. *Harutyunyan G., Vardanian V. A., Zorian Y.* –Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems, 2006. P. 260-265.
14. *Harutyunyan G., Shoukourian S., Vardanian V., Zorian Y.* - Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems (TCAD). 2012. V. 31. N 6. P. 941-949.

МЕХАНИКА

УДК 539.1

А. Н. Мартиросян, А. С. Динунц, А. В. Давтян

Решение задачи о горизонтальном штампе для упругой полуплоскости при движении с произвольной скоростью

(Представлено чл.-кор. НАН РА А. Г. Багдоевым 1/VII 2011)

Ключевые слова: метод свертки, движущийся штамп, смешанные граничные задачи.

В настоящей статье рассматривается упругая полуплоскость, в которой имеется горизонтальный штамп, движущийся вдоль границы при сквозном нулевом условии для нормального напряжения на границе. Получено выражение для σ_{xy}^- и вычислено значение коэффициента интенсивности напряжений, откуда видно, что на крае штампа имеется особенность вида $1/\sqrt{\ell(t)-x}$.

Решается плоская задача, когда вдоль границы изотропной упругой среды, занимающей полуплоскость $y>0$, движется горизонтальный штамп с произвольной скоростью по направлению оси Ox . Уравнения движения в перемещениях для изотропной упругой среды в плоском случае при отсутствии массовых сил имеют вид

$$\begin{aligned} a^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + b^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + (a^2 - b^2) \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} &= \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}, \\ a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + b^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + (a^2 - b^2) \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} &= \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где U, V – компоненты перемещений, a, b – скорости продольных и поперечных волн. Рассмотрим следующую сингулярную граничную задачу ($y=0$):

$$\sigma_{yy} = \rho \left[(\alpha^2 - 2b^2) \frac{\partial U}{\partial x} + \alpha^2 \frac{\partial V}{\partial y} \right] = 0, \quad -\infty < x < \infty;$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_{xy}^+ = \rho b^2 \left[\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right] = 0, x > \ell(t); \quad (2)$$

$$U = U_- = -PH(x - \xi)H(t - \tau), x < \ell(t);$$

$$U, V = O(r^{1/2}), r = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow 0 \quad (\text{условие на ребре}),$$

где $P = \text{const}$, ρ – плотность среды, $H(x)$ – единичная функция. При $t = 0$ имеем нулевые начальные условия. Решение задачи (2) ищется методом интегральных преобразований Лапласа по t и Фурье по x . Применяя это преобразование к уравнениям (1) и к граничному условию (2), получаем связь между перемещением и напряжением в виде

$$\bar{\bar{U}} = \bar{\bar{S}} \bar{\bar{\sigma}}_{xy}, \quad (3)$$

где

$$\bar{\bar{S}} = \frac{-s^2 \bar{\beta}_2}{b^4 \rho i R(\bar{\alpha})}, \bar{\beta}_n = i \sqrt{\frac{s^2}{c_n^2} + \bar{\alpha}^2}, c_1 = a, c_2 = b,$$

$$R(\bar{\alpha}) = \left(\frac{s^2}{b^2} + 2\bar{\alpha}^2 \right)^2 - 4\bar{\alpha}^2 \sqrt{\frac{s^2}{a^2} + \bar{\alpha}^2} \sqrt{\frac{s^2}{b^2} + \bar{\alpha}^2}.$$

Отметим, что оригинал $S(t, x)$, соответствующий $\bar{\bar{S}}$, равен $U(t, x)$ при $\sigma(t, x) = \delta(t) \delta(x)$, где δ – функция Дирака. Полагая $0 < \ell(t) < c_R$, функцию $\bar{\bar{S}}(\bar{\alpha}, s)$ можно представить в виде [4,5]

$$\bar{\bar{S}} = \bar{\bar{S}}_+ \bar{\bar{S}}_-,$$

где

$$\bar{\bar{S}}_+(\bar{\alpha}, s) = \frac{\sqrt{\frac{s}{b} - i\bar{\alpha}}}{\frac{s}{c_R} - i\bar{\alpha}} D_+ \left(i \frac{\bar{\alpha}}{s} \right),$$

$$\bar{\bar{S}}_-(\bar{\alpha}, s) = \frac{-a^2 \sqrt{\frac{s}{b} + i\bar{\alpha}}}{2\rho b^2 (a^2 - b^2) \left(\frac{s}{c_R} + i\bar{\alpha} \right)} D_- \left(i \frac{\bar{\alpha}}{s} \right), \quad (4)$$

$$D_{\pm} \left(i \frac{\bar{\alpha}}{s} \right) = 1 + \frac{1}{2\pi i} \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_1(u) du}{u \mp i \frac{\bar{\alpha}}{s}}, \quad D_{\pm}^{-1} \left(i \frac{\bar{\alpha}}{s} \right) = 1 + \frac{1}{2\pi i} \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_2(u) du}{u \mp i \frac{\bar{\alpha}}{s}},$$

$$\chi(u) = \frac{1}{\pi^{1/a}} \int \varphi(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta - u}, \quad (5)$$

$$F_1(u) = \gamma(u) \exp[\chi(u)], \quad F_2(u) = -\gamma(u) \exp[-\chi(u)],$$

$$\gamma(u) = \frac{\frac{4}{\pi} u^2 \sqrt{1/b^2 - u^2} \sqrt{u^2 - 1/a^2}}{\sqrt{(b^2 - 2u^2)^4 + 16u^4 (1/b^2 - u^2)(u^2 - 1/a^2)}}.$$

Из формулы (5) с помощью обратных преобразований, используя такие преобразования, как интегрирование по частям, дифференцирование по параметру под знаком интеграла, вычисление интеграла с помощью вычетов, учитывая (6), получаем

$$S_+(t, x) = \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ H\left(\frac{t-1}{x-a}\right) \left[1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{c_R} - \frac{1}{b}}}{\sqrt{\frac{1}{c_R} - \frac{t}{x}}} BH\left(\frac{1}{c_R} - \frac{t}{x}\right) H\left(\frac{t-1}{x} - \frac{1}{b}\right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \int_{t/x}^{1/b} \frac{\left(\frac{1}{b} - u\right) F_1(u) du}{\left(\frac{1}{c_R} - u\right) \sqrt{\frac{t}{x} - u}} du H\left(\frac{1}{b} - \frac{t}{x}\right) t \right] \right\}, \\ B = 1 - \int_{1/a}^{1/b} F_1(u) \frac{du}{1/c_R - u}. \quad (6)$$

Аналогичным образом, учитывая, что $\overline{\overline{P}}_{\pm} = 1/\overline{\overline{S}}_{\pm}$, можно получить выражение для оригинала $P_+(t, x)$ в следующем виде:

$$P_+(t, x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{c_R} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \right) \cdot \left\{ \left[D_+^{-1}\left(\frac{1}{b}\right) \delta\left(t - \frac{x}{b}\right) + \int_{1/a}^{1/b} F_3(h) \delta(t - hx) dh \right] \frac{H(x)}{\sqrt{x}} \right\}, \quad (7) \\ F_3(h) = 1 - \int_{1/b}^h \left[\frac{d}{du} \frac{F_2(u)}{\sqrt{1/b - u}} \right] \frac{du}{\sqrt{h - u}}, \quad D_+^{-1}\left(\frac{1}{b}\right) = 1 + \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_2(u) du}{u - 1/b},$$

функции $S_-(t, x); P_-(t, x)$ получаются из $S_+(t, x); P_+(t, x)$ заменой x на $-x$ и умножением, соответственно, на постоянные $-a^2(2pb^2(a^2 - b^2))^{-1}$ и $-2pb^2(a^2 - b^2)a^{-2}$. Обозначим $U(t, x) = U_+(t, x)$ при $x > \ell(t)$, $\sigma_{xy} = \sigma_{xy}^-(t, x)$ при $x < \ell(t)$. Из формулы (6), (7) нетрудно заметить, что функция $\overline{\overline{S}}(s, \bar{\alpha})$ такова, что указанная выше факторизация приводит к функциям $\overline{\overline{S}}_{\pm}, \overline{\overline{P}}_{\pm}$, оригиналы которых удовлетворяют условиям

$$S_+(t, x) = P_+(t, x) = 0 \text{ при } x < c_R t,$$

$$S_-(t, x) = P_-(t, x) = 0 \text{ при } x > -c_R t, -c_R < \dot{\ell}(t) = d\ell/dt < c_R. \quad (8)$$

Тогда для функций $U(t, x); \sigma_{xy}(t, x)$, как в [1-3], можно получить решение поставленной задачи в форме свертки по x, t в виде

$$U_+ = -S_+ ** \left[(P_+ ** U_-) H(x - \ell) \right], \sigma_{xy}^- = P_- ** \left[(P_+ ** U_-) H(\ell - x) \right]. \quad (9)$$

Поскольку из (1) имеем, что $U_- = -PH(x - \xi)H(t - \tau)$, можно с учетом (6) $P_+ ** U_-$ представить в виде

$$\begin{aligned} P_+ ** U_- = & \frac{P}{\sqrt{\pi}} \left\{ -\frac{b}{c_R} D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \frac{H(t - \tau) H(x - \xi - b(t - \tau))}{\sqrt{b} \sqrt{t - \tau}} - \right. \\ & - \frac{1}{c_R^{1/a}} \int \frac{^{1/b} F_3(u)}{\sqrt{u}} \frac{H(x - \xi - (t - \tau)/u)}{\sqrt{t - \tau}} du + D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \frac{H(x - \xi)}{\sqrt{x - \xi}} \cdot \\ & \cdot H\left(t - \tau - \frac{x - \xi}{b}\right) + \int \frac{^{1/b} F_3(u)}{\sqrt{u}} \frac{H(t - \tau - u(x - \xi))}{\sqrt{x - \xi}} du \left. \right\}. \quad (10) \end{aligned}$$

Подставляя выражения $P_+ ** U_-$ и $P_-(t, x)$ в (9), после громоздких вычислений получим

$$\begin{aligned} \sigma_{xy}^- = & \frac{2b^2(a^2 - b^2)\rho P}{a^2\pi} \left(D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \frac{b(1 + \dot{\ell}(t_0'')/c_R)}{b + \dot{\ell}(t_0'')} \cdot \right. \\ & \cdot \frac{H(t - t_0'')}{\sqrt{\ell(t_0'') - x}} I_1 + I_2 + I_3 + \left. \left(\frac{1}{c_R} \frac{\partial}{\partial \tau} - \frac{\partial}{\partial \xi} \right) I_4 \right), \quad (11) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} I_1 = & \sqrt{b} D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \frac{H(1 - L_0) H(t_0'' - \tau)}{\sqrt{t_0'' - \tau}} - D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \frac{H(\ell(t_0'') - \xi) H(L_0 - 1)}{\sqrt{\ell(t_0'') - \xi}} + \\ & + \frac{1}{c_R^{1/a}} \int \frac{^{1/b} F_3(u)}{\sqrt{u}} \frac{H(ub - L_0)}{\sqrt{u}} du - \int \frac{^{1/b} F_3(u)}{\sqrt{u}} \frac{H(L_0 - ub)}{\sqrt{\ell(t_0'') - \xi}} du, \\ I_2 = & D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \int \frac{^{1/b} F_3(h)}{\sqrt{u}} \frac{H(t - t_1'')}{\sqrt{\ell(t_1'') - x}} \frac{1 + \dot{\ell}(t_1'')/c_R}{1/h + \dot{\ell}(t_1'')} \cdot \\ & \cdot \left(\frac{b}{c_R} \frac{H(t_1'' - \tau) H(1 - L_1)}{\sqrt{b(t_1'' - \tau)}} - \frac{H(\ell(t_1'') - \xi) H(L_1 - 1)}{\sqrt{\ell(t_1'') - \xi}} \right) dh, \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_3 &= \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_3(h) H(t-t_1'')}{\sqrt{\ell(t_1'')-x}} \frac{1+\dot{\ell}(t_1'')/c_R}{1/h+\dot{\ell}(t_0'')} \int_{1/a}^{1/b} \left(\frac{H(bu-L_1)}{c_R \sqrt{u} \sqrt{t_1''-\tau}} - \frac{H(L_1-bu)}{\sqrt{\ell(t_1'')-\xi}} \right) F_3(u) du dh, \\
I_4 &= b \left[D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \right]^2 \left(\ln \left| \frac{\Phi_0-1}{\Phi_0+1} \right| H(L_0-1) + \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{T-1}{T+1}}-1}{\sqrt{\frac{T-1}{T+1}}+1} \right| H(1-L_0) - \frac{2}{c_R} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{t-t_0''}}{\sqrt{t_0''-\tau}} + \frac{2}{c_R} H(T-1) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{T-1}{T+1}} \right) \\
&\quad - \frac{2b\sqrt{b}D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right)}{c_R} \int_{L_0/b}^{1/b} \frac{F_3(u)}{\sqrt{u}} \left(\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{t-t_0''}}{\sqrt{t_0''-\tau}} - H(T-1) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{T-1}{ub}} \right) du + bD_+^{-1} \\
&\quad \left(\frac{1}{b} \right) \left[\ln \left| \frac{\Phi_0-1}{\Phi_0+1} \right| \int_{1/a}^{L_0/b} \frac{d}{du} \frac{2F_2(u) \sqrt{L_0-ub}}{\sqrt{1-ub}} du + \int_{L_0/b}^{1/b} F_3(h) \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{T-hb}{T+1}}-1}{\sqrt{\frac{T-hb}{T+1}}+1} \right| dh \right] - \\
&\quad - \frac{2bD_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right)}{c_R} \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_3(h)}{\sqrt{h}} \left(\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{t-t_1''}}{\sqrt{t_1''-\tau}} - H(T-1) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{T-1}{hb}} \right) dh - \\
&\quad - \frac{2}{c_R} \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_3(h)}{\sqrt{h}} dh \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_3(u)}{\sqrt{u}} \left(\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{t-t_1''}}{\sqrt{t_1''-\tau}} - H(bu-T) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{T-1}{ub}} \right) du + \\
&\quad + D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \int_{1/a}^{1/b} F_3(h) \left(\ln \left| \frac{\Phi_1+1}{\Phi_1-1} \right| H(L_1-1) + \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{T-1}{T+hb}}+1}{\sqrt{\frac{T-1}{T+hb}}-1} \right| H(1-L_1) \right) dh + \\
&\quad + \int_{1/a}^{1/b} F_3(h) dh \int_{1/a}^{1/b} F_3(u) \left(\ln \left| \frac{\Phi_1-1}{\Phi_1+1} \right| H(T-bu) + H(bu-T) \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{T-ub}{T+ub}}+1}{\sqrt{\frac{T-ub}{T+ub}}-1} \right| \right) du \\
T &= \frac{b(t-\tau)}{x-\xi}, \Phi_n = \sqrt{\frac{\ell(t_n'')-\xi}{\ell(t_n'')-x}}, L_n = \frac{b(t_n''-\tau)}{\ell(t_n'')-\xi}, F_3(h) = \int_{1/a}^h \frac{d}{du} \left(\frac{F_2(u)}{\sqrt{1/b-u}} \right) \frac{du}{\sqrt{h-u}},
\end{aligned}$$

$$\ell\left(t_n''\right)-x-\frac{t-t_n''}{h_n}=0, h_0=\frac{1}{b}, h_1=h, n=0;1.$$

Рассмотрим поведение решения (11) в окрестности точки смены граничных условий. Для этого вычислим коэффициент интенсивности напряжений при $x \rightarrow \ell(t)-0$. Так как при $x \rightarrow \ell(t)$ $t_n'' \rightarrow t$, то, записывая $\ell(t_n'') \approx \ell(t) + \dot{\ell}(t)(t_n'' - t)$ для малых $t_n'' - t$, можно получить $\ell(t_n'') - x \approx \ell(t) - x + \dot{\ell}(t)(t_n'' - t)$. Из (12), подставляя $t - t_n = h_n(\ell(t_n'') - x)$, формулу (11) можно записать в виде [2-4] $\ell(t_n'') - x \approx \ell(t) - x - h_n \dot{\ell}(t)(\ell(t_n'') - x)$ или

$$\frac{\ell(t) - x}{\ell(t_0'') - x} \rightarrow 1 + h_n \dot{\ell}(t) \text{ при } x \rightarrow \ell(t) - 0. \quad (13)$$

Из (11), (12) можно с учетом (13) сразу получить значение коэффициента интенсивности напряжений в виде

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \ell(t) - 0} \left(\sigma_{xy} \sqrt{\ell(t) - x} \right) = & \frac{2b^2 (a^2 - b^2) \rho P \left(1 + \frac{i(t)}{c_R} \right)}{a^2 \pi} \left\{ D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \right. \\ & \left(b D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) H(1 - T) - D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \sqrt{T} H(T - 1) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{c_R} \int_{1/a}^{1/b} \frac{\sqrt{b(t - \tau)}}{\sqrt{u}} F_3(u) H(ub - T) du - \int_{1/a}^{1/b} \sqrt{T} F_3(u) H(T - ub) du \right) + \\ & D_+^{-1} \left(\frac{1}{b} \right) \int_{1/a}^{1/b} \frac{h F_3(h)}{\sqrt{1 + h \dot{\ell}(t)}} \left(\frac{b}{c_R} \frac{H(1 - T)}{\sqrt{b(t - \tau)}} - \sqrt{T} \frac{H(T - 1)}{\sqrt{b(t - \tau)}} \right) dh + \\ & \left. + \int_{1/a}^{1/b} \frac{F_3(h) h}{\sqrt{1 + h \dot{\ell}(t)}} \int_{1/a}^{1/b} \left(\frac{\sqrt{b}}{c_R \sqrt{u}} \frac{H(ub - T)}{\sqrt{b(t - \tau)}} - \frac{\sqrt{T} H(T - ub)}{\sqrt{b(t - \tau)}} \right) F_3(u) du dh \right\}. \quad (14) \end{aligned}$$

В результате получается, что если под штампом задана постоянная нагрузка, имеется особенность вида $1/\sqrt{\ell(t) - x}$. Отметим, что можно получить коэффициент интенсивности напряжений и при произвольной нагрузке.

Горисский государственный университет

А. Н. Мартиросян, А. С. Динунц, А. В. Давтян

**Решение задачи о горизонтальном штампе для упругой
полуплоскости при движении с произвольной скоростью**

Методом сверток решается задача о движении горизонтального штампа с произвольной скоростью по границе упругой полуплоскости.

Ա. Ն. Մարտիրոսյան, Ա. Ս. Դինունց, Ա. Վ. Դավթյան

**Վամայական արագությամբ շարժվող հորիզոնական դրոշմի խնդրի
լուծումը առաձգական կիսահարթության համար**

Փաթույթների մեթոդով լուծված է հորիզոնական դրոշմի վերաբերյալ խնդիրը, երբ այն կամայական արագությամբ շարժվում է կիսահարթության մակերեսով:

A. N. Martirosyan, A. S. Dinunts, A. V. Davtyan

**Unsteady Problem on Dynamics of Stamps Moving with
Arbitrary Velocity**

By convolution method the problem on motion with arbitrary velocity on boundary of elastic half-plane the horizontal stamp are solved.

Литература

1. Багдоев А.Г., Мартиросян А.Н., Динунц А.С., Давтян А.В.- ДНАН РА. 2010. Т.110. N2. С.151-162.
2. Bagdоеv A.G., Martirosyan G.A., Martirosyan A.N., Dinunts A.S., Davtyan A.V. In: VII Int. Conf. "The Problems of Dynamics of Interaction of Deformable Media". Goris, Armenia. 2011. P. 8.
3. Мартиросян А. Н. Математические исследования нестационарных линейных граничных задач для сплошных сред. "Зангак-97". 2007. С. 244.
4. Винер Н., Пэли П. Преобразование Фурье в комплексной области. М. Наука. 1964. 268 с.
5. Мхитарян С.М., Шемян А.Л., Шемян Л. А. В кн.: Материалы VI междунар. конф. «Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред». Горис - Степанакерт. 2008. С. 345-349.

МЕХАНИКА

УДК 539.3

Член-корреспондент НАН РА С. О. Саркисян

Построение уточненной классической теории упругих тонких оболочек по микрополярной теории

(Представлено 7/X 2011)

Ключевые слова: микрополярная, классическая теории; упругий, тонкий, оболочка.

Введение. В [1, 2] указан круг важных задач статического и динамического характера, изучение которых по классической теории упругости приводит к ее некорректности или несостоятельности при объяснении определенных явлений, наблюдаемых в опытах. Причину этого следует искать в том, что классическая теория упругости как приближенная модель механики твердого деформируемого тела не в состоянии отобразить упругие свойства реальных тел, определяемые их дискретной-внутренней (атомно-молекулярной) структурой. В [1, 2] обосновывается моментная (несимметричная, микрополярная) теория упругости как следующая, высшая, модель механики деформируемого твердого тела, в которой явно отражены свойства реальных тел, вытекающие из их дискретной структуры.

В работах [3-7] на основе метода гипотез, который по существу отражает асимптотические свойства решения трехмерной граничной задачи микрополярной теории упругости в тонких областях [8,9], построены общие прикладные модели статики и динамики микрополярных упругих тонких оболочек (пластин) и балок с независимыми полями перемещений и вращений.

В данной работе рассматривается построение классической модели упругих тонких оболочек (пластин и балок) исходя из соответствующей микрополярной модели. Так как в микрополярных моделях оболочек (пластин и балок) полностью учитываются влияния поперечных сдвиговых деформаций как важные факторы в микрополярной теории со свободным вращением [3-7], понятно, что полученные на их основе классические модели будут уточненными моделями указанных тонких тел. Отметим, что как микрополярные модели [3-7], так и полученные на их основе уточнен-

ные классические модели упругих тонких оболочек (пластин и балок) будут асимптотически точными моделями.

1. Общая модель микрополярных упругих тонких оболочек с независимыми полями перемещений и вращений. Рассмотрим изотропную оболочку постоянной толщины $2h$. Будем исходить из уравнений и граничных условий трехмерной микрополярной теории упругости с независимыми полями перемещений и вращений [10], записанных в криволинейных ортогональных координатах α_k ($k=1,2,3$), принятых в теории оболочек. На лицевых поверхностях оболочки будем считать заданными соответствующие компоненты силового и моментного тензоров напряжений, а на поверхности края оболочки – либо силовые и моментные напряжения, либо перемещения и повороты (например условия полной заделки), либо смешанные условия (например, трехмерные условия шарнирного опирания).

Предположим, что толщина оболочки очень мала по сравнению с характерными радиусами кривизны срединной поверхности.

С учетом качественных результатов асимптотического решения граничной или начально-граничной задачи трехмерной микрополярной теории упругости в области тонкой оболочки (пластинки или прямоугольника) [8, 9] в основу построения общей прикладной теории микрополярных оболочек со свободным вращением были поставлены следующие достаточно общие предположения [3-7]:

1) в процессе деформации первоначально прямолинейные и нормальные к срединной поверхности волокна свободно поворачиваются в пространстве как жесткое целое на некоторый угол, не изменяя при этом своей длины и не оставаясь перпендикулярными к деформированной срединной поверхности.

Принятую гипотезу математически можем записать так: тангенциальные перемещения и нормальный поворот распределены по толщине оболочки по линейному закону:

$$V_i = u_i(\alpha_1, \alpha_2) + \alpha_3 \psi_i(\alpha_1, \alpha_2), \quad i = 1, 2, \quad (1.1)$$

$$\omega_3 = \Omega_3(\alpha_1, \alpha_2) + \alpha_3 \iota(\alpha_1, \alpha_2), \quad (1.2)$$

а нормальное перемещение и тангенциальные повороты не зависят от поперечной координаты α_3 :

$$V_3 = w(\alpha_1, \alpha_2), \quad (1.3)$$

$$\omega_i = \Omega_i(\alpha_1, \alpha_2), \quad i = 1, 2. \quad (1.4)$$

Отметим, что с точки зрения перемещений принятая гипотеза ((1.1), (1.3)) по сути дела совпадает с кинематической гипотезой Тимошенко в классической теории упругих оболочек [11-13]. Гипотезу (1.1)-(1.4) в целом, как в работах [3-7], назовем обобщенной кинематической гипотезой Тимошенко в микрополярной теории оболочек;

2) величинами α_3 / R_i по сравнению с единицей можно пренебрегать;

3) силовым напряжением σ_{33} в обобщенном законе Гука можно пре-

небрегать относительно силовых напряжений σ_{ii} ($i=1,2$);

4) при определении деформаций, изгибов-кручений, силовых и моментных напряжений для силовых напряжений σ_{3i} и моментного напряжения μ_{33} сначала примем

$$\sigma_{3i} = \sigma_{3i}^0(\alpha_1, \alpha_2), \quad \mu_{33} = \mu_{33}^0(\alpha_1, \alpha_2), \quad (i=1,2). \quad (1.5)$$

После вычисления указанных величин значения σ_{3i} и μ_{33} окончательно определим прибавлением к значениям (1.5) слагаемого, получаемого интегрированием соответствующих уравнений равновесия, для которых будем требовать, чтобы усредненные по толщине оболочки указанные величины были равны нулю.

Основная система уравнений общей прикладной модели микрополярных упругих тонких оболочек с независимыми полями перемещений и вращений будет иметь вид [5-7]:

уравнения равновесия

$$\begin{aligned} \frac{1}{A_i} \frac{\partial T_{ii}}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_j}{\partial \alpha_i} (T_{ii} - T_{jj}) + \frac{1}{A_j} \frac{\partial S_{ji}}{\partial \alpha_j} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} (S_{ji} + S_{ij}) + \frac{N_{i3}}{R_i} = -(q_i^+ + q_i^-), \\ \frac{1}{A_i} \frac{\partial M_{ii}}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_j}{\partial \alpha_i} (M_{ii} - M_{jj}) + \frac{1}{A_j} \frac{\partial H_{ji}}{\partial \alpha_j} + \\ \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} (H_{ji} + H_{ij}) - N_{3i} = -h(q_i^+ - q_i^-), \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_{11}}{R_2} + \frac{T_{22}}{R_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \left[\frac{\partial (A_2 N_{13})}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial (A_1 N_{23})}{\partial \alpha_2} \right] = q_3^+ + q_3^-, \\ \frac{1}{A_i} \frac{\partial L_{ii}}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_j}{\partial \alpha_i} (L_{ii} - L_{jj}) + \frac{1}{A_j} \frac{\partial L_{ji}}{\partial \alpha_j} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} (L_{ji} + L_{ij}) + \frac{L_{i3}}{R_i} + \\ + (-1)^j (N_{j3} - N_{3j}) = -(m_i^+ + m_i^-), \\ \frac{L_{11}}{R_1} + \frac{L_{22}}{R_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \left[\frac{\partial (A_2 L_{13})}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial (A_1 L_{23})}{\partial \alpha_2} \right] - (S_{12} - S_{21}) = (m_3^+ + m_3^-), \quad (1.7) \\ L_{33} - \frac{1}{A_1 A_2} \left[\frac{\partial (A_2 \Lambda_{13})}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial (A_1 \Lambda_{23})}{\partial \alpha_2} \right] - (H_{12} - H_{21}) = h(m_3^+ - m_3^-). \end{aligned}$$

соотношения упругости

$$\begin{aligned} T_{ii} = \frac{2Eh}{1-\nu^2} [\Gamma_{ii} + \nu \Gamma_{jj}], \quad S_{ij} = 2h[(\mu + \alpha)\Gamma_{ij} + (\mu - \alpha)\Gamma_{ji}], \\ M_{ii} = \frac{2Eh^3}{3(1-\nu^2)} [K_{ii} + \nu K_{jj}], \quad H_{ij} = \frac{2h^3}{3} [(\mu + \alpha)K_{ij} + (\mu - \alpha)K_{ji}], \quad (1.8) \\ N_{i3} = 2h(\mu + \alpha)\Gamma_{i3} + 2h(\mu - \alpha)\Gamma_{3i}, \quad N_{3i} = 2h(\mu + \alpha)\Gamma_{3i} + 2h(\mu - \alpha)\Gamma_{i3}, \\ L_{ii} = 2h \left[\frac{4\gamma(\beta + \gamma)}{\beta + 2\gamma} \kappa_{ii} + \frac{2\gamma\beta}{\beta + 2\gamma} \kappa_{jj} \right] + \frac{\beta}{\beta + 2\gamma} L_{33}, \end{aligned}$$

$$L_{ij} = 2h \left[(\gamma + \varepsilon) \kappa_{ij} + (\gamma - \varepsilon) \kappa_{ji} \right], \quad L_{33} = 2h \left[(\beta + 2\gamma) \iota + \beta (\kappa_{11} + \kappa_{22}) \right], \quad (1.9)$$

$$L_{i3} = 2h \left[\frac{4\gamma\varepsilon}{\gamma + \varepsilon} \kappa_{i3} + \frac{\gamma - \varepsilon}{\gamma + \varepsilon} \frac{m_i^+ - m_i^-}{2} \right], \quad \Lambda_{i3} = \frac{2h^3}{3} \left[\frac{4\gamma\varepsilon}{\gamma + \varepsilon} l_{i3} + \frac{\gamma - \varepsilon}{\gamma + \varepsilon} \frac{m_i^+ + m_i^-}{2h} \right].$$

геометрические соотношения

$$\Gamma_{ii} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial u_i}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} u_j + \frac{w}{R_i}, \quad \Gamma_{ij} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial u_j}{\partial \alpha_i} - \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} u_i - (-1)^j \Omega_3,$$

$$K_{ii} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \psi_i}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} \psi_j, \quad K_{ij} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \psi_j}{\partial \alpha_i} - \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} \psi_i - (-1)^j \iota, \quad (1.10)$$

$$\Gamma_{i3} = -\vartheta_i + (-1)^j \Omega_j, \quad \Gamma_{3i} = \psi_i - (-1)^j \Omega_j, \quad \vartheta_i = -\frac{1}{A_i} \frac{\partial w}{\partial \alpha_i} + \frac{u_i}{R_i},$$

$$\kappa_{ii} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \Omega_i}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} \Omega_j + \frac{\Omega_3}{R_i}, \quad \kappa_{ij} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \Omega_j}{\partial \alpha_i} - \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} \Omega_i, \quad (1.11)$$

$$\kappa_{i3} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \Omega_3}{\partial \alpha_i} - \frac{\Omega_i}{R_i}, \quad l_{i3} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \iota}{\partial \alpha_i}.$$

Здесь $i, j = 1, 2; i \neq j$.

граничные условия (при $\alpha_1 = \text{const}$)

$$T_{11} = T_{11}^* \quad \text{или} \quad u_1 = u_1^*, \quad S_{12} = S_{12}^* \quad \text{или} \quad u_2 = u_2^*, \quad N_{13} = N_{13}^* \quad \text{или} \\ w = w^*, \quad (1.12)$$

$$M_{11} = M_{11}^* \quad \text{или} \quad K_{11} = K_{11}^*, \quad H_{12} = H_{12}^* \quad \text{или} \quad K_{12} = K_{12}^*,$$

$$L_{11} = L_{11}^* \quad \text{или} \quad \kappa_{11} = \kappa_{11}^*, \quad L_{12} = L_{12}^* \quad \text{или} \quad \kappa_{12} = \kappa_{12}^*, \quad L_{13} = L_{13}^* \quad \text{или} \\ \kappa_{13} = \kappa_{13}^*, \quad (1.13)$$

$$\Lambda_{13} = \Lambda_{13}^* \quad \text{или} \quad l_{13} = l_{13}^*.$$

Система уравнений (1.6)-(1.11) микрополярных упругих тонких оболочек с независимыми полями перемещений и вращений представляет собой систему дифференциальных уравнений 18-го порядка с 9-ю граничными условиями (1.12), (1.13) на каждом из контуров срединной поверхности оболочки Γ . Это система из 52 уравнений относительно 52 неизвестных функций: $(u_i, w, \psi_i, \Omega_i, \Omega_3, \iota, \vartheta_i, T_{ii}, S_{ij}, N_{i3}, N_{3i}, M_{ii}, H_{ij}, L_{ii}, L_{ij}, L_{33}, L_{i3}, \Lambda_{i3}, \Gamma_{ii}, \Gamma_{ij}, \Gamma_{i3}, \Gamma_{3i}, K_{ii}, K_{ij}, \kappa_{ii}, \kappa_{ij}, \kappa_{i3}, l_{i3})$.

В модели (1.6)-(1.13) микрополярных упругих тонких оболочек с независимыми полями перемещений и вращений полностью учитываются поперечные сдвиговые и родственные им деформации.

Для составления динамической модели микрополярных упругих тонких оболочек следует в уравнения равновесия (1.7) ввести по принципу

Даламбера соответствующие силы и моменты инерции, а также задать начальные условия.

Отметим, что все основные зависимости для микрополярных пластин и балок можем получить как частные случаи модели микрополярных оболочек (1.6)-(1.13).

2. Общая (уточненная) модель упругих тонких оболочек на основе классической теории упругости. Как в трехмерном случае, так и в прикладной двумерной теории микрополярных оболочек с независимыми полями перемещений и вращений, для того чтобы перейти к соответствующей классической теории, необходимо вместо упругого постоянного α подставить ноль ($\alpha=0$). Тогда из трехмерной микрополярной теории будут отделяться основные уравнения классической теории упругости, а из прикладной двумерной теории микрополярных оболочек (1.6)-(1.13) будет отделяться классическая модель упругих тонких оболочек с учетом деформаций поперечных сдвигов.

Таким образом, основные уравнения и граничные условия классической уточненной теории упругих тонких оболочек, учитывающей деформации поперечных сдвигов, будут выражаться так:

$$\begin{aligned} & \text{уравнения равновесия} \\ & \frac{1}{A_i} \frac{\partial T_{ii}}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_j}{\partial \alpha_i} (T_{ii} - T_{jj}) + \frac{1}{A_j} \frac{\partial S_{ji}}{\partial \alpha_j} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} (S_{ji} + S_{ij}) + \frac{N_{i3}}{R_i} = -(q_i^+ + q_i^-), \\ & \frac{1}{A_i} \frac{\partial M_{ii}}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_j}{\partial \alpha_i} (M_{ii} - M_{jj}) + \frac{1}{A_j} \frac{\partial H_{ji}}{\partial \alpha_j} + \\ & + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} (H_{ji} + H_{ij}) - N_{3i} = -h(q_i^+ - q_i^-), \quad (2.1) \\ & \frac{T_{11}}{R_1} + \frac{T_{22}}{R_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \left[\frac{\partial (A_2 N_{13})}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial (A_1 N_{23})}{\partial \alpha_2} \right] = q_3^+ + q_3^-, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{соотношения упругости} \\ & T_{ii} = \frac{2Eh}{1-\nu^2} [\Gamma_{ii} + \nu \Gamma_{jj}], \quad M_{ii} = \frac{2Eh^3}{3(1-\nu^2)} [K_{ii} + \nu K_{jj}], \\ & S_{ij} = 2\mu h \tilde{\Gamma}_{ij}, \quad H_{ij} = \frac{2h^3}{3} \mu \tilde{K}_{ij}, \quad N_{i3} = N_{3i} = 2\mu h \cdot \tilde{\Gamma}_{i3} = 2\mu h \tilde{\Gamma}_{3i}. \quad (2.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{геометрические соотношения} \\ & \Gamma_{ii} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial u_i}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} u_j + \frac{w}{R_i}, \quad K_{ii} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \psi_i}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} \psi_j, \\ & \tilde{\Gamma}_{12} = \tilde{\Gamma}_{21} = \Gamma_{12} + \Gamma_{21} = \left(\frac{1}{A_1} \frac{\partial u_2}{\partial \alpha_1} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} u_1 \right) + \left(\frac{1}{A_2} \frac{\partial u_1}{\partial \alpha_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} u_2 \right), \quad (2.3) \\ & \tilde{K}_{12} = \tilde{K}_{21} = K_{12} + K_{21} = \left(\frac{1}{A_1} \frac{\partial \psi_2}{\partial \alpha_1} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} \psi_1 \right) + \end{aligned}$$

$$+\left(\frac{1}{A_2} \frac{\partial \psi_1}{\partial \alpha_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \psi_2\right),$$

$$\tilde{\Gamma}_{i3} = \tilde{\Gamma}_{3i} = \Gamma_{i3} + \Gamma_{3i} = -\mathfrak{A}_i + \psi_i.$$

Здесь $i, j = 1, 2, \quad i \neq j$.

Граничные условия (при $\alpha_1 = const$)

$$\begin{aligned} T_{11} = T_{11}^* \text{ или } u_1 = u_1^*, \quad S_{12} = S_{12}^* \text{ или } u_2 = u_2^*, \quad N_{13} = N_{13}^* \text{ или } \\ w = w^*, \\ M_{11} = M_{11}^* \text{ или } K_{11} = K_{11}^*, \quad H_{12} = H_{12}^* \text{ или } K_{12} = K_{12}^*, \end{aligned} \quad (2.4)$$

На основе принципа Даламбера из модели классической уточненной теории статики тонких оболочек (2.1)-(2.4) можем перейти к соответствующей уточненной динамической модели.

Уточненные классические модели для упругих тонких пластин и балок с учетом поперечных сдвиговых деформаций можем получить как частные случаи теории оболочек (2.1)-(2.4).

Весьма важно отметить, что классическую теорию упругих оболочек с учетом поперечных сдвигов (2.1)-(2.4) можем построить также самостоятельно исходя непосредственно из трехмерных уравнений и граничных условий классической теории упругости на основе следующей системы гипотез: 1) кинематическая гипотеза для перемещений (1.1), (1.3) (кинематическая гипотеза Тимошенко); 2) гипотеза о тонкостенности оболочки; 3) статическая гипотеза о пренебрежении напряжением σ_{33} по сравнению с напряжениями σ_{ii} , 4) гипотеза, которую теперь необходимо отнести только к силовым напряжениям σ_{3i} .

3. Задача о распространении волн в упругой полосе (сравнение результатов точной и прикладной теории). Как было отмечено для построения общей прикладной модели микрополярных упругих тонких оболочек с независимыми полями перемещений и вращений, принятые гипотезы 1)-4) являются результатом качественной стороны асимптотического решения трехмерной задачи микрополярной теории упругости в области тонкой оболочки (пластинки или прямоугольника). Так или иначе возникает вопрос о связи точного решения граничной задачи микрополярной теории упругости с решением соответствующей задачи на основе построенной прикладной теории оболочек (пластин или балок).

Как модельную задачу рассмотрим задачу о распространении волн в упругой полосе (плоская задача). Эта задача в рамках микрополярной теории упругости рассмотрена в работе [14], в которой на основе изучения точного дисперсионного уравнения показано, что в случае длинных волн точность прикладной теории микрополярной балки (одномерная задача) выражается формулой

$$1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2 \approx 1, \quad (3.1)$$

где l – длина волны, $2h$ – толщина полосы.

Рассмотрим теперь аналогичную задачу распространения волн в полосе в рамках классической динамической теории упругости (плоская задача) [10].

Будем считать, что в полосе в направлении x_1 ($-\infty < x_1 < +\infty$) распространяется периодическая волна с фазовой скоростью c . Определяя общее решение системы уравнений плоской динамической задачи классической теории упругости и удовлетворяя однородным граничным условиям для напряжений на лицевых линиях полосы ($x_2 = \pm h$), в итоге приходим к дисперсионному уравнению [10] (для антисимметричной по x_2 задачи, т.е. для задачи изгиба полосы):

$$\frac{thkh\sqrt{1-\frac{c^2}{a^2}}}{thkh\sqrt{1-\frac{c^2}{b^2}}} = \frac{\left(2-\frac{c^2}{b^2}\right)^2}{4\sqrt{1-\frac{c^2}{a^2}}\sqrt{1-\frac{c^2}{b^2}}}, \quad (3.2)$$

где $a^2 = \frac{\lambda+2\mu}{\rho}$, $b^2 = \frac{\mu}{\rho}$; k – волновое число.

Если длина волны $l = \frac{2\pi}{k}$ очень велика по сравнению с толщиной полосы $2h$, то величины аргументов у гиперболических тангенсов в (3.2) будут малы при конечном значении c . В работе [10] гиперболические тангенсы в (3.2) заменены первыми членами в разложении соответствующего степенного ряда и таким образом обоснована классическая теория упругих балок. Заменяя в уравнении (3.2) гиперболические тангенсы первыми двумя членами в разложении соответствующего степенного ряда, в результате некоторых преобразований указанное дисперсионное уравнение можем привести к следующему окончательному виду:

$$\frac{\omega^2}{b^2} + \frac{4}{3}k^2h^2\zeta\frac{\omega^2}{b^2} - \frac{4}{3}k^4h^2\zeta - \frac{h^3}{3}\frac{\omega^4}{b^4} + \frac{h^2}{3}\frac{\omega^2k^2}{b^2} = 0, \quad (3.3)$$

где $\omega = ck$, $\zeta = 1 - \frac{b^2}{a^2}$.

Рассмотрим поставленную задачу о распространении волны в направлении оси x_1 на основе прикладной одномерной теории динамического изгиба упругой балки.

Основные уравнения и граничные условия этой классической модели изгиба балки (без кручения) можем получить из общей модели упругой тонкой оболочки (2.1)-(2.4):

$$\begin{array}{c} \text{уравнения движения} \\ \frac{\partial N_{13}}{\partial x_1} - 2\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad N_{13} - \frac{\partial M_{11}}{\partial x_1} + \rho \frac{2h^3}{3} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial t^2} = 0 \end{array} \quad (3.4)$$

соотношения упругости

$$N_{13} = \frac{2Eh}{2(1+\nu)} \Gamma_{13}, \quad M_{11} = \frac{2Eh^3}{3(1-\nu^2)} K_{11} \quad (3.5)$$

геометрические соотношения

$$\Gamma_{13} = \psi_1 + \frac{\partial w}{\partial x_1}, \quad K_{11} = \frac{\partial \psi_1}{\partial x_1}. \quad (3.6)$$

Решение системы уравнений (3.4)-(3.6) представим в виде распространения периодической волны вдоль оси балки x_1 ($-\infty < x_1 < +\infty$)

$$\psi_1 = Ae^{i(kx_1 - \omega t)}, \quad w = Be^{i(kx_1 - \omega t)}. \quad (3.7)$$

Подставляя (3.7) в уравнения (3.4)-(3.6), относительно неизвестных коэффициентов A и B получим алгебраическую систему однородных уравнений. Приравняв к нулю определителя этой системы приходим к дисперсионному уравнению в рамках прикладной модели упругой балки (3.4)-(3.6). После некоторых преобразований это дисперсионное уравнение примет вид (3.3).

Закключение. На основе модели микрополярных упругих тонких оболочек получена модель классической теории упругих тонких оболочек с учетом поперечных сдвиговых деформаций (уточненная классическая модель). Показано, что классическую уточненную теорию упругих тонких оболочек можно получить из трехмерной классической теории упругости на основе систем гипотез 1)-4). Гипотеза 1) – известная кинематическая гипотеза теории оболочек типа Тимошенко в классической теории упругости; гипотезы 2) и 3) тоже входят в систему гипотез Тимошенко; гипотеза 4) представляет совершенно новый подход (основанный на асимптотическом анализе граничной задачи трехмерной теории упругости в области тонкой оболочки) к определению касательных сдвиговых напряжений σ_{31} и σ_{32} . В известной работе [15] показано, что теория типа Тимошенко – Рейсснера, основанная на гипотезах 1)-3), асимптотически не совсем точна.

В данной работе показано, что построенная на основе гипотез 1)-4) двумерная теория упругих тонких оболочек (пластин и балок) является асимптотически точной.

Гюмрийский государственный педагогический
институт им. М. Налбандяна

Член-корреспондент НАН РА С. О. Саркисян

Построение уточненной классической теории упругих тонких оболочек по микрополярной теории

На основе метода гипотез, подтвержденного асимптотически, построена общая теория микрополярных упругих тонких оболочек с независимыми полями

перемещений и вращений. Получена классическая уточненная теория упругих тонких оболочек с учетом поперечных сдвиговых деформаций. Рассмотрена задача распространения гармонических волн в бесконечной полосе на основе систем уравнений и граничных условий плоской классической теории упругости и построенной классической модели упругих балок. Показано, что в случае длинных волн результаты обоих подходов совпадают.

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ս. Հ. Սարգսյան

Առաձգական բարակ թաղանթների դասական ճշգրտված տեսության կառուցումը միկրոպոլյար տեսությունից ելնելով

Ասիմպտոտիկ հիմնավորում ունեցող վարկածների մեթոդի հիման վրա կառուցվում է ազատ պտույտներով միկրոպոլյար առաձգական բարակ թաղանթների ընդհանուր տեսությունը: Միկրոպոլյար թաղանթների այս մոդելի հիման վրա ստացված է առաձգական բարակ թաղանթների դասական ճշգրտված տեսությունը: Դիտարկվում է անվերջ շերտում հարմոնիկ ալիքների տարածման խնդիրը առաձգականության հարթ տեսության դրվածքով և առաձգական բարակ հեծանների կառուցված դասական մոդելի հիման վրա: Ցույց է տրվում, որ երկար ալիքների դեպքում այս երկու մոտեցումներով ստացվում է միևնույն արդյունքը:

Corresponding member of NAS RA S. H. Sargsyan

The Construction of Improved Classical Theory of Elastic Thin Shells on the Basis of Micropolar Theory

On the basis of asymptotically confirmed hypotheses method the general theory of micropolar elastic thin shells with free fields of displacements and rotations is constructed. The classical theory of elastic thin shells with consideration of transverse shifts is obtained. The problem of distribution of harmonic waves in the infinite strip is studied on the basis of the system of equations and boundary conditions of plane classical theory of elasticity and constructed classical model of elastic bars. It is shown that in the case of long waves results of the mentioned two approaches are the same.

Литература

1. Морозов Н.Ф. Избранные двумерные задачи теории упругости. Л. Изд-во ЛГУ 1978. 182 с.
2. Савин Г.Н. Основы плоской задачи моментной теории упругости. Киев. Изд-во КГУ. 1965. 162 с.
3. Саркисян С.О. - ДНАН Армении. 2011. Т. 111. N 2. С. 121-128.
4. Саркисян С.О. – Изв. НАН Армении. Механика. 2011. Т. 64. № 1. С. 58-67.
5. Саркисян С.О. – Изв. НАН Армении. Механика. 2011. Т. 64. N 2. С. 52-62.
6. Саркисян С.О. - ДАН России. 2011. Т. 436. № 2. С. 195-198.
7. Саркисян С.О. – Физическая мезомеханика. 2011. Т. 14. N 1. С. 55-66.
8. Саркисян С.О.- ДНАН Армении. 2008. Т.108. № 4. С. 309-319.
9. Саркисян А. А. – Изв. НАН Армении. Механика. 2011. Т. 64. № 2. С. 39-50.

10. *Новацкий В.* Теория упругости. М. Мир. 1975. 862 с.
11. *Пелех Б.Л.* Теория оболочек с конечной сдвиговой жесткостью. Киев. Наукова думка. 1973. 246 с.
12. *Перцев А.К., Платонов Э.Г.* Динамика оболочек и пластин (нестационарные задачи). Л. Судостроение. 1987. 316 с.
13. *Григоренко Я.М., Василенко А.Т.* Методы расчета оболочек. В 5-и томах. Т.4. Теория оболочек переменной жесткости. Киев. Наукова думка. 1981. 544 с.
14. *Саркисян А.А.* - ДНАН Армении. 2011. Т. 111. N 4. С. 342-351
15. *Goldenveizer A.L., Kaplunov J.D., Nolde E.V.* - Int. J. Solids Structures. 1993. V. 30. N 5. P. 675-694.

МЕХАНИКА

УДК 539.3

М. В. Белубекян, С. Р. Мартиросян

**Дивергентная неустойчивость прямоугольной упругой
пластины, обтекаемой сверхзвуковым потоком газа**

(Представлено академиком С. А. Амбарцумяном 13/X 2011)

Ключевые слова: *устойчивость неконсервативных систем, упругая пластинка, дивергентная локализованная неустойчивость, сверхзвуковое обтекание.*

Рассмотрение задач устойчивости тонких упругих пластинок, когда поведение пластинки жёстко связано с воздействием обтекающего её сверхзвукового потока газа, имеет важное прикладное и теоретическое значение. Вопрос об упругой устойчивости неизбежно возникает на этапе проектирования и конструирования любого летательного аппарата для обеспечения безопасности полета. А теоретические исследования этих задач позволяют выявить различные виды потери устойчивости – статической и динамической, обусловленные характером деформаций [1, 2]. В монографии [3] приведена обширная литература, посвящённая исследованию дивергентной и флаттерной неустойчивости.

В первых исследованиях колебаний и устойчивости консольной пластинки, обтекаемой сверхзвуковым потоком газа, были обнаружены потери устойчивости обоих видов: дивергентной и флаттерной [1, 4]. Оказалось, что значение критической скорости потока, приводящее к дивергентной неустойчивости, существенно меньше значения критической скорости потока, приводящей к флаттерной неустойчивости [1, 4].

Как известно [5], вдоль свободного края тонкой упругой полубесконечной пластины-полосы, совершающей изгибные колебания, может распространяться волна, обладающая свойствами волны “рэлеевского” типа в полубесконечном пространстве. По аналогии с изгибными локализованными колебаниями исследован эффект локализованной неустойчивости полубесконечной пластинки-полосы в окрестности свободного края, сжатой по полубесконечным шарнирно закрепленным кромкам [6]. В предлагаемой работе исследуется следующая аналогия – локализованная дивергентная неустойчивость, возникающая в окрестности свободного края полубесконечной пластины-полосы при обтекании её сверхзвуковым

потоком газа. Показано, что при обтекании сверхзвуковым потоком газа вдоль полубесконечных шарнирно закрепленных кромок полубесконечной пластины-полосы в окрестности её свободного края возникает локализованная неустойчивость.

1. Постановка задачи. Рассмотрим тонкую упругую прямоугольную пластинку, которая в декартовой системе координат $Oxyz$ занимает область $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$, $-h \leq z \leq h$. Декартова система координат $Oxyz$ выбирается так, чтобы оси Ox и Oy лежали в плоскости невозмущенной пластинки, а ось Oz была перпендикулярна пластинке и направлена в сторону сверхзвукового потока газа, обтекающего пластинку с одной стороны в направлении оси Ox с невозмущенной скоростью V . Течение газа будем считать плоским и потенциальным.

Пусть кромка $x = 0$ пластинки свободна, кромка $x = a$ жестко закреплена, а кромки $y = 0$ и $y = b$ шарнирно закреплены.

Выясним условия, при которых наряду с невозмущенной формой равновесия (неизогнутая пластинка) возможна искривленная форма равновесия (изогнутая пластинка), когда изгиб пластинки обусловлен соответствующими аэродинамическими нагрузками.

В предположении справедливости гипотезы Кирхгофа и «поршневой теории» [7] дифференциальное уравнение изгиба пластинки описывается соотношением [1, 4]

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + a_0 \rho_0 V \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \quad w = w(x, y). \quad (1.1)$$

Здесь $w = w(x, y)$ – прогиб точек срединной поверхности пластинки; ρ_0 – плотность невозмущенного потока газа, a_0 – скорость звука в невозмущенной газовой среде; D – цилиндрическая жесткость на изгиб пластинки.

Граничные условия в принятых предположениях относительно способа закрепления кромок имеют вид

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + (2 - \nu) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = 0, \quad x = 0; \quad (1.2)$$

$$w = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \quad x = a; \quad (1.3)$$

$$w = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad y = 0, \quad y = b, \quad (1.4)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Требуется установить, при каких значениях скорости потока газа V возникает дивергентная неустойчивость: невозмущенная форма равновесия пластинки перестаёт быть устойчивой, а изогнутая форма становится устойчивой. Иными словами, требуется установить, при каких значениях параметра V возможны нетривиальные решения дифференциального уравнения (1.1), удовлетворяющие граничным условиям (1.2) – (1.4).

Общее решение уравнения (1.1), удовлетворяющее граничным условиям (1.4), ищем в виде

$$w(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp(\lambda_n p x) \cdot \sin(\lambda_n y), \quad \lambda_n = \pi n b^{-1}. \quad (1.5)$$

Подставляя выражение (1.5) в уравнение (1.1), получаем характеристическое уравнение

$$p^4 - 2p^2 + \alpha_n^3 p + 1 = 0, \quad \alpha_n^3 = a_0 \rho_0 V D^{-1} \lambda_n^{-3}, \quad \alpha_n^3 > 0. \quad (1.6)$$

Исследуем поведение корней уравнения (1.6) в зависимости от параметров задачи (1.1) – (1.4).

Перепишем характеристическое уравнение (1.6) в удобном для исследования виде

$$(p^2 - 1)^2 + \alpha_n^3 p = 0, \quad \alpha_n^3 = a_0 \rho_0 V D^{-1} \lambda_n^{-3}, \quad \alpha_n^3 > 0. \quad (1.7)$$

Очевидно, что характеристическое уравнение (1.7) имеет два отрицательных действительных корня $p_1 < 0$, $p_2 < 0$ и два комплексных корня

$p_{3,4} = \alpha \pm i\beta$ с положительной вещественной частью $\alpha > 0$.

Найдем решение характеристического уравнения (1.6).

Нетрудно показать, что корни характеристического уравнения (1.7) определяются выражениями

$$p_{1,2} = -\frac{A}{4} \pm \sqrt{\frac{A^2}{16} - q_1 + \frac{\alpha_n^3}{A}}, \quad p_1 < 0, \quad p_2 < 0; \quad (1.8)$$

$$p_{3,4} = \frac{A}{4} \pm \sqrt{\frac{A^2}{16} - q_1 - \frac{\alpha_n^3}{A}}, \quad p_{3,4} = \alpha \pm i\beta, \quad \alpha > 0. \quad (1.9)$$

Здесь

$$A = 2\sqrt{2(1+q_1)}, \quad q_1 > 1; \quad (1.10)$$

q_1 – единственный действительный корень кубического уравнения

$$q^3 + q^2 - q - 1 - \frac{\alpha_n^6}{8} = 0. \quad (1.11)$$

В самом деле, характеристическое уравнение (1.6), являясь алгебраическим уравнением четвертой степени, в соответствии с известным алгоритмом нахождения решения, предложенным Феррари [8], равносильно следующим двум квадратным уравнениям:

$$p^2 + 0.5Ap + (q_1 - \alpha_n^3 A^{-1}) = 0, \quad (1.12)$$

$$p^2 - 0.5Ap + (q_1 + \alpha_n^3 A^{-1}) = 0. \quad (1.13)$$

Здесь A определяется выражением (2.5), а q_1 – действительный корень кубического уравнения (1.11).

Из представления уравнения (1.11) в виде

$$8 \cdot (1+q)^2 (q-1) = \alpha_n^6 \quad (1.14)$$

и положительности её дискриминанта $Q = \alpha_n^6 \left(\frac{1}{27} + \frac{\alpha_n^6}{256} \right)$ следует, что при

условии $(q-1) > 0$ кубическое уравнение (1.11) имеет один действительный корень q_1 ($q_1 > 1$) и два комплексных корня. А при условии $(q-1) < 0$ уравнение (1.11) решения не имеет. Тогда в силу условий $A = 2\sqrt{2(1+q_1)} > 4$ и $\frac{A^2}{16} - q_1 + \frac{\alpha_n^6}{A} > 0$, $\frac{A^2}{16} - q_1 - \frac{\alpha_n^3}{A} < 0$ характеристическое уравнение (1.6) имеет два отрицательных действительных корня p_1 , p_2 и два комплексных корня $p_{3,4} = \alpha \pm i\beta$ с положительной вещественной частью α , удовлетворяющих квадратным уравнениям (1.12), (1.13) соответственно.

2. Общее решение дифференциального уравнения (1.1) вида (1.5) в соответствии с вышеизложенным можно представить в виде

$$w(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{C_{n1} \exp(\lambda_n p_1 x) + C_{n2} \exp(\lambda_n p_2 x) + \exp(\lambda_n \alpha x) \cdot (C_{n3} \cos(\lambda_n \beta x) + C_{n4} \sin(\lambda_n \beta x))\} \cdot \sin(\lambda_n y),$$

$$\lambda_n = \pi n b^{-1}, \quad (2.1)$$

где

$$p_{1,2} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{q_1 + 1} \pm \sqrt{\sqrt{q_1^2 - 1} - \frac{q_1 - 1}{2}}, \quad p_1 < 0, \quad p_2 < 0; \quad (2.2)$$

$$p_{3,4} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{q_1 + 1} \pm i \cdot \sqrt{\sqrt{q_1^2 - 1} + \frac{q_1 - 1}{2}}, \quad (2.3)$$

в соответствии с выражениями (1.8)–(1.11); C_{nk} , $k = 1, 2, 3, 4$ – произвольные постоянные:

$$\sum_{k=1}^4 C_{nk}^2 \neq 0.$$

Подставляя выражение (2.1) в граничные условия (1.2) и (1.3), в соответствии с (2.2) и (2.5) получаем однородную систему алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных C_{nk} . Далее, приравняв нулю определитель полученной системы, получаем дисперсионное уравнение относительно q_1 , откуда находятся соответствующие различным значениям коэффициента Пуассона ν значения q_1 и в силу соотношений (1.6) и (1.14) критические значения скорости потока V_{cr} .

3. Локализованная неустойчивость пластины-полосы. Исследуем потерю статической устойчивости прямоугольной пластинки в предположении $a \gg b$. При этом условии для достаточно больших a ($a \rightarrow \infty$) рассматриваемую прямоугольную пластинку можно считать пластиной-полосой.

Требуется найти решение уравнения (1.1), удовлетворяющее граничным условиям (1.2), (1.4) и условию затухания на бесконечности [5, 6]

$$\lim_{x \rightarrow \infty} w = 0. \quad (3.1)$$

Такой подход аналогичен методу решения задач поверхностных волн, локализованных изгибных колебаний и локализованной неустойчивости [5, 6].

В соответствии с этим подходом общее решение (2.1) перепишется в виде

$$w(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} (C_{n1} \exp(\lambda_n p_1 x) + C_{n2} \exp(\lambda_n p_2 x)) \cdot \sin(\lambda_n y), \quad \lambda_n = \pi n b^{-1}, \quad (3.2)$$

где p_1 и p_2 определены выражениями (2.2); C_{n1}, C_{n2} ($C_{n1}^2 + C_{n2}^2 \neq 0$) – произвольные постоянные.

При этом решение вида (3.2) должно удовлетворять граничным условиям (1.2), соответствующим отсутствию на свободной кромке $x = 0$ изгибающего момента и перерезывающей силы.

Подставляя выражение (3.2) в граничные условия (1.2), получаем следующую однородную систему алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных C_{n1}, C_{n2} ($C_{n1}^2 + C_{n2}^2 \neq 0$):

$$\begin{cases} (p_1^2 - \nu)C_{n1} + (p_2^2 - \nu)C_{n2} = 0, \\ p_1(p_1^2 - 2 + \nu)C_{n1} + p_2(p_2^2 - 2 + \nu)C_{n2} = 0. \end{cases} \quad (3.3)$$

Приравнявая нулю определитель системы уравнений (3.3), получим дисперсионное уравнение

$$K(p_1, p_2) = (p_2 - p_1) \left[(p_1 p_2 + 1)^2 - \nu(p_1 + p_2)^2 - (\nu - 1)^2 \right] = 0, \quad (3.4)$$

где p_1 и p_2 – действительные корни характеристического уравнения (1.6), определяемые выражениями (2.2).

В соответствии с соотношениями (2.2) уравнение (3.4) при $\alpha_n^3 > 0$ тождественно уравнению

$$K_1(p_1, p_2) = (p_1 p_2 + 1)^2 - \nu(p_1 + p_2)^2 - (\nu - 1)^2 = 0. \quad (3.5)$$

Подставляя выражения (2.2) в соотношение (3.5), получаем уравнение

$$L(q_1) = 2(q_1 + 1) \cdot (q_1 - \sqrt{q_1^2 - 1} - \nu) - (1 - \nu)^2 = 0, \quad (3.6)$$

откуда легко находятся значения q_1 , соответствующие различным значениям коэффициента Пуассона ν . Далее, подставляя найденные значения q_1 в соотношение (1.14), для различных значений коэффициента Пуассона ν в соответствии с обозначением (1.7), получаем соответствующие значения критической скорости потока $V_{кр}$. При значениях $V \geq V_{кр}$ в окрестности свободного края $x = 0$ пластины-полосы наблюдается явление локализованной неустойчивости.

В таблице для нескольких значений коэффициента Пуассона ν приведены соответствующие значения критической скорости потока $V_{кр}$.

ν	0	0.125	0.25	0.375	0.5
$V_{кр} \cdot (a_0 \rho_0 b^3) (\pi^3 n^3 D)^{-1}$	80.0	10.6	5.6	3.9	2.5

Из данных, приведенных в таблице, видно, что значение критической скорости $V_{кр}$ потока меньше в пластинах-полосах из материалов с большим коэффициентом Пуассона.

Заметим, что в первых исследованиях устойчивости консольно закрепленной пластины-полосы ($0 \leq x \leq a$, $-\infty \leq y \leq \infty$) в предположении движения пластины в сверхзвуковом потоке газа в направлении от защемленного края $x=0$ к свободному $x=a$ был обнаружен эффект дивергенции и найдена критическая скорость: $V_{кр.див.} \approx 6.33D(a_0 \rho_0 a^3)^{-1}$ [4]. Позже были получены приближенные значения критической скорости дивергенции и флаттера

$$(V_{кр.див.} \approx 6.33D(a_0 \rho_0 a^3)^{-1}, V_{кр.фл.} \approx 122.7D(a_0 \rho_0 a^3)^{-1})$$

консольно закрепленной пластины-полосы в условии обтекания её сверхзвуковым потоком газа в направлении от свободного края $x=0$ к защемленному $x=a$ [1]. При этом в отличие от критической скорости локализованной неустойчивости критические скорости дивергенции и флаттера не зависят от коэффициента Пуассона.

4. Пусть кромка $x=0$ пластины-полосы закреплена одним из следующих способов: жесткой заделки, плавающей заделки и шарнирного закрепления. Исследуем возможность возникновения явления локализованной неустойчивости в окрестности кромки $x=0$ при этих способах её закрепления.

Легко показать, что в случаях, когда кромка $x=0$ жестко или плавающе заделана или же шарнирно закреплена, в окрестности закрепленной кромки $x=0$ обтекаемой пластины-полосы явление локализованной неустойчивости не наблюдается.

Подставляя общее решение уравнения (1.1) в виде выражения (3.2) в граничные условия

$$\begin{aligned} w=0, \quad \frac{\partial w}{\partial x}=0, \quad x=0; \quad \frac{\partial w}{\partial x}=0, \quad \frac{\partial^3 w}{\partial x^3}=0, \quad x=0; \\ w=0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}=0, \quad x=0, \end{aligned} \quad (4.1)$$

соответствующие этим способам закрепления соответственно, получаем однородные системы алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных C_{n1} , C_{n2} ($C_{n1}^2 + C_{n2}^2 \neq 0$). Приравнявая нулю определители этих систем, получаем дисперсионные уравнения, описываемые, соответственно, следующими соотношениями:

$$p_2 - p_1 = 0, \quad p_1 p_2 (p_2^2 - p_1^2) = 0, \quad p_2^2 - p_1^2 = 0. \quad (4.2)$$

Согласно выражениям (2.2) следует, что системы уравнений, соответ-

ствующие этим способам закрепления, имеют только тривиальное решение: $C_{n1} = C_{n2} = 0$. Следовательно, при вышеуказанных способах закрепления кромки $x = 0$ пластины-полосы явление локализованной неустойчивости в её окрестности не наблюдается.

Таким образом, при обтекании сверхзвуковым потоком газа вдоль полубесконечных шарнирно закрепленных кромок полубесконечной пластины-полосы в окрестности свободной кромки $x = 0$ наблюдается явление локализованной неустойчивости.

Работа выполнена в рамках программы A^2 -NET-TEAM Advanced Aircraft Network for Theoretical Experimental Aeroelastic Modelling

Институт механики НАН РА

М. В. Белубекян, С. Р. Мартиросян

Дивергентная неустойчивость прямоугольной упругой пластины, обтекаемой сверхзвуковым потоком газа

Исследуется явление дивергентной локализованной неустойчивости, возникающее в окрестности свободной кромки прямоугольной пластинки, обтекаемой сверхзвуковым потоком газа.

Найдено значение критической скорости обтекающего потока газа, при достижении которого наблюдается локализованная неустойчивость.

Մ. Վ. Բելուբեկյան, Ս. Ռ. Մարտիրոսյան

Ուղղանկյուն առաձգական սալի դիվերգենտ անկայունությունը գազի գերձայնային հոսքում

Ուսումնասիրված է գերձայնային գազի հոսքում շրջհոսող առաձգական սալի դիվերգենտ անկայունությունը, որը առաջանում է սալի ազատ եզրի միջակայքում:

Գտնված է շրջհոսող հոսքի արագության կրիտիկական արժեքը, որի դեպքում տեղի ունի դիվերգենտ անկայունությունը:

M. V. Belubekyan, S. R. Martirosyan

The Divergence Instability of the Elastic Rectangular Plate Streamlined by Supersonic Gas Flow

The divergence localized instability of a thin rectangular plate model in a supersonic gas flow is analysed

The critical velocity of the gas flow is found, which reduces to the divergence localized instability arising in the vicinity of free edge of a plate.

Литература

1. *Болотин В.В.* Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М. Наука. 1961. 329 с.
2. *Пановко Я.Г., Губанова И.И.* Устойчивость и колебания упругих систем. М. Наука. 1987. 352 с.
3. *Алгазин С.Д., Кийко И.А.* Флаттер пластин и оболочек. М. Наука. 2006. 247 с.
4. *Мовчан А.А.* - Изв. АН СССР. ПММ. 1956. Т. 20. С. 211-212.
5. *Коненков Ю.К.* - Акуст. журн. 1960. Т. 6. № 1. С. 124-126.
6. *Белубемян М.В.* В сб.: Вопросы оптимального управления, устойчивости и прочности. Ереван. Изд-во ЕГУ. 1997. С. 95-99.
7. *Ильюшин А.А.* - ПММ. 1956. Т. 20. № 6. С. 733-755.
8. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. М. Наука. 1978. 832 с.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

УДК 539.3

Академик Л. А. Агаловян, Р. С. Геворкян, Л. Г. Гулгазарян

К определению напряженно-деформированных состояний литосферных плит Земли на основе данных GPS систем

(Представлено 24/I 2012)

Ключевые слова: литосферная плита, упругость, трехмерная не-классическая задача, слоистость, GPS системы.

1. Введение. Современная наука связывает истинную причину возникновения сильных землетрясений с тектоникой литосферных плит Земли ($\approx 95\%$ землетрясений) [1,2]. Известно, что планета Земля (радиус $R_{\text{зем.}} = 6378$ км) слоиста, неоднородна и состоит из земной коры, верхней и нижней мантий, внешнего и внутреннего ядер, что установлено на основании сейсмических, геологических и других исследований. Как правило, отличительной чертой различия этих слоев являются существенно разные скорости распространения в них продольных (V_p) и поперечных (сдвиговых) волн (V_s). Мощность (толщина) земной коры на континентах изменяется от 20 до 70 км, в океанах от 5 до 15 км. Земная кора отделяется от верхней мантии поверхностью раздела Мохоровичича (Мохо), т.е. сейсмической границей, на которой скорость продольных упругих волн V_p скачкообразно возрастает до значений более 8 км/с, тогда как в земной коре она меняется в пределах ($2.0 \leq V_p \leq 7.4$ км/с). С этой точки зрения земная кора также считается слоистой; эти слои: осадочный ($2.0 \leq V_p \leq 5.0$ км/с, $h_1 = 10 \div 25$ км), гранитный ($5.5 \leq V_p \leq 6.0$ км/с, $h_2 = 30 \div 40$ км) и базальтовый ($6.5 \leq V_p \leq 7.4$ км/с, $h_3 = 15 \div 20$ км); h_i – толщины слоев. Средняя плотность земной коры $\rho = 2.7 \div 3.0$ г/см³.

В пределах верхней мантии на глубине 100÷250 км существует слой (астеносфера), более подвижный и пластичный по отношению к выше- и нижележащим слоям. Там скорость поперечных волн существенно понижается, а скорость V_p с глубиной не возрастает ($V_p \approx \text{const}$, $V_s \approx 0$), что свидетельствует о более низкой плотности вещества этого слоя по сравнению со смежными слоями, т.е. имеется жидкообразная несжимаемая среда, позволяющая выдерживать большие давления. На глубине 700-900

км верхняя мантия опирается на нижнюю мантию, где скорость продольных волн резко увеличивается ($V_p=13.2\div13.7$ км/с). На глубине 2900 км снова повторяется та же качественная картина – нижняя мантия опирается на внешнее ядро земли, где уже $V_p=8.1\div8.5$ км/с, $V_s\approx0$. Начиная с глубины 5100 км внешнее ядро опирается на внутреннее ядро, и снова с резким увеличением скорости продольных волн и плотности ($V_p\approx10.2\div11$ км/с, $\rho\approx5.61$ г/см³).

Земная кора и часть верхней мантии до границы с астеносферой составляет литосферу. Литосфера разбита на несколько больших кусков, которые называются плитами. Размеры плит в плане меняются от сотни до нескольких тысяч км. Наиболее крупными литосферными плитами Земли являются: Евразийская, Антарктидская, Индо-Австралийская, Африканская, Южно-Американская, Северо-Американская, Тихоокеанская, Филиппинская, Наска, Анатолийская, Аравийская и др.

Подавляющее большинство землетрясений сгруппировано в относительно узких зонах (сейсмические зоны), сейсмическая и тектоническая активности в которых приписываются в основном взаимодействиям примыкающих друг к другу литосферных плит, которые подвержены относительным перемещениям вдоль своих контактирующих поверхностей. Выделяют два основных типа современных тектонических движений: медленные (вековые) и быстрые (скачкообразные), связанные с землетрясениями.

В основе сейсмической активности лежит процесс накопления в литосферных плитах деформаций, которые при достижении критического значения 10^{-4} , а по данным Рикитаке 4.7×10^{-5} , приводят к глобальному разрушению, и основная часть накопленной огромной потенциальной энергии выделяется в виде объемных P (продольных или первичных – primary) и S (сдвиговых или вторичных – secondary) волн, которые распространяются со скоростью V_p и V_s , а также поверхностных волн:

$$V_p = \sqrt{\frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \frac{E}{\rho}}, \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2(1+\nu)\rho}}, \quad (1)$$

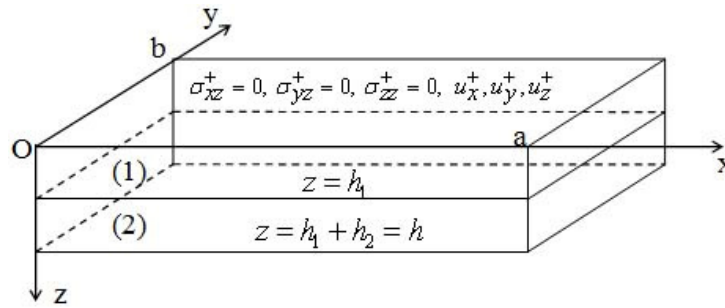
где E, G – осредненные для земной коры модули Юнга и сдвига, ν – коэффициент Пуассона. Всегда $V_p > V_s$, а при $\nu = 0.25$ $V_p = \sqrt{3}V_s \approx 1.73V_s$. Имея временные данные достижения P и S волн до трех сейсмостанций, не лежащих в одной плоскости, с большой точностью можно определить эпицентр землетрясения.

Из вышеизложенного следует важность определения напряженно-деформированных состояний литосферных плит Земли и мониторинг его изменения во времени. Ныне имеется возможность для успешного решения этой проблемы на основе измерительных данных достаточно густой сети существующих сейсмостанций и спутниковых GPS систем, которые, в частности, измеряют значения перемещений точек поверхности литосферных плит. Однако соответствующая трехмерная краевая задача теории упругости является неклассической, ибо условия (их шесть) заданы только на лицевой поверхности пластины или слоистого пакета из пластин

– соответствующие три компоненты тензора напряжений равны нулю, но известны значения перемещений точек этой поверхности – как данные сейсмостанций и GPS систем. Сформулированная трехмерная неклассическая краевая задача для однослойной пластинки асимптотическим методом решена в [3]. Показано, что когда перемещения лицевой поверхности описываются многочленами, решение становится математически точным.

В данной работе решена сформулированная задача для двухслойного пакета из пластин, указан путь нахождения решения для слоистого пакета из n слоев.

2. Основные уравнения и постановка краевой задачи. Рассмотрим двухслойный пакет из ортотропных пластин, занимающий область $D = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, 0 \leq z \leq h = h_1 + h_2, \ell = \min(a, b), h \ll \ell\}$, где h_1, h_2 – толщины пластин (рисунок).



Требуется найти решение системы уравнений и соотношений трехмерной задачи теории упругости с учетом объемных сил и температурного поля по модели Дюгамеля–Неймана, при граничных условиях при $z = 0$:

$$\begin{aligned} \sigma_{jz}(x, y, 0, t) &= 0, \quad j = x, y, z, \\ u_j(x, y, 0, t) &= u_j^+(x, y, t), \end{aligned} \quad (2)$$

где время t входит как параметр, и условиях полного контакта между слоями при $z = h_1$:

$$z = h_1 : \sigma_{jz}^{(1)} = \sigma_{jz}^{(2)}, \quad u_j^{(1)} = u_j^{(2)}, \quad j = x, y, z \dots \quad (3)$$

Условия на боковых поверхностях $x = 0, a; y = 0, b$ не будем конкретизировать, для данного класса неклассических краевых задач ими обусловлен пограничный слой [3, 4].

3. Общее асимптотическое решение задачи. Чтобы решить поставленную краевую задачу, в вышеуказанных уравнениях и соотношениях трехмерной задачи перейдем к безразмерным переменным и безразмерным перемещениям по формулам

$$\begin{aligned} \xi = x / \ell, \quad \eta = y / \ell, \quad \zeta = z / h = \varepsilon^{-1} z / \ell, \quad u = u_x / \ell, \\ v = u_y / \ell, \quad w = u_z / \ell, \quad \varepsilon = h / \ell. \end{aligned} \quad (4)$$

В результате получим систему

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \sigma_{xx}^{(k)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{xy}^{(k)}}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{xz}^{(k)}}{\partial \zeta} + F_x^{(k)} = 0, \quad (x, y; \xi, \eta), \quad k = 1, 2, \\
& \frac{\partial \sigma_{xz}^{(k)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{yz}^{(k)}}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{zz}^{(k)}}{\partial \zeta} + F_z^{(k)} = 0, \\
& \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \xi} = e_1^{(k)} + \alpha_{11}^{(k)} \theta^{(k)}, \quad \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta} = e_2^{(k)} + \alpha_{22}^{(k)} \theta^{(k)}, \quad \varepsilon^{-1} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \zeta} = e_3^{(k)} + \alpha_{33}^{(k)} \theta^{(k)}, \\
& \varepsilon^{-1} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \eta} = a_{44}^{(k)} \sigma_{yz}^{(k)}, \quad \varepsilon^{-1} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \xi} = a_{55}^{(k)} \sigma_{xz}^{(k)}, \quad \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \xi} + \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \eta} = a_{66}^{(k)} \sigma_{xy}^{(k)}, \quad (5) \\
& e_m^{(k)} = a_{1m}^{(k)} \sigma_{xx}^{(k)} + a_{2m}^{(k)} \sigma_{yy}^{(k)} + a_{3m}^{(k)} \sigma_{zz}^{(k)}, \quad m = 1, 2, 3.
\end{aligned}$$

Индекс “ k ” означает номер слоя, $F_j^{(k)}$ – компоненты объемной силы, в качестве которой может выступить, например, вес, $\theta^{(k)}$ – изменение температурного поля, которое считается известным. Система (5) сингулярно возмущена малым параметром ε , ее решение складывается из решений внутренней задачи (I^{int}) и пограничного слоя (I_b). Решение внутренней задачи ищется в виде

$$I_k^{\text{int}} = \varepsilon^{q_I + s} I^{(k,s)} \quad s = \overline{0, N}, \quad k = 1, 2 \quad (6)$$

После подстановки (6) в (5) и приравнивания в каждом уравнении коэффициентов при одинаковых степенях ε получим непротиворечивую систему для определения коэффициентов $I^{(k,s)}$, если $q_{u,v,w} = 0$, $q_{\sigma_{ij}} = -1$.

Эта система имеет вид

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \sigma_{xx}^{(k,s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{xy}^{(k,s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial \sigma_{xz}^{(k,s-1)}}{\partial \zeta} + F_x^{(k,s)} = 0, \quad (x, y; \xi, \eta), \quad k = 1, 2, \\
& \frac{\partial \sigma_{xz}^{(k,s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{yz}^{(k,s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial \sigma_{zz}^{(k,s-1)}}{\partial \zeta} + F_z^{(k,s)} = 0, \quad F_j^{(k,0)} = \varepsilon^2 \ell F_j, \quad F_j^{(k,s)} = 0, \quad s \neq 0, \\
& \frac{\partial u^{(k,s-1)}}{\partial \xi} = e_1^{(k,s)} + \alpha_{11}^{(k)} \theta^{(k,s)}, \quad \frac{\partial v^{(k,s-1)}}{\partial \eta} = e_2^{(k,s)} + \alpha_{22}^{(k)} \theta^{(k,s)}, \\
& \frac{\partial w^{(k,s)}}{\partial \zeta} = e_3^{(k,s)} + \alpha_{33}^{(k)} \theta^{(k,s)}, \quad \frac{\partial v^{(k,s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial w^{(k,s-1)}}{\partial \eta} = a_{44}^{(k)} \sigma_{yz}^{(k,s)}, \\
& \frac{\partial u^{(k,s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial w^{(k,s-1)}}{\partial \xi} = a_{55}^{(k)} \sigma_{xz}^{(k,s)}, \quad \frac{\partial v^{(k,s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial u^{(k,s-1)}}{\partial \zeta} = a_{66}^{(k)} \sigma_{xy}^{(k,s)}, \\
& \theta^{(k,0)} = \varepsilon \theta^{(k)}, \quad \theta^{(k,s)} = 0 \quad \text{при } s \neq 0. \quad (7)
\end{aligned}$$

Из системы (7) следуют

$$\begin{aligned}
\sigma_{jz}^{(k,s)} &= \sigma_{jz0}^{(k,s)}(\xi, \eta) + \sigma_{jz*}^{(k,s)}(\xi, \eta, \varsigma), \quad j = x, y, z, \\
\sigma_{xx}^{(k,s)} &= -\frac{A_{23}^{(k)}}{A_{11}^{(k)}} \sigma_{zz0}^{(k,s)} - \frac{\gamma_{11}^{(k)}}{A_{11}^{(k)}} \theta^{(k,s)} + \sigma_{xx*}^{(k,s)}(\xi, \eta, \varsigma), \\
\sigma_{yy}^{(k,s)} &= -\frac{A_{13}^{(k)}}{A_{11}^{(k)}} \sigma_{zz0}^{(k,s)} - \frac{\gamma_{22}^{(k)}}{A_{11}^{(k)}} \theta^{(k,s)} + \sigma_{yy*}^{(k,s)}(\xi, \eta, \varsigma), \\
\sigma_{xy}^{(k,s)} &= \frac{1}{a_{66}^{(k)}} \left[\frac{\partial v^{(k,s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial u^{(k,s-1)}}{\partial \eta} \right], \\
u^{(k,s)} &= a_{55}^{(k)} \varsigma \sigma_{xz0}^{(k,s)} + u_0^{(k,s)}(\xi, \eta) + u_*^{(k,s)}(\xi, \eta, \varsigma), \\
v^{(k,s)} &= a_{44}^{(k)} \varsigma \sigma_{yz0}^{(k,s)} + v_0^{(k,s)}(\xi, \eta) + v_*^{(k,s)}(\xi, \eta, \varsigma), \\
w^{(k,s)} &= \frac{A_{33}^{(k)}}{A_{11}^{(k)}} \varsigma \sigma_{zz0}^{(k,s)} + w_0^{(k,s)}(\xi, \eta) + w_*^{(k,s)}(\xi, \eta, \varsigma),
\end{aligned} \tag{8}$$

где

$$\begin{aligned}
\sigma_{jz*}^{(k,s)} &= -\int_0^\varsigma \left[F_j^{(k,s)} + \frac{\partial \sigma_{jx}^{(k,s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{jy}^{(k,s-1)}}{\partial \eta} \right] d\varsigma, \quad j = x, y, z, \\
\sigma_{xx*}^{(k,s)} &= \frac{1}{A_{11}^{(k)}} \left[a_{22}^{(k)} \frac{\partial u^{(k,s-1)}}{\partial \xi} - a_{12}^{(k)} \frac{\partial v^{(k,s-1)}}{\partial \eta} - A_{23}^{(k)} \sigma_{zz*}^{(k,s)} \right], \\
\sigma_{yy*}^{(k,s)} &= \frac{1}{A_{11}^{(k)}} \left[a_{11}^{(k)} \frac{\partial v^{(k,s-1)}}{\partial \eta} - a_{12}^{(k)} \frac{\partial u^{(k,s-1)}}{\partial \xi} - A_{13}^{(k)} \sigma_{zz*}^{(k,s)} \right], \\
u_*^{(k,s)} &= \int_0^\varsigma \left[a_{55}^{(k)} \sigma_{xz*}^{(k,s)} - \frac{\partial w^{(k,s-1)}}{\partial \xi} \right] d\varsigma, \quad v_*^{(k,s)} = \int_0^\varsigma \left[a_{44}^{(k)} \sigma_{yz*}^{(k,s)} - \frac{\partial w^{(k,s-1)}}{\partial \eta} \right] d\varsigma, \\
w_*^{(k,s)} &= \int_0^\varsigma \left[a_{13}^{(k)} \sigma_{xx*}^{(k,s)} + a_{23}^{(k)} \sigma_{yy*}^{(k,s)} + a_{33}^{(k)} \sigma_{zz*}^{(k,s)} \right] d\varsigma, \\
A_{11}^{(k)} &= a_{11}^{(k)} a_{22}^{(k)} - (a_{12}^{(k)})^2, \quad A_{13}^{(k)} = a_{11}^{(k)} a_{23}^{(k)} - a_{12}^{(k)} a_{13}^{(k)}, \\
A_{23}^{(k)} &= a_{22}^{(k)} a_{13}^{(k)} - a_{12}^{(k)} a_{23}^{(k)}, \quad A_{33}^{(k)} = a_{33}^{(k)} A_{11}^{(k)} - a_{13}^{(k)} A_{23}^{(k)} - a_{23}^{(k)} A_{13}^{(k)}, \\
\gamma_{11}^{(k)} &= \alpha_{11}^{(k)} a_{22}^{(k)} - a_{12}^{(k)} \alpha_{22}^{(k)}, \quad \gamma_{22}^{(k)} = \alpha_{22}^{(k)} a_{11}^{(k)} - a_{12}^{(k)} \alpha_{11}^{(k)}, \\
k &= 1, 2, \quad Q^{(k,m)} \equiv 0 \text{ при } m < 0.
\end{aligned} \tag{9}$$

Решение (6), (8) содержит двенадцать неизвестных пока функций $\sigma_{xz0}^{(k,s)}(\xi, \eta)$, $\sigma_{yz0}^{(k,s)}(\xi, \eta)$, $\sigma_{zz0}^{(k,s)}(\xi, \eta)$, $u_0^{(k,s)}(\xi, \eta)$, $v_0^{(k,s)}(\xi, \eta)$, $w_0^{(k,s)}(\xi, \eta)$, которые однозначно определяются из шести граничных условий (2) и шести условий (3) контакта между слоями. Здесь также отметим, что время t играет в граничных условиях (2) роль параметра и характеризует состояние лицевой поверхности пакета на заданный момент $t = t_i$. Поскольку накопление деформаций в литосферных плитах – медленный процесс (длится обычно десятилетия), процесс практически будет квазистационарным, поэтому мы воспользовались уравнениями и соотношениями (5) статической трехмерной задачи теории упругости. Используемым методом можно решить и соответствующие динамические задачи.

Используя решение (8), (9) и удовлетворив условиям (2), (3), получим

$$\begin{aligned}
\sigma_{jz0}^{(1,s)} &= 0, \quad \sigma_{jz}^{(1,s)} = \sigma_{jz}^{(1,s)*}(\xi, \eta, \zeta) \quad j = x, y, z, \\
u_0^{(1,s)} &= u^{+(s)}, \quad u^{(1,s)} = u^{+(s)} + u_*^{(1,s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad (u, v, w), \\
\sigma_{jz0}^{(2,s)} &= \sigma_{jz}^{(1,s)*}(\xi, \eta, \zeta_1) - \sigma_{jz}^{(2,s)*}(\xi, \eta, \zeta_1), \quad \zeta_1 = h_1 / h, \\
\sigma_{jz}^{(2,s)} &= \sigma_{jz}^{(1,s)*}(\xi, \eta, \zeta_1) + \sigma_{jz}^{(2,s)*}(\xi, \eta, \zeta) - \sigma_{jz}^{(2,s)}(\xi, \eta, \zeta_1), \quad j = x, y, z, \\
u_0^{(2,s)} &= u^{+(s)} + u_*^{(1,s)}(\xi, \eta, \zeta_1) - a_{55}^{(2)} \zeta_1 \sigma_{xz0}^{(2,s)} - u_*^{(2,s)}(\xi, \eta, \zeta_1), \\
u^{(2,s)} &= a_{55}^{(2)} (\zeta - \zeta_1) [\sigma_{xz}^{(1,s)*}(\xi, \eta, \zeta_1) - \sigma_{xz}^{(2,s)*}(\xi, \eta, \zeta)] + u^{+(s)} + \\
&\quad + u_*^{(1,s)}(\xi, \eta, \zeta_1) + u_*^{(2,s)}(\xi, \eta, \zeta) - u_*^{(2,s)}(\xi, \eta, \zeta_1), \quad (u, v; x, y; a_{55}, a_{44}), \\
w_0^{(2,s)} &= w^{+(s)} + w_*^{(1,s)}(\xi, \eta, \zeta_1) - w_*^{(2,s)}(\xi, \eta, \zeta_1) - \frac{A_{33}^{(2)}}{A_{11}^{(2)}} \zeta_1 \sigma_{xz0}^{(2,s)}, \\
w^{(2,s)} &= \frac{A_2^{(2)}}{A_2^{(2)}} (\zeta - \zeta_1) \sigma_{zz0}^{(2,s)} + w^{+(s)} + w_*^{(1,s)}(\xi, \eta, \zeta_1) - w_*^{(2,s)}(\xi, \eta, \zeta_1) + w_*^{(2,s)}(\xi, \eta, \zeta).
\end{aligned} \tag{10}$$

Имея решение (10), по формулам (8), (9) будут определены остальные напряжения. Таким образом условия (2), (3) оказались достаточными для определения по формулам (6), (10) внутреннего напряженно-деформированного состояния с заранее заданной асимптотической точностью. Следовательно, условиям на боковых поверхностях $x = 0, a$; $y = 0, b$ будут соответствовать пограничные слои, соответствующие решения будут экспоненциально убывать при удалении от боковых поверхностей во внутрь пластинки [4]. Поскольку продольные размеры a, b литосферных плит достаточно большие, пограничные слои вряд ли будут представлять практический интерес. Легко убедиться также, что когда функции u^+, v^+, w^+ являются многочленами от координат ξ, η , итерационный процесс обрывается на определенном приближении и соответствующее решение трехмерной задачи становится математически точным. Учитывая это обстоятельство, можно по данным сейсмостанций и GPS перемещения u^+, v^+, w^+ лицевой поверхности литосферной плиты представить в виде многочлена, степень многочлена будет зависеть от числа точек лицевой поверхности, в которых были произведены измерения.

Пусть при $t = t_k$ в “ n ” точках лицевой поверхности известны $u_i^{(+)}(\xi_i, \eta_i, t_k)$, $v_i^{(+)}(\xi_i, \eta_i, t_k)$, $w_i^{(+)}(\xi_i, \eta_i, t_k)$ как данные сейсмостанций и GPS. Тогда перемещения лицевой поверхности литосферной плиты можно представить в виде известного многочлена Лагранжа

$$u^+(\xi, \eta, t_k) = \sum_{i=1}^n u_i^{(+)}(\xi_i, \eta_i, t_k) \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^n (\xi - \xi_j)(\eta - \eta_j)}{\prod_{j=1, j \neq i}^n (\xi_i - \xi_j)(\eta_i - \eta_j)}, \quad (u, v, w), \tag{11}$$

где $\prod$ означает произведение.

Подставив эти значения u^+, v^+, w^+ в формулы (6), (8)-(10), определим математически точное решение трехмерной задачи, а следовательно и напряженно-деформированное состояние литосферной плиты,

соответствующее времени $t = t_k$. Проследивая за изменением напряженно-деформированного состояния во времени (мониторинг), можно установить наступление критического момента $t = T_c$ и место глобального разрушения, т.е. с определенной точностью, с учетом и других сопутствующих предвестников, прогнозировать место и время возникновения землетрясения.

Безусловно, для более точного прогноза необходимо иметь более точную структуру литосферных плит, в частности, их слоистость. Полученные здесь результаты можно обобщить на слоистые пакеты из “N” пластин. Решение опять будет иметь вид (6), сохраняются граничные условия (2) и вид решения (8) уже для произвольного “k”. Условия же контакта между слоями запишутся в виде

$$\sigma_{jz}^{(k)}(z = H_k) = \sigma_{jz}^{(k+1)}(z = H_k), H_k = \sum_{i=1}^k h_i, k = 1, 2, \dots, N-1, \quad (12)$$

$$u_j^{(k)}(z = H_k) = u_j^{(k+1)}(z = H_k), (u, v, w), j = x, y, z.$$

Затем последовательно удовлетворяются граничные условия (2) при $z=0$ и условия контакта (12) и определяются все неизвестные функции интегрирования. Для слоистого пакета тоже, если u^+, v^+, w^+ многочлены от ξ, η , итерационный процесс обрывается и получается математически точное решение во внутренней задаче.

Работа выполнена при поддержке гранта “11-2с462” Государственного комитета науки МОН РА

Институт механики НАН РА

Академик Л. А. Агаловян, Р. С. Геворкян, Л. Г. Гулгазарян

К определению напряженно-деформированных состояний литосферных плит Земли на основе данных GPS систем

Рассмотрен вопрос определения напряженно-деформированных состояний литосферных плит на основе уравнений и соотношений трехмерной задачи теории упругости и данных сейсмостанций и GPS систем. Асимптотическим методом решена соответствующая неклассическая трехмерная задача. Данные GPS и сейсмостанций, касающиеся значений перемещений точек лицевой поверхности плиты, аппроксимированы полиномом Лагранжа и выведено соответствующее математически точное решение во внутренней задаче.

Наблюдение за поведением напряженно-деформированного состояния литосферной плиты во времени (мониторинг) создает возможность для установления места и времени возникновения критических напряженно-деформированных состояний, приводящих к глобальному разрушению, что в совокупности с анализом сопутствующих землетрясениям аномальных явлений открывает пути для прогнозирования сильных землетрясений.

**Ակադեմիկոս Լ. Ա. Աղալովյան, Ռ. Ս. Գևորգյան,
Լ. Գ. Դուլղազարյան**

**GPS համակարգերի տվյալների հիման վրա Երկրագնդի
լիտոսֆերային սալերի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակների
որոշման մասին**

Դիտարկված է լիտոսֆերային սալերի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակների որոշման հարցը՝ հիմնվելով առաձգականության տեսության եռաչափ խնդրի հավասարումների և առնչությունների, սեյսմիկ կայանների ու GPS համակարգերի տվյալների վրա: Ասիմպտոտիկ մեթոդով լուծված է համապատասխան ոչ դասական եռաչափ խնդիրը: Լիտոսֆերային սալի դիմային մակերևույթի կետերի տեղափոխումները, ընդունելով նրանց վերաբերյալ GPS համակարգերի և սեյսմիկ կայանների տվյալները, ներկայացված են Լագրանժի բազմանդամի տեսքով, և ստացված է համապատասխան ներքին խնդրի ճշգրիտ լուծումը: Համաձայն այդ լուծման, հետևելով լիտոսֆերային սալի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակի փոփոխությանը ըստ ժամանակի (մոնիթորինգ), ստեղծվում է հնարավորություն՝ հայտնաբերելու տեղը և ժամանակը կրիտիկական լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակի առաջացման համար, որը կարող է հանգեցնել գլոբալ քայքայման: Այս ամենը, զուգակցվելով երկրաշարժերն ուղեկցող անոմալ երևույթների վերլուծության հետ, ստեղծում է հնարավորություն ուժեղ երկրաշարժերի կանխագուշակման համար:

**Academician L. A. Aghalovyan, R. S. Gevorgyan,
L. G. Ghulghazaryan**

**About Detection of Stress-Strain States of Lithospheric Plates
of the Earth Based on GPS Systems Data**

In this paper the problem of determining stress-strain states of Lithospheric plates based on equations and relations of the three-dimensional problem of elasticity theory and data of seismic stations and GPS systems is considered. The corresponding non-classical three-dimensional problem is solved by the asymptotic method. The data from GPS systems and seismic stations on the values of displacements of points of the face surface of a plate is approximated by Lagrange polynomial, and the corresponding mathematically exact solution of the internal problem is derived.

Tracing the behavior of stress-strain state of Lithospheric plates over time (monitoring) provides an opportunity for establishing the place and time of critical stress-strain states leading to a global destruction. Together with the analysis of anomalous phenomena accompanying earthquake it opens a way for prediction strong earthquakes.

Литература

1. *Pichon X. Le, Francheteau J., Bonnin J.* Plate tectonics. Elsevier. 1973. (К.Л. Пишон, Ж. Франито, Ж. Боннин. Тектоника плит. М. Мир. 1977. 288 с.)
2. *Kasahara K.* Earthquake Mechanics. Cambridge Univers. Press, Cambridge. 1981. (К. Касахара. Механика землетрясений. М. Мир. 1985. 264 с.)
3. *Aghalovyan L. A.* - Proceeding of A. Razmadze Mathematical Institute of Georgia. 2011. V.155. P. 3-10.
4. *Агаловян Л. А.* Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука. Физматлит. 1997. 414 с.

АСТРОФИЗИКА

УДК 523.11

Иностранный член НАН РА С. С. Григорян

О природе «тёмной» материи в галактиках

(Представлено 1/X 2011)

Ключевые слова: астрономия, космология, «темная материя», галактики

В астрономии – астрофизике – астромеханике попытки определить массы звёздных объединений – галактик по числу (надёжно оцениваемому) светящихся звёзд и оценке индивидуальных звёздных масс (по разнообразию оптических свойств звёзд) привели к жёсткой необходимости сделать предположение, что общая масса всех таких звёзд в данном звёздном кластере – галактике существенно (на один порядок величины) недостаточна для обеспечения (по закону всемирного тяготения Ньютона) величин, определяемых в наблюдениях характеристик её динамики – скоростей звёзд, их распределения в объёме галактики и т. п. И это «заставило» предположить, что в галактиках существует несветящаяся – тёмная материя, также создающая гравитационное (тоже по Ньютону) силовое воздействие на светящиеся звёзды и определяющая их индивидуальную и «коллективную» динамику. Это представление о «тёмной» материи получило всеобщее признание в науке о мироздании, однако никаких вразумительных гипотез и наблюдательных результатов, позволяющих судить о её природе, до сих пор в этой науке нет, если не считать таковыми чисто умозрительные высказывания о том, что должны существовать некие «элементарные» носители «тёмного» гравитационного феномена.

В последние годы я построил [1, 2] рациональную количественную теорию механики и физики регистрируемых современными средствами наблюдений сверхплотных небесных тел Митчелла-Лапласа – нейтронных и нейтронно-кварковых звёзд – останков «умерших» звёзд и сформулировал гипотезу о том, что «создателями» тёмного гравитационного феномена в галактиках являются эти сверхплотные холодные **несветящие макротела**, составляющие подавляющую часть населения галактик из-за

того, что время жизни галактик значительно больше времени жизни звёзд (особенно звёзд массивных), так что в «великовозрастных» галактиках накапливается очень много этих сверхплотных останков умерших звёзд, которые и определяют «гравитационную погоду» в таких галактиках. Так это или нет, должны, как всегда, решить результаты астрономических наблюдений. Ибо именно наблюдения играют в астрономии – астрофизике – астромеханике две главные роли – «добытчика» фактов и верховного судьи для всех теоретических построений (в их числе и бесплодных математических измышлений, ставших в последние десятилетия доминирующим жанром в астрофизике – астромеханике и в теоретической физике вообще). Именно поэтому великий астрофизик академик В.А. Амбарцумян часто повторял: наблюдайте, наблюдайте, наблюдайте – в наблюдениях выявляются реальные факты, и только они определяют истинность теоретических построений.

Так вот, мне стали известны [3, 4] результаты самых последних наблюдений особенностей строения и радиационных свойств огромной популяции чрезвычайно далёких (exceedingly distant) окутанных пылевыми «коконами» галактик, в которых идёт (точнее, шёл – это было очень давно на световом конусе) бурный процесс звездообразования. Наблюдения были проведены в дальней инфракрасной субмиллиметровой части спектра космическим телескопом Гершель (ESA). Каждая из этих галактик имеет массу порядка $3 \cdot 10^{11}$ масс Солнца, чего явно недостаточно, по существующим теоретическим представлениям, для «зажигания» интенсивного звездообразования (для этого требуется масса галактики в $5 \cdot 10^{12}$ масс Солнца). Из этого факта был сделан вывод, что в этих галактиках нет нужного преобладания (на порядок величины) массы тёмной материи над светящей массой, что наблюдается в «обычных» галактиках, и что он делает серьёзный вызов существующим представлениям теории насчёт природы «тёмной» материи. Более того, авторами обнаруженного эффекта было сделано и заключение, что именно столь маломассивные прегалактические скопления газа и пыли наиболее благоприятны для интенсивного охлаждения в них газа, его результирующего уплотнения и запуска в нём очень активного (в 3–5 раз интенсивнее, чем «обычно», в видимых длинах волн) звездообразования, но никаких предположений о природе обнаруженного феномена и попыток его объяснения авторами (их – 74 персоны!) предложено не было.

Обнаруженный в инфракрасных лучах и обследованный класс галактик, без огромного избытка тёмной материи очень энергично «делающих» звёзды и находящихся на экстремально далёких расстояниях от нас, – это класс очень молодых сгустков обычной материи (чем дальше объект, тем он «моложе» на световом конусе). Из этого с несомненностью следует вывод, что отсутствие избытка тёмной материи в них и их молодость подтверждают мою гипотезу о том, что *тёмная материя – это холодные плотные останки обычных звёзд – нейтронные и нейтронно-кварковые звёзды [1-2], ибо в молодых сгустках газа (и пыли), в которых очень ин-*

тенсивно и впервые образуются обычные (светящие) звёзды, таких плотных тёмных образований ещё не накопилось в столь большом количестве, чтобы влиять на гравитационную динамику обычной материи в сгустке, в частности, и на сам процесс и интенсивность звездообразования, как это происходит в «пожилых» галактиках, «захламлённых» холодными остатками давно умерших и продолжающих умирать в них обычных звёзд.

Иностранный член НАН РА С. С. Григорян

О природе «тёмной» материи в галактиках

Анализ выявленного в 2011 г. системой Гершель факта существования огромного множества очень далёких от нас и очень молодых галактик, в которых идет бурное звездообразование, но нет «тёмной материи», позволило автору сделать вывод о том, что этот факт следует рассматривать как подтверждение его гипотезы о природе «тёмной материи» как совокупности холодных остатков эволюции и гибели обычных светящихся звёзд.

ՀՀ ԳԱԱ արտասահմանյան անդամ Ս. Ս. Գրիգորյան

Գալակտիկաներում «մութ» նյութի բնույթի մասին

2011 թ. Հերշելի համակարգի կողմից հայտնաբերվել է, որ գոյություն ունի մեզանից շատ հեռու և շատ երիտասարդ գալակտիկաների հսկայական քանակություն, որոնց մեջ տեղի է ունենում բուռն աստղագոյացություն, սակայն չկա «մութ նյութ»: Այդ փաստի վերլուծությունը թույլ է տվել հեղինակին եզրակացնել, որ այն պետք է դիտարկել որպես իր «մութ նյութի» բնույթի մասին վարկածի հաստատում, համաձայն որի «մութ նյութը» սովորական լույս տվող աստղերի էվոլյուցիայի և մահվան սառը մնացորդների ամբողջությունն է:

Foreign member of NAS RA S. S. Grigoryan

On “Dark” Matter in Galaxies

The analysis of the fact, revealed by the Herschel Space Laboratory in 2011, that there are many very distant and very young galaxies with rapid star formation, but without "dark matter" has allowed the author to conclude that this fact should be considered as a confirmation of his hypothesis that "dark matter" is formed by the cold remnants of the evolution and death of ordinary shining stars.

Литература

1. *Григорян С.С.* О природе наблюдаемых во Вселенной «чёрных дыр». Тезисы докладов научной конференции. МГУ, Ломоносовские чтения, Секция механики, Апрель 2005 г. С. 82.
2. *Григорян С.С.* - Изв. НАН РА. Механика. 2007. Т. 60. N 4. С. 3-20.
3. *Hershel* - COSPAR's Information Bulletin «Space Research Today». 2011. N 180, April. P. 51-52.
4. *Ambard A., Cooray A. et al.* - Nature. 2011. V. 470. 24 February. P. 510-512.

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 541.124

Академик И. А. Варданян

Критические явления при гетерогенном взаимодействии радикалов CH_3O_2 с органическим соединением

(Представлено 19/III 2012)

Ключевые слова: колебания, радикал, поверхность, метан, цепной механизм.

Ранее [1-3] при изучении реакции пероксидных радикалов с метаном и ацетальдегидом на TiO_2 и NH_4NO_3 , нанесенных на внутреннюю поверхность капиллярных стеклянных реакторов, при низких давлениях в условиях потока исходных веществ и продуктов превращения было обнаружено удивительное явление размножения радикалов, приписанное дополнительному расходованию молекулярного продукта по цепному разветвленному механизму на твердой поверхности вышеуказанных соединений. Однако в ходе изучения зависимости изменения количества радикалов от количества поданного органического соединения было обнаружено и другое явление, не нашедшее пока объяснения. Помимо того что количество радикалов в определенных условиях превышало исходное, наблюдалось и изменение количества радикалов в зависимости от количества поданного органического соединения. Причем эта зависимость носила колебательный характер.

В настоящей работе сделана попытка дать объяснение этому феномену. На рис.1 приведена зависимость изменения количества радикалов от количества поданного метана и ацетальдегида на поверхности TiO_2 (рутил). Поверхность создавалась обработкой внутренней поверхности капиллярного реактора 10%-ной водной суспензией TiO_2 .

Как видно из рисунка, эта зависимость носит весьма сложный характер. Она состоит из четырех областей: *а*, *б*, *в*, *г*. Области *а* и *в* характеризуются расходом радикалов, а области *б* и *г* – возрастанием количества радикалов вплоть до значений, превышающих исходное количество радикалов.

Данные исследований [1-3] свидетельствуют о том, что наряду с рас-

ходованием CH_3O_2 в результате реакции



происходит разветвление цепей на поверхности вследствие гетерогенного радикального распада гидропероксида метила. Это приводит к дополнительному расходу метана и увеличению количества пероксидных радикалов. В каждой из вышеуказанных областей кроме продолжения, разветвления цепей имеет место и их гибель.

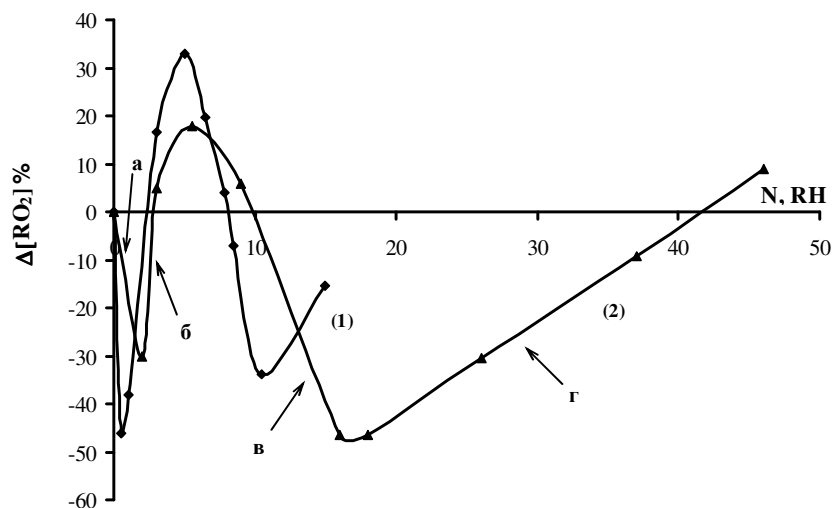


Рис.1. Зависимость разницы между текущим и начальным количеством радикалов ($\Delta[\text{RO}_2]$) от начального количества ацетальдегида (кривая 1) и метана (кривая 2). ($N \times 1.6 \times 10^{16}$ молекул) при 293 К, TiO_2 .

Наряду с колебательным характером этой зависимости обращает на себя внимание резкое изменение количества радикалов при маленьком изменении количества поданного метана в экстремальных точках. Такой критический характер этой зависимости может быть связан с изменением конкуренции стадий разветвления и рекомбинации радикалов на поверхности. Амплитуда колебаний меняется с увеличением количества метана. Подобная же картина наблюдается и при изучении взаимодействия пероксидных радикалов с метаном на поверхности NH_4NO_3 (рис. 2). Поверхность создавалась ее обработкой 10%-ным водным раствором NH_4NO_3 . Для сравнения на рисунке приведены также подобные данные, полученные в случае TiO_2 . Как видно, при увеличении молярной доли кислорода в веществе, на поверхности которого изучается реакция, амплитуда колебаний возрастает.

В пределах опытных значений количеств органического соединения расход радикалов сменяется возрастанием их количества. Резкое уменьшение количества радикалов при сравнительно небольшом изменении количества метана говорит об имеющем место отрицательном взаимодей-

ствии цепей. Если при очень малых количествах метана рекомбинация радикалов происходит по линейному закону, то с увеличением количества метана существенную роль начинает играть квадратичная рекомбинация радикалов.

Кстати, в работе [4] в качестве стадии гибели цепей при фотоокислении ацетальдегида рассматривается квадратичная рекомбинация радикалов HO_2 с RCO_3 на поверхности TiO_2 , приводящая к образованию пероксикислоты и O_2 .

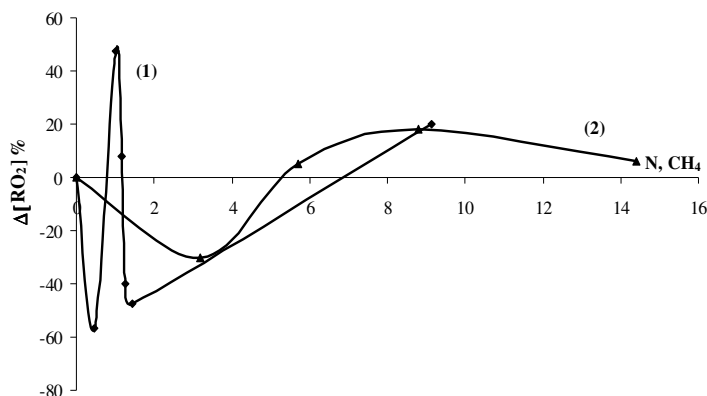


Рис. 2. Зависимость разницы между текущим и начальным количеством радикалов ($\Delta[\text{RO}_2]$) от начального количества метана. ($N \times 1.6 \times 10^{16}$ молекул) при 293 К. Кривые: 1 – NH_4NO_3 , 2 – TiO_2 .

Если рассматривать поведение системы на приведенном рисунке справа налево, то очевидно, что уменьшение количества метана приводит к уменьшению количества радикалов, затем к его возрастанию и затем снова к его падению. Причем в области малых количеств органического соединения небольшое его изменение переводит процесс из одного режима в другой: из режима размножения радикалов в режим расходования и наоборот. Такое может произойти также при взаимодействии пероксидных радикалов с органическим соединением во времени в ходе расходования молекулярного реагента. Подобное поведение практически может носить повторяющийся характер. Фактически налицо колебательный процесс.

Ранее [5-7] осцилляции, наблюдаемые в цепных вырожденно-разветвленных процессах газофазного окисления ацетальдегида и метана, объяснялись нами существованием отрицательной обратной связи с учетом гетерогенных радикальных стадий с участием радикалов RO_2 и ингибитора – формальдегида, а также с учетом заполнения поверхности, влияющего на скорость гетерогенной гибели радикалов. В зависимости от соотношения скоростей вышеуказанных стадий и стадии разветвления цепей

реализуется затухающий, автоколебательный или самоускоряющийся процесс. В данном случае мы имеем дело с цепным процессом, инициируемым на поверхности стадией (1). Отрицательная обратная связь может быть обусловлена как вышеуказанным, так и квадратичной рекомбинацией радикалов на поверхности.

В пользу наших представлений, рассмотренных на примере метана, свидетельствуют также и данные, полученные на поверхности TiO_2 в случае ацетальдегида и представленные на рис.1, из которого видно, что не только природа поверхности, но также и природа органического соединения влияет на характер и амплитуду колебаний. В случае хорошо адсорбирующегося соединения – ацетальдегида изменения носят более резкий характер, а амплитуда больше.

Обобщая, можно отметить, что полученные экспериментальные данные демонстрируют не только возможность цепного разветвленного процесса на поверхности и осуществления отрицательной обратной связи, но и наличие критических явлений, приводящих к периодически повторяющимся разным режимам процесса.

Институт химической физики им. А. Н. Налбандяна НАН РА

Академик И. А. Варданян

**Критические явления при гетерогенном взаимодействии
радикалов CH_3O_2 с органическим соединением**

На основании изучения взаимодействия пероксидных радикалов с ацетальдегидом и метаном на различных твердых поверхностях было установлено, что этот процесс, протекающий по цепному разветвленному механизму, имеет колебательный характер. Указанное явление объясняется наличием отрицательной обратной связи с участием пероксидных радикалов.

Ակադեմիկոս Ի. Ա. Վարդանյան

**Կրիտիկական երևույթները CH_3O_2 ռադիկալների օրգանական
միացության հետ հետերոգեն փոխազդեցության ընթացքում**

Անալիզի ենթարկելով գերօքսիդային ռադիկալների փոխազդեցությունը ալդեհիդների և մեթանի հետ տարբեր պինդ մակերևույթների վրա՝ եզրակացություն է արվել, որ այդ շղթայական ճյուղավորված մեխանիզմով ընթացող պրոցեսը ունի տատանողական բնույթ:

Նշված երևույթը բացատրվել է գերօքսիդային ռադիկալների մասնակցությամբ, բացասական հետադարձ կապի գոյությամբ:

Academician I. A. Vardanyan

**Critical Phenomena at Heterogeneous Interaction of CH_3O_2 Radicals
with Organic Compound**

On the basis of the study of heterogeneous interaction of peroxy radicals with acet-aldehyde and methane on different surfaces it was shown that this chain branching process has an oscillation behavior. The explanation of this phenomenon is given assuming the existence of negative feedback with the participation of peroxy radicals.

Литература

1. *Jalali H.A., Manucharova L.A., Tsarukyan S.V., Vardanyan I.A.* - Russian Journal of Phys. Chem. A. 2011. V. 85. N 3. P.553-556.
2. *Варданын И. А., Манучарова Л. А., Джалали Х. А., Царукян С. В.* - Хим. журнал Армении. 2012. Т. 65. N 1. С. 132-136.
3. *Арустамян А. М., Манучарова Л. А., Джалали Х. А., Варданын И. А.* - ДНАН РА. 2012. Т.112. N 2. С.
4. *Jenkins C.A., Murphy D.M.* - J. Phys. Chem. B. 1999. V.103. P. 1019-1026.
5. *Vardanyan I. A., Manucharova L. A., Tsarukyan S. V.* In: 19th International symposium on gas kinetics. France, Orleans. 2006. P. 232-234.
6. *Vardanyan I. A., Manucharova L. A., Tsarukyan S. V.* - Asme Ati Conf. Energy: production, distribution and conservation. Proceedings. Italy, Milan. 2006. N 34.V. 2. P. 915- 921.
7. *Малхасян Руб.Т., Эксюзян Ш.Р., Варданын И.А.* - ДНАН РА. 2006. Т.106. N 3. С. 252-257.

BIOPHYSICS

УДК 543:616:547

H. R. Vardapetyan¹, S. S. Blbulyan¹, S. G. Tiratsuyan²,
corresponding member of NAS RA A. H. Trchounian²

**Elucidation of Antiradical and Antibacterial Properties of
Hypericum Perforatum Extracts**

(Submitted 14/II 2012)

Keywords: *Hypericum perforatum*, flavonoids, DPPH, antibacterial activity.

Introduction. Many plants used in herbal preparation have been found to possess sufficient antioxidant compounds that can be used in the battle against cellular damage and disease [1]. In situations of increased free radical generation the reinforcement of endogenous antioxidants via intake of dietary antioxidants may be of particular importance in attenuating the cumulative effects of oxidatively damaged molecules. It has been determined that the antioxidant effect of plant products is mainly due to radical scavenging activity of phenolic compounds such as flavonoids, polyphenols, tannins, and phenolic terpenes. The antioxidant activity of phenolic compounds is mainly due to their redox properties, which can play an important role in adsorbing and neutralising free radicals, quenching singlet and triplet oxygen, or decomposing peroxides [2].

Plants of the *Hypericum* genus are well known for their use in traditional medicine due to their therapeutic efficacy. *H. perforatum* extracts has been found to contain several classes of compounds common to most plants, including polyphenolics, flavonoids (quercetin, rutin), etc, as well as two very active classes of unique constituents – the phloroglucinols (hyperforin, adhyperforin) and the naphthodianthrone (hypericin, pseudohypericin) [3, 4]. In spite of this intense research activity, the antioxidant potential of *H. perforatum* extracts has been poorly studied.

The aim of current work was to elucidate different biological activities of *H. perforatum* ethanolic and aqueous extracts, e.g. cytotoxic and free radical scavenging activities, determine the relationship of flavonoids composition, antiradical and antimicrobial activities in chemical and biological systems.

Materials and methods. *H. perforatum* plants (flowers, including approx. 3-5 cm of stem) were collected in 2010 from Tavush region of Armenia and the

biomass was dried on the same day for the preparation of ethanolic and water extracts [5]. To study the antibacterial activity extracts were pre-sterilized through antibacterial filters with 0.2 µm pore size.

Aluminum chloride colorimetric method was used for flavonoids determination [6] based on the property of flavonoids and flavones glycosides form internal yellow complexes of chelate type with Al^{3+} . As a flavonoid standard the quercetin (1,3,4,6,8,13-hexahydroxy-10,11-dimethylphenanthroperylene-7, 14-dione) (0.1 – 10 µg/ml) dissolved in ethanol was used. The calibration curves traced for standard solutions of quercetin/ Al^{3+} complexes at 430 nm have revealed. From the calibration curve the dependence of quercetin concentration on absorption (A_{430}) was revealed that is expressed in the equation with a coefficient of determination (R^2):

$$C_{\text{quercetin}} = -0.19 + 14.64 \times A_{430}; R^2 = 0.9834. \quad (2)$$

To calculate the quantity of total flavones (expressed as quercetin equivalents as mg/g of dry weight of plant material) in *H. perforatum* extracts the dilution factor was quantified and the concentration [mg flavonoid / g sample] was calculated by equation:

$$C_{\text{Flav.}} = V \text{ (ml)} \times 10^{-3} / m \text{ (g)} \times F \times C_{\text{det}} \text{ (mg/ml)}, \quad (3)$$

where: V is the volume of solution prepared from the plant material, m is the mass of plant material, F is the dilution factor that is equal to 10, C_{det} is the flavonoid content for each extract, quantifies by formula (2).

Antiradical activity of tested extracts compounds was assessed in a chemical model, i.e. DPPH (2,2-diphenyl-picrylhydrazyl) stable radical system as described previously [7], occurring by the DPPH radical transformation into its reduced form, which is accompanied with its bleaching at 517 nm at 25°C [8]. DPPH solution which absorbance was not changed in the time of the experiments was used as a negative control. Quercetin and rutin (3, 3',4',5,7-pentahydroxyflavone-3-L-ramnopyranoside) (0.1-10 µg/ml) were used as a positive control. A remnant optical density of DPPH at 517 nm was detected even after its complete scavenging and thus the percentage of the radical scavenging activity (RSC) was calculated by the following equation:

$$\text{RSC\%} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / (A_{\text{control}} - A_{\text{remnant}})] \times 100.$$

The inhibition concentration (IC_{50}) values that denote the concentration of sample, required for scavenging the 50% of DPPH free radicals were calculated. To show the DPPH discoloration reaction kinetics the IC_{50} values were converted to a ratio by dividing them to a value, where a total DPPH reduction is in its steady state. This ratio was named reduction index (RI), a kinetic parameter that measures the velocity of the reaction of DPPH reduction [9].

Antibacterial activities of *H. perforatum* aqueous extract were studied on polyresistant strain *Staphylococcus aureus* № 906 and wild type *Escherichia coli* K-12 cultures (Collection of the Department of Epidemiology of Yerevan State Medical University) by the method of serial double dilutions with different content of extracts [10]. From dose-depending curves the concentration of extract required for the inhibition of the bacterial survivability on half (IS_{50}) was determined.

The antibacterial activities of both extracts of *H. perforatum* were also in-

vestigated by the disc-diffusion method [11]. As an indicator of antibacterial activity the inhibition zone (in millimeters) formed after 24 – 48 hours of bacteria development was taken. *E. coli* K-12 wild type strain was grown on nutrient media in Petri dishes with 1.5% agar and minimal salt media [12]. Microbial loading on a Petri dish was about 10^8 cells. The sample holes were gained by removal of 8 mm core of agar from the seeded Petri dish agar and 100 μ l of each extract (10 - 100 mg/ml), as well as pure quercetin and rutin (0.01 - 0.1mg/ml) was applied. The filled hole was then covered with pure agar. The plates were incubated overnight at 37° C. Cultures incubated with ethanol were the negative control.

Experimental results are expressed as means $\pm$ SD (standard deviation). All measurements were replicated five times. The data were analyzed by a one-way analysis of variance (ANOVA) and the values of $p < 0.05$ were considered as significant.

Results. The property of compounds of flavonoid origin involved in complex formation with metals e.g. with aluminum [13] was used to reveal their content in *H. perforatum* extracts. The data received in this research indicate that the flavonoids content in ethanolic extracts of *H. perforatum* exceeds that of aqueous extracts more than 8 times (Table).

Flavonoid, hypericin contents, IC₅₀ values for DPPH radical scavenging and IS₅₀ antibacterial activities of *H. perforatum* extracts, quercetin and rutin. Represented values are means of five independent experiments (mean $\pm$ SD, $p < 0.05$)

H.perforatum extracts	Flavonoid content (mg/g)	Hypericin content (μ M)	IC ₅₀ (mg/ml)	IS ₅₀ g/ml	
				<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>
Eth-Ex	0.59 $\pm$ 0.031	30.0 $\pm$ 0.5	0.68 $\pm$ 0.036	-	-
Aqua-Ex	0.073 $\pm$ 0.004	7.0 $\pm$ 0.05	0.75 $\pm$ 0.045	0.45 $\pm$ 0.010	0.30 $\pm$ 0.015
Quercetin	-	-	0.01 $\pm$ 0.003	-	-
Rutin	-	-	0.03 $\pm$ 0.003	-	-

The evaluation of the free radical scavenging capacity of *H. perforatum* extracts, quercetin and rutin was based on the DPPH consumption elicited by their addition. Hydrogen donating ability was dose-dependent. From the dose-activity curves IC₅₀ of each extract, quercetin and rutin was determined graphically. Both extracts of *H. perforatum* showed high approximately the same free radical scavenging activities by DPPH assay (Fig 1). The standard quercetin shows an IC₅₀ at 0.01 $\pm$ 0.003 mg/ml, and rutin 0.03 $\pm$ 0.003 mg/ml.

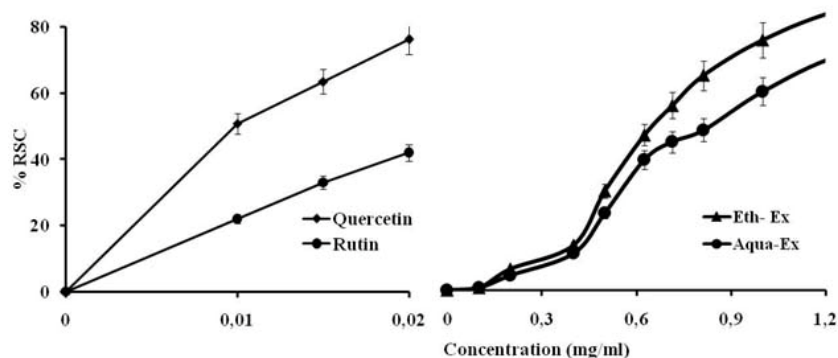


Fig 1. DPPH radical consumption induced by quercetin and rutin (left) and ethanolic and aqueous extracts of *H. perforatum* (right) (mean $\pm$ SD of five independent experiments, $p < 0.05$).

The antibacterial activity of aqueous extract of *H. perforatum* was assessed by cultivation of bacteria in media containing different concentrations of extracts. It was shown that the extract has expressed inhibiting action on gram-positive (*S. aureus* № 906) and gram-negative (*E. coli* K-12) bacteria. *S. aureus* and *E. coli* become susceptible to *H. perforatum* extract beginning from the concentration of 0.18 ± 0.005 and 0.28 ± 0.009 g/ml, respectively. The concentration of extract that is needed to inhibit the survivability on half (IS_{50}) is 0.3 ± 0.010 and 0.45 ± 0.015 g/ml for *S. aureus* and *E. coli*, respectively. These data demonstrate the sizeable antimicrobial activity of aqueous extracts of *H. perforatum* (Fig. 2).

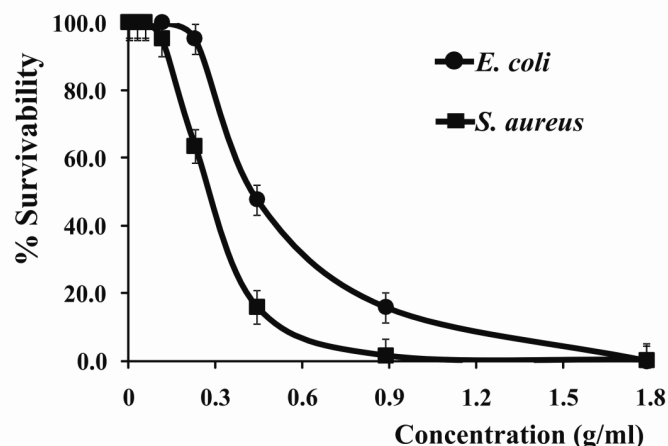


Fig. 2. Survivability (in %) of *S. aureus* № 906 and *E. coli* K-12 depending on concentration of aqueous extract of *H. perforatum* (mean $\pm$ SD of four independent experiments, $p < 0.05$).

Antibacterial activities of extracts of *H. perforatum* and quercetin on *E. coli* K-12 were also studied by disc-diffusion method. It was shown that etha-

nolic extract and quercetin possess antimicrobial activity with the close values diameters of inhibition zone (with the core diameter), within the 24 h period. Rutin possess a less inhibition on *E. coli* K-12, and the aqueous extract action is negligible. After 48 h a slight increase of the inhibition zone was observed. The ethanol alone did not show any zone of inhibition (Fig. 3, 4).

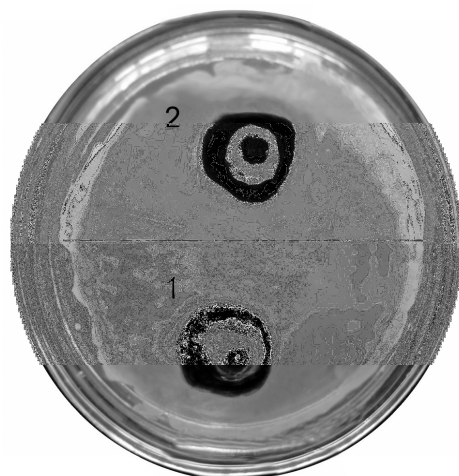


Fig. 3. The formation of inhibition zones after injection of *H. perforatum* ethanolic extract (1) and quercetin (2) into the agar holes. Represented values are means of five independent experiments (mean $\pm$ SD, $p < 0.05$).

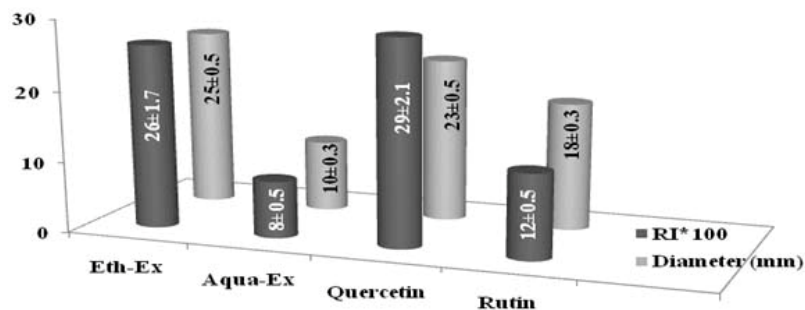


Fig. 4. RI and inhibition zone diameter (with core diameter) values for *H. perforatum* extracts, quercetin and rutin. Represented values are means of five independent experiments (mean $\pm$ SD, $p < 0.05$).

Discussion. Medical plants are therapeutic resources of modern drugs for the treatment of common diseases. The screening of medicinal plants for active compounds has become very important as potential sources of novel antibiotics

[14]. *H. perforatum* plants are reported to have multiple biological activities including vasodilator, anti-depressive, anti-inflammatory, anticancer, antiviral, antibacterial etc [1, 3, 9] due a number of phenolic compounds, including hypericin, hyperforin, rutin, hyperoside, quercetin, flavonols, flavones, etc [15]. Several compounds in *H. perforatum* could be attributed to pharmacological activities associated with free radicals. Overproduction of free radicals causes oxidative damage to biomolecules such as lipids, proteins and DNA, eventually leading to many chronic diseases [1, 2]. However, antioxidants are known to reduce the possibility of occurrence of these adverse events.

The results of this study have revealed the antioxidant potential of *H. perforatum* aqueous and ethanolic extracts in a chemical model. IC_{50} values indicate that the antioxidant activity of ethanolic extract of *H. perforatum* is a little higher than its aqueous extract. It is known that the flavonoids content in extracts plays a significant role in their antioxidant capacity [1]. The aqueous extract of *H. perforatum* has a low content of hypericin and flavonoids that suggests that the expressed antiradical activity is more likely caused by water-soluble non-flavonoid origin antioxidant compounds. The high RSC value of ethanolic extracts is likely connected with content of flavonoids and quercetin in particular the content of which was shown to be 8 times more in ethanolic extracts (table). Quercetin exhibits a better scavenging activity, supporting the role of 3-OH group in free radical quenching. The relatively low scavenging activity of rutin could be attributed to the O-rutinoside substituted 3'-position of the C-ring confirms that in flavonols with trihydroxyl the hydroxyl groups function as effective radical scavengers [16]. In this test system quercetin was more potent antioxidant, than rutin.

The IC_{50} values give little information about the reaction kinetics, in terms of velocity [17]. Therefore, we used an additional parameter, the reduction index (RI) that characterize the DPPH bleaching rate (Fig. 4). Both extracts induced a moderate decrease in the free DPPH radical. It was shown that inserted RI values differ significantly for ethanolic and aqueous extracts (more than 3 times), but RI for ethanolic extract is equal quercetin RI. It is possible that high velocity of DPPH bleaching is due to antioxidant compounds of flavonoid origin, whereas slow velocity of DPPH decolorization by aqueous extract is due to antioxidant compounds of non-flavonoid origin. Besides, synergism of phenolic compounds in an extract may contribute to the overall antioxidant activity

The antibacterial activity of *H. perforatum* aqueous extracts showed growth inhibition against *S. aureus* and *E. coli*, where the stronger activity was found on *S. aureus* (Fig. 2). The activity of the extract was found to be higher on Gram-positive bacteria compared with the Gram-negative strains. The latter effect was not surprising as it is known that Gram-negative bacteria are more resistant to plant extracts [12]. Data received in this study allow concluding that *H. perforatum* aqueous extracts act on cytoplasmic targets. It should be noted that aqueous extract showed antiradical activity ($IC_{50} = 0.75 \pm 0.045$ mg/ml) in much more less concentrations than is needed for the expression of antibacterial activity ($IS_{50} = 0.3 \pm 0.010$ and 0.45 ± 0.015 g/ml) for *S. aureus* and *E. coli*, respectively.

Ethanollic extract of *H. perforatum* and quercetin showed practically equal antibacterial activities against *E. coli* K-12 by the disc diffusion method. Considering the fact that the flavonoid content in ethanollic extract is equal to quercetin content expressed in equivalents (Table), it could be concluded that the main input in antibacterial activity of this extract belongs to quercetin, although rutin can introduce antibacterial activity of extract. The aqueous extract did not show antibacterial activity by this method, which may be connected with the low amounts of extracts used that was less from 20 to 30 times compared with the amounts, taken for the method of serial double dilutions. The differences in antibacterial activities of ethanollic and aqueous extracts within the same concentrations could be explained by the low quantity of flavonoids in the latter. These results agree well with the published data on antimicrobial activities of *H. perforatum* extracts on various bacteria [17]. In the present work it was shown correlation between RI and antibacterial activity, determined by disc-diffusion method that certify both antibacterial activity and velocity of DPPH bleaching is due to the same antioxidant compounds (Fig. 4).

Data gathered in this study demonstrated the ability of ethanollic and aqueous extracts of *H. perforatum* to scavenge the DPPH stable radical. It is shown, that both extracts express the significant antiradical activity with near IC_{50} values that varies significantly in their RI. In aqueous extract the DPPH decolorization activity seems to be connected with contribution of soluble components of non-flavonoid origin. The DPPH stable radical scavenging activity correlates with flavonoids content in ethanol extract. Both extracts of *H. perforatum* reveal antibacterial action in a dose-dependent manner. The result of this study justifies the use of these extracts of *H. perforatum* for the treatment of infectious diseases caused by bacteria.

Acknowledgements. This work was funded by the Ministry of Education and Science and the State Committee of Science of Republic of Armenia (grants № 242_N and № 706).

¹Russian-Armenian (Slavonic) University

²Yerevan State University

**H. R. Vardapetyan, S. S. Blbulyan, S. G. Tiratsuyan,
corresponding member of NAS RA A. H. Trchounian**

Elucidation of Antiradical and Antibacterial Properties of *Hypericum Perforatum* Extracts

The antioxidative potentials of extracts of *Hypericum perforatum* were evaluated by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) assay with simultaneous monitoring of the total flavonoids content. The antibacterial effects of these extracts were also investigated. It was shown that *H. perforatum* ethanollic and aqueous extracts express significant antiradical activity with near inhibition capacities that vary significantly in their reduction index (RI). Aqueous extract reveals cytotoxic action on *E. coli* and

S.aureus bacteria in a dose-dependent manner that correlates with antiradical activity, which seems to be connected with components of non-flavonoid origin. The DPPH scavenging activity in ethanolic extract correlates with flavonoids content.

**Հ. Ռ. Վարդապետյան, Ս.Ս. Բլբուլյան, Ս. Գ. Տիրացույան,
ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ Ա.Հ. Թոչունյան**

***Hypericum perforatum*-ի էքստրակտների հակառադիկալային և հակաբակտերիալ հատկությունների ուսումնասիրությունը**

Ուսումնասիրվել են ծակոտկեն սրճիռնոցի (*Hypericum perforatum*) էքստրակտների հակաօքսիդիչ ակտիվությունը 2,2-դիֆենիլ-1-պիկրիլիդիդրազիլ (ԴՖՊՀ) կայուն ռադիկալների մարմամբ և ֆլավոնոիդների ընդհանուր պարունակության մոնիթորինգը: Հետազոտվել է նաև էքստրակտների հակաբակտերիալ ակտիվությունը: Բացահայտվել է, որ *H. perforatum*-ի էթանոլային և ջրային էքստրակտները, ունենալով հակառադիկալայինին մոտ ակտիվություններ, ցուցաբերում են բավականաչափ տարբեր վերականգնման ինդեքսներ (RI): Ջրային էքստրակտը *E. coli* և *S. aureus* բակտերիաների նկատմամբ ցուցաբերում է ցիտոտոքսիկություն՝ կախված կոնցենտրացիայից, որը կորելացվում է հակառադիկալային ակտիվությամբ՝ պայմանավորված ոչ ֆլավոնոիդային բնույթի բաղադրիչներով: Էթանոլային էքստրակտի ԴՖՊՀ-ի հանդեպ հակառադիկալային ակտիվությունը կորելացվում է ֆլավոնոիդների պարունակության հետ:

**Г. Р. Вардапетян, С. С. Блбулян, С. Г. Тирацунян,
член-корреспондент НАН РА А. А. Трчунян**

Исследование антирадикальных и антибактериальных свойств экстрактов *Hypericum perforatum*

Исследован антиоксидантный потенциал экстрактов зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*) тушением стабильного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (ДФПГ) с одновременным мониторингом общего содержания флавоноидов. Исследована также антибактериальная активность экстрактов. Показано, что этанольный и водный экстракты *H. perforatum* обладают близкой антирадикальной активностью при значительно отличающемся индексе восстановления (RI). Водный экстракт обладает цитотоксичностью в отношении бактерий *E.coli* и *S.aureus*, зависящей от концентрации, что коррелирует с антирадикальной активностью, связанной с компонентами нефлавоноидной природы. Тушение радикала ДФПГ этанольными экстрактами коррелирует с содержанием флавоноидов.

References

1. Middleton E. et al. -J.Pharmacol. Rev. 2000.V.52. 4. P. 673–751.
2. Behl C., Mosman B. -J.Free Radical Biology and Medicine. 2002. V.33. P. 182–191.
3. Barnes J. et al.- J. Pharm. Pharmacol. 2001. V. 53. P.583–600.
4. Hunt E. et al- Life Sciences. J. 2001. V. 69. P.181–190.
5. Vardapetyan H. et al.- J. Photochem. Photobiol. 2010. V.101. P. 53–58.
6. Chang C. et al.-J. Food Drug Analysis. 2002. V. 10. P. 178–182.
7. Bernardi A. et al.- J. Chil. Chem. Soc. 2007. V 52. N 4. P.1326-1329.

8. *Mensor L. et al.* - J. Phytother. Res. 2001.V. 15. P. 127–130.
9. *Silva B. et al.* - J.Food Chemistry. 2005. V. 90. P. 157–167.
10. *Vardapetyan H. et al.* - J. Blood. 2006. V. 2.4. P. 16–21.
11. *Bauer A. et al.* - Am. J. Clin. Pathol. 1966. V.4. P. 493–496.
12. *Markaryan S. et al.* - J.Lett. Appl. Microbiol. 2002. V. 34. P. 417–421.
13. *Rabe T. et al.* - J. Ethnopharmacol. 1997. V. 56. P.81-87.
14. *Cseke L. J. et al.* Natural products from plants. 2nd ed. London, New York. 2006. P. 611.
15. *Tsimogiannis D. et al.* - J.Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2006. V.7. P.140–146.
16. *Lebeau J. et al.* -J.Free Radical Biology and Medicine. 2000.V.29. P. 900–912.
17. *Milošević, T. et al.* -J. Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia. 2006. V. 25.2. P. 127–130.

БИОХИМИЯ

УДК 619: 616. 391

А. Г. Григорян

Нарушения углеводного обмена у животных при гипокинезии

(Представлено академиком К.Г. Карагезяном 20/І 2012)

Ключевые слова: *гипокинетический синдром, гипокинезия, углеводы, углеводный обмен, глюкоза, пировиноградная кислота, лактатдегидрогеназа.*

Известно, что в условиях длительной гипокинезии в организме теплокровных животных происходят изменения окислительно-восстановительных процессов, в том числе и метаболизм углеводов. Изменение основного показателя состояния углеводного обмена – концентрации глюкозы в крови, по мнению ряда авторов, при гипокинезии носит фазный характер [1]. На ранних этапах гипокинезии отмечается повышение содержания глюкозы в крови. При более длительном воздействии гипокинезии наблюдается гипогликемия, что согласно [2, 3] связано с уменьшением запасов гликогена в печени и торможением его нового синтеза.

Гипокинезия приводит также к значительному нарушению активности ряда ферментов, участвующих в обмене углеводов. Одним из ключевых ферментов, участвующих в расщеплении пировиноградной кислоты в молочную, является лактатдегидрогеназа [4-6].

В настоящей статье исследовано состояние углеводного обмена в условиях длительной гипокинезии на примере таких ключевых показателей углеводного обмена, как содержание глюкозы в крови и пировиноградной кислоты и лактатдегидрогеназы в сыворотке крови.

Опыты были проведены на белых беспородных крысах-самцах с исходной массой 120-160 г и бычках 4-месячного возраста с исходной массой 70-80 кг. Животные опытных и контрольных групп подбирались по принципу аналогов. Подопытные крысы помещались в сконструированные нами клетки размером 140×60×60 мм, ограничивающие их двигательную активность. Кормили и поили животных из специальных кормушек и поилок, разработанных в Научно-исследовательской лаборатории экспери-

ментально-биологических моделей РАМН. Контрольные животные находились в обычных условиях вивария. Длительность гипокинезии в этой серии составила 45 дней. Кровь для исследований брали в динамике как до гипокинезии, так и на 5-, 15-, 25-, 35-, 45-е сутки гипокинезии.

Дальнейшие исследования были проведены на молодняке крупного рогатого скота в количестве 6 голов, двигательную активность которых ограничивали в индивидуальных клетках размером 50×130 см. Животные контрольной группы в количестве 3 голов содержались по отдельности в боксах размером 2×4 м и в течение эксперимента имели ежедневный двухчасовой выгул. Длительность гипокинезии в этой серии наблюдений составила 120 суток. Кровь для исследований брали у бычков в динамике как до ограничения двигательной активности, так и на 5-, 10-, 15-, 30-, 45-, 60-, 75-, 90-, 105-, 120-е сутки гипокинезии. Содержание глюкозы в крови определяли методом Гульмана в модификации Хивариена – Никкила, в основе которого лежит степень окраски раствора, образующегося при взаимодействии ортотолуидина с глюкозой. Пировиноградную кислоту определяли модифицированным методом Умбрайт, заключающимся в том, что пировиноградная кислота крови конденсируется с 2,4-динитрофенилгидразином с образованием гидразона, окрашивающегося в щелочной среде в коричнево-красный цвет, по интенсивности которого колориметрически судят о содержании пировиноградной кислоты. Активность лактатдегидрогеназы в сыворотке крови определяли по методу Савеля и Товарека, принцип которого состоит в том, что L-лактат в щелочной среде в присутствии лактатдегидрогеназы сыворотки крови и добавленного НАД (никотинамид – аденин – динуклеотид) окисляется в пируват.

После 5 суток пребывания в условиях гипокинезии содержание глюкозы в крови крыс увеличивается в среднем на 57% (5.98 ± 0.34) по отношению к данным, полученным у контрольных животных (3.81 ± 0.11). На 15-е сутки эксперимента содержание глюкозы в крови несколько снизилось (4.3 ± 0.73) и по сравнению с контрольными данными (3.47 ± 0.22) составило 24%. На 25-е сутки этот показатель опять резко достоверно возрастает (7.2 ± 1.29) и по отношению к данным, полученным у контрольных животных (3.46 ± 0.22), составляет уже 108%. На 35-е сутки содержание глюкозы в крови подопытных крыс продолжает оставаться достоверно повышенным, хотя отмечается некоторая тенденция к понижению. В этот срок данные, полученные у подопытных животных (5.81 ± 0.47), выше таковых у контрольных (3.64 ± 0.22) на 60%. К концу эксперимента, на 45-е сутки, содержание глюкозы в крови подопытных животных (3.73 ± 0.34) практически не отличалось от такового у контрольных (3.64 ± 0.22).

Активность лактатдегидрогеназы в крови белых крыс повышалась через 35 суток с начала эксперимента (2.0 ± 0.04), что по сравнению с контрольными показателями (1.58 ± 0.02) составило 26%. Постепенное повышение активности лактатдегидрогеназы в сыворотке крови наблюдалось и в последующие сроки наших исследований. Так, через 45 суток с начала эксперимента активность лактатдегидрогеназы (2.10 ± 0.05) по сравнению с контролем (1.60 ± 0.03) была достоверно выше на 31.2% (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание глюкозы (ммоль/л) в крови и активность
лактатдегидрогеназы (ммоль/ч.л) в сыворотке крови белых крыс при
45-суточной гипокинезии ($M \pm m$, $n_o=8$, $n_k=6$)**

Показатель	Группа	Сроки исследования, сутки					
		фон	5	15	25	35	45
Глюкоза	Опыт	3.9±0.34	5.98±0.34*	4.30±0.73	7.20±1.29*	5.81±0.47*	3.73±0.4
	Контр.	3.7±0.45	3.81±0.11	3.47±0.22	3.46±0.22	3.64±0.22	3.47±0.22
Лактатдегидрогеназа	Опыт	1.64±0.4	1.69±0.03	1.66±0.02	1.64±0.02	2.0±0.04*	2.10±0.05*
	Контр.	1.59±0.03	1.66±0.04	1.64±0.02	1.59±0.02	1.58±0.02	1.60±0.03

* $P \leq 0.05$

В эксперименте на бычках при 120-суточной гипокинезии выявлены следующие изменения. В первые 30 суток эксперимента заметных изменений уровня глюкозы в крови подопытных животных не обнаружено. Начиная с 45-х суток отмечается тенденция к повышению этого показателя. В этот срок количество глюкозы в крови подопытных бычков (4.22 ± 0.26) увеличилось и составило 14% по сравнению с данными, полученными у контрольных животных (3.70 ± 0.41). На 60-е сутки количество глюкозы в среднем увеличилось на 23% (соответственно 4.68 ± 0.27 ; 3.81 ± 0.60), а на 75-е сутки – на 27% (соответственно 4.56 ± 0.18 ; 3.60 ± 0.40).

С 90-х суток начинается процесс нормализации содержания глюкозы в крови подопытных бычков – уровень глюкозы увеличен всего на 4% по отношению к контролю (3.75 ± 0.11 ; 3.60 ± 0.35). На 105-е и 120-е сутки гипокинезии существенных отличий в содержании глюкозы в крови подопытных животных по сравнению с данными, полученными у контрольных животных, не обнаружено.

Далее было продолжено изучение активности лактатдегидрогеназы на бычках. Начиная с 30-х суток гипокинезии активность лактатдегидрогеназы повысилась на 17.4% (1.96 ± 0.06) по отношению к данным, полученным у контрольных животных (1.67 ± 0.03), и оставалась повышенной до 75-х суток эксперимента. На 45-е сутки данные, полученные у подопытных животных (1.82 ± 0.06), были выше контрольных (1.61 ± 0.05) на 13%, на 60-е сутки – на 17% (соответственно 1.96 ± 0.08 ; 1.68 ± 0.08), а на 75-е сутки – на 19.4% (1.97 ± 0.08 ; 1.65 ± 0.03). Начиная с 90-х суток отмечено снижение активности данного фермента у подопытных животных (1.63 ± 0.04), что по отношению к этому показателю у контрольных животных (1.57 ± 0.01) составило всего 3.8%. В конце эксперимента, на 120-е сутки, существенных отличий между данными, полученными у подопытных и контрольных животных, не отмечено.

Итак, выявлено, что при длительной гипокинезии у крыс и бычков происходят определенные изменения в метаболизме углеводов. Наши данные согласуются с данными литературы.

Ввиду того, что гликолиз является одним из механизмов энергообеспечения клетки, а пировиноградная кислота – промежуточным продуктом

расщепления углеводов, данные по содержанию этого компонента в крови служат показателем общего состояния углеводного обмена в организме животных. Пировиноградная кислота используется в организме в основном для биосинтеза лимонной кислоты после предварительного декарбоксилирования и образования ацетилкоэнзима А.

При изучении содержания пировиноградной кислоты в крови нами обнаружено, что уже на 5-е сутки эксперимента количество этого компонента в крови подопытных животных (78.0 ± 4.90) превышало контрольный уровень (73.45 ± 0). На 10-, 15-, 30-е сутки ограничения двигательной активности изменений со стороны этого метаболита в крови не обнаружено.

Наиболее значительные изменения количества пировиноградной кислоты в сторону повышения наблюдались с 45-х по 75-е сутки. Так, на 45-е сутки содержание пировиноградной кислоты в крови подопытных животных (89.4 ± 4.56) было выше, чем у контрольных (79.1 ± 9.70), на 13%, а на 75-е сутки – на 24% (соответственно 91.3 ± 4.56 ; 73.45 ± 1.93). С 90-х суток отмечена тенденция к нормализации этого компонента углеводного обмена – содержание пировиноградной кислоты у подопытных животных (87.7 ± 5.47) было ниже, чем у контрольных (79.1 ± 9.67), примерно на 11%.

На 105-е сутки ограничения двигательной активности содержание этого метаболита в крови подопытных животных (75.3 ± 4.56) было уже на 4.8% ниже, чем в крови контрольных (79.1 ± 11.6), а к 120-м суткам – на 9.5% (соответственно 71.6 ± 0.90 ; 79.1 ± 11.6) (табл. 2).

Таблица 2

Содержание глюкозы (ммоль/л), пировиноградной кислоты (ммоль/л) и активность лактатдегидрогеназы (ммоль /ч.л) на фоне 120-суточной гипокинезии в крови у бычков 4-месячного возраста ($M \pm m$, $n_0=6$, $n_k=3$)

Сутки	Глюкоза		Пировиноградная кислота		Лактатдегидрогеназа	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
Фон	3.70 ± 0.22	3.70 ± 0.24	75.3 ± 5.41	77.9 ± 10.43	1.76 ± 0.06	1.72 ± 0.04
5	3.76 ± 0.17	3.93 ± 0.24	78.0 ± 4.90	73.45 ± 0	1.74 ± 0.02	1.80 ± 0.12
10	3.87 ± 0.17	3.91 ± 0.61	74.8 ± 4.90	77.97 ± 10.43	1.74 ± 0.06	1.72 ± 0.04
15	3.45 ± 0.32	3.58 ± 0.51	75.7 ± 4.92	79.8 ± 10.43	1.76 ± 0.06	1.76 ± 0.04
30	3.64 ± 0.15	3.69 ± 0.41	77.2 ± 4.58	77.2 ± 9.70	$1.96 \pm 0.06^*$	1.67 ± 0.03
45	$4.22 \pm 0.26^*$	3.70 ± 0.41	$89.4 \pm 4.56^*$	79.1 ± 9.70	1.82 ± 0.06	1.61 ± 0.05
60	$4.68 \pm 0.27^*$	3.81 ± 0.60	$96.0 \pm 4.56^*$	69.6 ± 1.93	$1.96 \pm 0.08^*$	1.68 ± 0.08
75	4.56 ± 0.18	3.60 ± 0.40	$91.3 \pm 4.56^*$	73.45 ± 1.93	$1.97 \pm 0.08^*$	1.65 ± 0.03
90	3.75 ± 0.11	3.60 ± 0.35	87.7 ± 5.47	79.1 ± 9.67	1.63 ± 0.04	1.57 ± 0.01
105	3.70 ± 0.11	3.70 ± 0.30	75.3 ± 4.56	79.1 ± 9.70	1.62 ± 0.04	1.61 ± 0.04
120	3.41 ± 1.03	3.71 ± 0.23	71.6 ± 0.90	79.1 ± 11.6	1.62 ± 0.02	1.61 ± 0.04

* $P \leq 0.05$

Увеличение содержания глюкозы в крови подопытных животных на начальных стадиях гипокинезии, по-видимому, является следствием перестройки стресс-регулирующей (гипоталамо-симпато-адреналовой) системы, которая приводит к интенсивному распаду энергетических веществ, в

том числе гликогена, в печени и мышцах и повышению уровня глюкозы в крови, потребность в которой в стресс-ситуациях резко возрастает.

Таким образом, изменения лактатдегидрогеназы в сыворотке крови подопытных животных свидетельствуют о нарушении как начальных, так и конечных звеньев углеводного обмена. Следовательно, если увеличение содержания глюкозы в крови подопытных животных на начальных стадиях гипокинезии является результатом мобилизации адаптационных способностей, то повышение активности лактатдегидрогеназы как у крыс, так и у бычков и изменение содержания провиноградной кислоты у бычков во второй половине гипокинезии являются результатом усиленного распада углеводов в организме. Изменения, происходящие в углеводном обмене у животных в условиях гипокинезии, являются следствием нарушения нейрогуморальной регуляции.

Государственный аграрный университет Армении

А. Г. Григорян

Нарушения углеводного обмена у животных при гипокинезии

Исследовано состояние углеводного обмена в условиях длительной гипокинезии на примере ключевых показателей – содержания глюкозы в крови, пировиноградной кислоты и лактатдегидрогеназы в сыворотке крови белых крыс и бычков.

Отмечены увеличение содержания глюкозы и повышение активности лактатдегидрогеназы и уровня пировиноградной кислоты.

Ա. Գ. Գրիգորյան

Ածխաջրատների փոխանակության խանգարումներ կենդանիների մոտ հիպոկինեզիայի պայմաններում

Ուսումնասիրվել են ածխաջրատների փոխանակության այնպիսի կարևոր ցուցանիշներ, ինչպիսին է սպիտակ առնետների և ցուլիկների արյան մեջ գլյուկոզի և պիրոֆոսֆորի պարունակության և լակտատդեհիդրոգենազ ֆերմենտի ակտիվության մակարդակը հիպոկինեզիայի պայմաններում:

Պարզվել է, որ սակավ շարժողականության պայմաններում արյան մեջ ավելանում է գլյուկոզի և պիրոֆոսֆորի պարունակությունը, բարձրանում է նաև լակտատդեհիդրոգենազայի ակտիվությունը:

A. G. Grigoryan

Distortion of Carbohydrate Metabolism in Animals during Hypokinesia

The results of our studies summarized in the tables show that some parameters of carbohydrate metabolism in albino rats and bulls have undergone the following changes an increase of glucose, increased activity laktatdehidrogenaze, as well as increased pyruvic acid.

It is known that any movement, including muscle contraction indissolubly associated with the loss of energy, so the arisen violations are apparently largely due to changes in energy metabolism.

Литература

1. *Какурин Л. И., Катковский Б.С.* В кн.: Некоторые физиологические аспекты длительной невесомости. Физиология человека и животных. Сборник статей. М. Наука. 1982.
2. *Коваленко Е.А., Гуровский Н.Н.* Гипокинезия. М. Медицина. 1980. 320 с.
3. *Смирнов К.В.* Пищеварение и гипокинезия. М. Медицина. 1990. 225 с.
4. *Коваленко Е.А.* - Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1986. Т.10. № 1. С.3- 15.
5. *Макаров Г.Ф. и др.* - Космическая биология и авиакосмическая медицина.1980. Т. 13. С. 64-67.
6. *Миллер Ф., Вандом А., МакБревер Дж.* В кн.: Состояние гипокинезии. Лондон. 2010 (пер. с англ.).

БИОХИМИЯ

УДК 615.277.3, 543.852.6

А. С. Карагулян

Роль нового производного циансодержащих лактонов в регуляции метаболизма компонентов фосфоинозитидного цикла мембран клеток тимуса при саркоме-45

(Представлено академиком К.Г. Карагезяном 24/II 2012)

Ключевые слова: саркома-45, производное циансодержащих лактонов, фосфоинозитиды, фосфоинозитидный цикл, клетки тимуса.

Исследование механизмов межклеточных взаимодействий, поиск ответственных звеньев в нарушениях регуляции ионтранспортных сигнальных систем в настоящее время приобретают все большую актуальность. Литературные данные [1, 2] о роли фосфоинозитидных мессенджеров в передаче сигнала при онкологических заболеваниях требуют выяснения механизмов запуска и регуляции фосфоинозитидной сигнальной системы (ФСС), обеспечивающей антиапоптоз как нормальной, так и опухолевой клеток. Установлена непосредственная связь нарушений функционирования фосфоинозитол-3-киназного каскада, являющегося важнейшим звеном ФСС, с возникновением широкого спектра опухолей [1-3]. Так, повышение активности фосфоинозитид-3-киназы, фермента, дефосфолирующего фосфоинозитиды (ФИ), наблюдается при опухолях молочной железы [4]. Развитие опухолей эндометрия, связанное со снижением уровня фосфатазы, также ингибирует фосфоинозитидный каскад [2, 5-7]. Установлено, что опухоли лимфатической системы – лимфомы, а также нейробластома, остеосаркома и саркома Юинга, опухоли печени так или иначе связаны с вовлечением ФСС, механизмы активации которой имеют широкий спектр [2]. Возможны также подключения других сигнальных систем с активацией ферментов регуляции пролиферации, транскрипции и промоции опухолей [8, 9]. Понимание механизмов ФСС в регуляции роста опухолей необходимо для разработки и поиска более эффективных схем лечения онкологических заболеваний.

В последние годы создан ряд нетоксичных ингибиторов ФИ-3-киназного сигнального пути, что позволяет разработать новые подходы для комбинированной противоопухолевой терапии [3, 10-12]. Нами были про-

ведены исследования ранних этапов транслокации внешнего сигнала через плазматические мембраны клеток тимоцитов путем исследования некоторых компонентов фосфоинозитидной сигнальной системы, в частности, монофосфоинозитидов (МФИ), дифосфоинозитидов (ДФИ) и трифосфоинозитидов (ТФИ).

Целью настоящей работы являлось исследование некоторых патогенетических механизмов развития опухолевого процесса при экспериментальной модели опухоли веретенноклеточного происхождения – саркомы-45 (S-45) и противоопухолевой активности нового производного циансодержащих лактонов.

Материал и методы исследований. Эксперименты проводились на 30 белых крысах-самцах линии Вистар массой 180-200 г, разделенных на три группы. Первая, контрольная, группа состояла из 10 интактных животных. Животным второй и третьей групп подкожно перевивали опухолевый штамм S-45, полученный из опухолевого банка Онкологического центра МЗ РФ (Москва). Перевивку проводили в специальном боксе лаборатории токсикологии и химиотерапии Научно-технологического центра органической и фармацевтической химии ГНТО НАН РА под руководством Р.Е. Мурадяна. Терапевтический эффект оценивали по степени ингибирования роста опухоли в процентах к контролю. Лечение было начато через 4 дня после перевивки. Циансодержащее производное лактона вводили в течение 3 дней непрерывно, однократно в виде водного раствора (из расчета 17.5 мг/кг массы животного). Животных забивали под эфирным наркозом на 15-е сутки эксперимента методом декапитации. Мембраны клеток тимуса получали методом дифференциального центрифугирования. Затем методом тонкослойной хроматографии осуществляли выделение и фракционирование ФИ на закрепленном слое силикагеля марки ЛС 5/40 мкм в системе хлороформ:метанол:аммиак (45:35:10) [14, 15]. Статистическую обработку данных проводили с учетом критерия достоверности по Фишеру – Стьюденту.

Результаты и обсуждение. В результате проводимых экспериментов наблюдаются количественные изменения в спектре ФИ (таблица). Установлено, что формирование солидной опухоли саркомы-45 у экспериментальных животных приводит к почти двукратному ($P < 0.01$) повышению уровня ТФИ в мембранах клеток тимуса. При этом отмечалось выраженное (почти в 1.5 раза) снижение содержания МФИ и незначительное изменение ДФИ.

Полученные результаты о количественных сдвигах компонентов фосфоинозитидного цикла свидетельствуют об активации ФСС, что характерно для опухолевой трансформации, когда клетки теряют способность использовать защитные механизмы и это приводит к блокированию апоптоза [11]. Анализ полученных данных указывает на глубокие изменения метаболизма изучаемых компонентов фосфоинозитидного цикла в мембранах клеток тимуса экспериментальных животных при саркоме-45.

Накопление вторичного мессенджера – ТФИ способствует опухолевому росту, что согласуется с морфологическими данными. Высокое со-

держание ТФИ и фосфатидных кислот (ФК) [16], возможно, обусловлено подавлением активности фосфолипазы С-фосфоинозитидспецифичной фосфатазы и фосфатидатфосфатазы, соответственно.

Количественные изменения фосфоинозитидов клеток тимуса при саркоме-45 и после применения нового циансодержащего лактона (в мкг Р на 1 г свежей ткани)

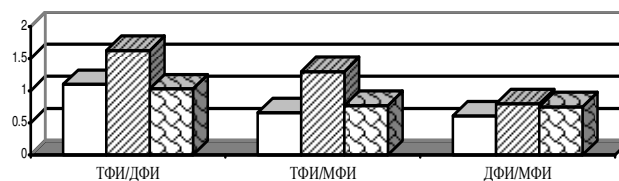
ФИ	Контроль (n=10)	Саркома-45 (n=10)	Лечение (n=10)	P ₁	P ₂	P ₃
ТФИ	434.5±21.05	689.4±29.87	406,2±34,23	<0.01	<0.001	>0.05
ДФИ	396.1±40,34	423.9±35.47	394,4±31,12	>0,05	>0,05	>0.5
МФИ	654.9±32,9	528.9±60.36	524.8±21.14	<0.05	>0.5	<0.05

Примечание. P₁ – сравнение данных при саркоме-45 с контролем; P₂ – сравнение данных при саркоме-45 с данными после лечения; P₃ – сравнение данных после лечения с контролем.

Особый интерес представляют результаты, касающиеся изучения особенностей количественных и качественных изменений в спектре ФИ мембран клеток тимуса после применения циансодержащего производного лактона (2-циан-3,4,4-триметил-2-бутен-4-олид). Установлено, что при этом наблюдается явно выраженная тенденция к нормализации уровня исследованных показателей. Так, в результате терапии в клеточных мембранах тимуса почти полностью восстанавливается содержание ТФИ и ДФИ. В этих условиях абсолютный уровень МФИ не подвергается статистически достоверным отклонениям (по сравнению с опытной группой), хотя их относительное содержание (37.1%) приближается к норме (41.4%).

Анализ полученных результатов, касающихся изучения особенностей изменения величин коэффициентов соотношений отдельных фракций ФИ, указывает на неоднозначность характера их изменений. Так, при исследуемой патологии величины коэффициентов соотношений ТФИ/ДФИ и ТФИ/МФИ, а также ДФИ/МФИ возрастают (рисунок), что свидетельствует об ускорении процесса деградации компонентов фосфоинозитидного цикла. После введения циансодержащего производного лактона коэффициенты соотношений абсолютных величин спектра ФИ при исследуемой патологии почти полностью нормализуются.

Таким образом, полученные нами данные являются доказательством нарушения при саркоме-45 регуляции фосфоинозитидного цикла, следовательно и ФСС, обеспечивающей транслокацию внешних сигналов, что позволяет контролировать такие кардинальные клеточные функции, как пролиферация и апоптоз.



Коэффициенты соотношений абсолютных величин спектра фосфоинозитидов при саркоме-45 и после введения циансодержащего лактона (в мкг Р на 1 г свежей ткани). Белое – контроль, диагональные линии – саркома-45, черепаха – лечение.

Нет сомнений, что вышеуказанные изменения в уровне важнейших компонентов этого каскада, в частности, липидных вторичных посредников, могут привести к нарушению деятельности функциональной активности биомембран, тем самым оказывая влияние на защитные механизмы и способствуя развитию злокачественных новообразований.

Полученные результаты свидетельствуют о положительном воздействии изучаемого препарата на состояние компонентов фосфоинозитидного цикла, приводящем к стабилизации биомембран и восстановлению функциональной активности клеток тимуса.

Ереванский государственный университет
Институт биохимии им. Г.Х. Бунятына НАН РА

А. С. Карагулян

Роль нового производного циансодержащих лактонов в регуляции метаболизма компонентов фосфоинозитидного цикла мембран клеток тимуса при саркоме-45

Исследовано содержание некоторых компонентов фосфоинозитидной сигнальной системы мембран клеток тимуса при экспериментальной опухоли саркома-45. Установлено, что при этом происходит увеличение уровня моно-, ди- и трифосфоинозитидов, приводящее к нарушению коэффициентов их соотношений и к деструктивным изменениям биомембран тимоцитов. После применения соединения циансодержащего лактона наблюдается определенная нормализация уровня изучаемых компонентов биомембран.

Ա. Ս. Ղարագուլյան

**Նոր ցիան խումբ պարունակող լակտոնների ածանցյալի դերը թիմուսի
բջջաթաղանթների ֆոսֆոինոզիտիդային ցիկլի բաղադրիչների
փոխանակության կանոնավորման
գործընթացում սարկոմա 45-ի ժամանակ**

Ուսումնասիրվել են թիմուսի բջիջների թաղանթների ֆոսֆոինոզիտիդային ազդանշանային համակարգի որոշ բաղադրամասերի պարունակության փոփոխությունները փորձարարական սարկոմա-45-ի ժամանակ: Հաստատված է, որ այդ պայմաններում դիտվում են մոնո-, դի- և եռֆոսֆոինոզիտիդների մակարդակների բարձրացում և նրանց հարաբերակցության գործակիցների փոփոխություններ:

Ցիան խումբ պարունակող չհագեցած լակտոնի օգտագործումից հետո տեղի է ունենում ուսումնասիրվող բոլոր ցուցանիշների որոշակի նորմավորում:

A. S. Karagulyan

**The Role of New Cyan Containing Lactones Derivative in Regulation
of a Metabolism of Thymus Cells Membrane Phosphoinositide Cycle
Components in Case of Sarcoma-45**

The content of some components of phosphoinositide signaling system of thymocytes membranes in case of experimental tumour sarcoma-45 has been investigated. It has been established that under such conditions occurred a level growth of mono-, di- and triphosphoinositides leading to infringement of coefficients of their relations, as well as to destructive modifications of thymocytes biomembranes. After application of cyan containing lactone conjunction definite normalization of the level of the studied biomembranes components is observed.

Литература

1. *Вересов В. Г., Кабак А. Г., Волотовский И.Д.* – Биофизика. 2002. Т. 47. № 1. С. 31-37.
2. *Шпаков А.О.* – Вопросы онкологии. 2002. Т. 48. С. 644-654.
3. *Шатская В.А., Красильников М.А., Павличенко О.В.* – Бюл. эксперимент. биологии и медицины. 2007. № 2. С. 206-210.
4. *Герштейн Е.С., Кушлинский Н.Е., Овчинникова Л.К.* – Вопр. биол., мед. и фармацевт. химии. 2009. № 5. С. 10-13.
5. *Слюсарь Н. Н.* Роль фосфоинозитидов и их метаболитов в онкогенезе Докт. дис. СПб. 1993.
6. *Зинченко В.П., Долгачева Л.П.* Внутриклеточная сигнализация. Пущино. 2003. 150 с.
7. *Орловская И.А., Топоркова Л.Б., Феофанова Н.А.* –Иммунология. 2009. № 2. С. 136-139.
8. *Pendaries C., Tronchera N., Plantavid M., Payrastre B.* – FEBS Lett. 2003.V. 546. P. 25-31.

9. *Toker A.* – Cell Mol. Life Sci. 2002. V. 59. P. 761-779.
10. *Kingsbury S.R., Gout I. T.* – Experimental Oncology. 2003. V. 25. P. 3-15.
11. *Toretsky J.A., Thaker M., Eskenazi A.E., Frantz C.N.* – Cancer Res. 1999. V. 59. P. 5745-5750.
12. *Чернов В.А., Богомолова Н.С., Минакова С.М., Сускова В.С.* В сб.: Фармакокинетика проспидина и крыс. Фармакокинетика и метаболизм лекарственных препаратов. М. 1978.
13. *Ghazaryan P.A., Panosyan T.R., Ghochikyan T.V., Harutunyan V.S., Ghazaryan A.P.* - J. Blood. 2010. V. 1(10). P.24.
14. *Зубер В. Л.* Выделение полифосфоинозитидов. Методы биохимических исследований. (Учебное пособие под ред. Прохоровой М.И.) Л. 1982.
15. *Казарян П. А., Элоян Д. В.* Хроматографические методы. М. ЦОЛИУВ. 1982.
16. *Ghazaryan P. A., Galoyan G.M., Karagulyan A.S.* In: International Society of Haematology Congress, European&African Divison, Budapest. 2007. Abstr. P030.

MICROBIOLOGY

УДК 576.8

**S. F. Sharifi Alghabpoor, H. H. Panosyan, Yu. G. Popov,
 corresponding member of NAS RA A. H. Trchounian**

Isolation and Identification of Two Aerobic Thermophilic Bacilli from Jowshan (Iran) Hot Spring

(Submitted 16/VIII 2012)

Keywords: *thermophiles, bacilli, hot springs, 16S rRNA genes, phylogenetic analysis*

Hot springs are a type of extreme environments widely distributed all over the world and represent a challenge for searching of new thermophilic microbes [1, 2]. Recently molecular phylogenetic studies based on 16S rDNA conducted culture-dependent methods, have been used to examine the microbial diversity of various hot springs [3]. A number of aerobic thermophiles have been isolated from a variety of geothermal environments such as hot springs, solfataric fields and hydrothermal vents throughout the world [4-6]. Members of the genus *Bacillus* and related genera are probably the most frequently isolated thermophilic aerobes from terrestrial and marine hot water environments [7].

Numerous geothermal springs represented a challenge for searching of new biotechnological resources was found on the territory of Iran [8]. In this study isolation and identification based on phenol- and phylotypic characterization of two aerobic thermotolerant bacilli from hot springs of Jowshan (Iran) hot spring was reported.

Materials and methods. Study sites and sampling. The samples were collected from Jowshan hot spring located about 70 kilometers south-eastern part of Kerman, at the center of Iran, on the eastern side of Sirch Mountain (Fig.1). Jowshan geothermal system comprises of 6 thermal springs with outlet temperatures ranging from 39.3 to 46.6°C. The pH value of these springs is from slightly acidic to neutral (6.8-7) and the conductivities about 1500 µS/Cm. The use of different chemical geothermometers suggests temperature of about 110°C in the depth of Jowshan geothermal system [8]. Adjacent sediment

samples were collected using sterile glass flasks and were maintained on ice until processed.

Enrichment and isolation. Samples were incubated in the medium contained the following per liter: sodium chloride, 5g; glucose 20 g; yeast extract, 5 g; peptone 10 g; CaCO_3 6 g; agar-agar 20 g; pH 7.2. One gram of each sediments sample was suspended in 9 ml sterile distilled water and by means of serial dilutions concentrations of 10^{-1} - 10^{-6} were prepared and 1ml of each aliquot was spread on medium and incubated at 56°C for 24h. The pure cultures were obtained by plating the enrichment culture onto nutrient agar with subsequent subculturing [9].



Fig. 1. Location of Jowshan hot spring on map [8].

Phenotypic characteristics. Morphological feature of strains were investigated using a Nikon light microscope and TEM Zeiss EM10 electron microscope. Characterization of each bacterial isolate was performed morphologically according to colony color, size, elevation, margin and Gram staining [9].

Physiological and biochemical characteristics of the isolates were studied by standard methods [10]. To determine the ability of the strains to grow at different temperature (10 - 70°C) and pH (3-10) values and with different NaCl concentrations (0-15%) the same liquid medium mentioned above was applied. Growth was tested by measuring the optical density (OD) of cell suspension at 600nm with a spectrophotometer (Model 722G UV-Visible).

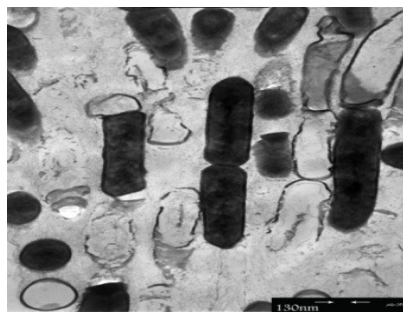
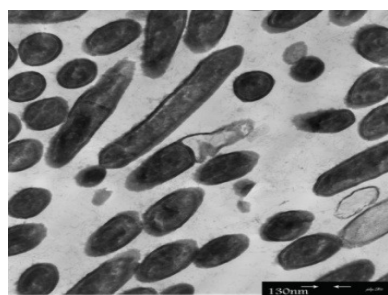
The utilization of various compounds (glucose, maltose, sucrose, galactose, lactose D-mannitol, D-sorbitol and salicin) as carbon and energy sources by the bacteria was tested on a mineral medium. The substrates were sterilized separately and added to the medium at a concentration of 1%. Fermentation of various sugars and gas production was examined by change in the colour of indicator. Catalase, urease, oxidase, methyl red and Voges-Proskauer activity was determined by standard methods described in [9, 10]. Citrate utilization was determined by the appearance of change in colour of citrate agar medium. Caseinolytic activity was determined by growing the bacterial strains on milk agar and observing presence or absence of clearing around the colony. Lipolytic activity was determined by growing the bacterial strains on tween-80 agar (1%) and observing the absence or presence of zone around the colony. Starch

hydrolysis was tested by flooding iodine solution (0.3% I₂ in 3% KJ) on the colonies of the strains grown on the starch agar containing 2% starch and observing presence or absence of clearing around the colony [9, 10]. Each experiment was carried out in triplicate; the averaged values were used.

Antibiotic resistance of the strains was tested by using the commercial discs contained (µg): kanamycin (30), lincomycin (2), cephalixin (30), oxacilin (1), ofloxacin (5), streptomycin (25), oxytetracyclin (30), cefazolin (30), gentamycin (10), nalidixic acid (30), amoxicillin (10), ampicillin (25), penicillin (10), chloramphenicol (30), methicillin (5), erythromycin (10).

Phylogenetic analysis. Total DNA from pure culture was done by the CTAB/NaCl method described in [11]. The 16S rRNA gene fragments were PCR-amplified applying eubacterial specific primers PIB16F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') and MIB16R (5'-GGCTGCTGG CACGTAGTTAG-3'). The PCR conditions used were an initial denaturation at 94°C for 2 minutes, followed by 35 cycles of denaturation at 95°C for one minute, annealing at 55°C for one minute then a final extension was given at 72°C for ten minute. The identity of the isolates was determined through a BLAST search [12]. Nucleotide sequences of the PCR products were sent to cinnaGene Company of Iran in order to determine DNA sequencing (www.cinnaGen.co). Phylogenetic analyses were conducted using MEGA version 5 software package and GeneBank database (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) as a source for DNA sequences of closely related species. The phylogenetic tree was constructed by the neighbour-joining method using the distance matrix from the alignment [13]. The 16S rRNA gene sequences reported in this study has been deposited in the GenBank database under accession number HQ702748 and HQ734816.

Result and discussion. Two strains of aerobic endospore-forming Gram-positive, rod shaped bacilli designated as B1 and B2, respectively, were isolated and further characterized from the sediment samples of Jowshan hot spring (Kerman, Iran). Colonies of strain B1 was compact, small and yellowish and strain B2 was sprawling, flat, irregular shape and whitish. Electronic microscopic examination of the studied strains revealed that all endospores formation stages and envelopes during the stages were typical to spore-forming bacteria. The cell morphology of isolate B1 differed from that of B2 grown under similar conditions. The cells of isolate B1 were short filamentous, whereas cells of isolate B2 were slightly shorter and cylindrical (Fig. 2). In the cells of studied strains, elliptic endospores were located centrally (B1) or subterminally (B2) along the cell axis. Sporangium wasn't enlarged for both strains.



B1

B2

Fig.2. Electron microscope images of isolates ($\times 21000$).

The growth rates of isolates B1 and B2 were determined at the temperature range of 10-70 °C. For isolate B1 the highest maximum growth rate was at 60°C, while isolate B2 had the highest maximum growth rate at 65 °C. The optimum growth temperature was 50°C for both isolates. Isolate B1 was unable to grow at 65°C or below 20°C, and isolate B2 was unable to grow above 70°C or below 20°C (Table 1). Regarding the pH growth limitation, both B1 and B2 isolates were grown in medium that had a range of pH values between 3 and 10. A pH range around neutrality favored optimal growth of the both isolates. The isolates did not grow at pH lower than pH 3. The maximum growth at pH 9 and 9.5 was noted for isolates B1 and B2, respectively (Table 1). Both strains grew with 0-10 % NaCl. The isolate B2 was grown at a NaCl concentration up to 12.5%, and isolate B1 was able to grow at 10% NaCl (Table 1). Thus, our isolates grew within the temperature and the pH ranges characteristic to their habitat.

Table 1. The temperature, pH and NaCl concentration range for growth of isolates

Strains	Growth range											
	Temperature (°C)			pH			NaCl concentration (%)					
	Min	Opt	Max	Min	Opt	Max	0	2.5	5.5	7.5	10	12.5
B1	20	50	60	4	7	9	--	+	+	+	+	--
B2	20	50	65	3	7	9.5	--	+	+	+	+	+

Results of the biochemical characters of isolates are presented in Table 2. Both strains were catalase- and oxidase-positive, showed a positive reaction in the methyl red experiment, able to utilize carbon sources such as glucose, maltose, sucrose, galactose, lactose D-manitol, D-sorbitol and salicin and unable to produce indole from tryptophan. Isolate B2 was unable to utilize citrate, but was urease positive.

Among the tested antibiotics both strains were resistant to penicillin, oxacilin, ampicillin, methicillin and oxytetracyclin. They were highly sensitive to streptomycin, kanamycin, gentamycin, chloramphenicol, erythromycin, ofloxacin, nalidixic acid and lincomycin. The strain B1 was sensitive also to amoxicillin and strain B2 was sensitive to cephalexin and cefazolin. Antibiotic sensitivity of thermophilic isolates is shown in Table 3.

Strains were showed positive results for starch, milk and tween-80 hydrolysis (Figs. 3, 4, 5).

Table 2. Biochemical characteristic of thermophilic isolates

Biochemical characters	Strains	
	B1	B2
Oxidase	+	+
Urease	--	+
Catalase	+	+
Methyl Red test	+	+
VogesProskauer test	w	+
Production of :		
Indole	--	--
Hydrolysis of :		
Casein	+	+
Gelatin	+	+
Starch	+	+
Citrate utilization	+	--
Gas production from glucose	w	+
Acid formation from:		
Glucose	+	+
Galactose	w	+
Lactose	w	w
Maltose	w	w
Sucrose	+	w
D-manitol	w	+
D-sorbitol	w	w
Salicin	w	w

Designation: (+), (-) and w for positive, negative and slight positive reaction



Fig. 3. Lipolytic activity of isolates on tween-80 agar.

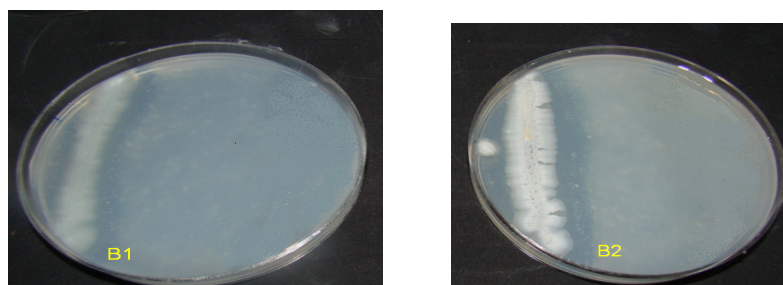


Fig. 4. Caseinolytic activity of isolates on milk agar

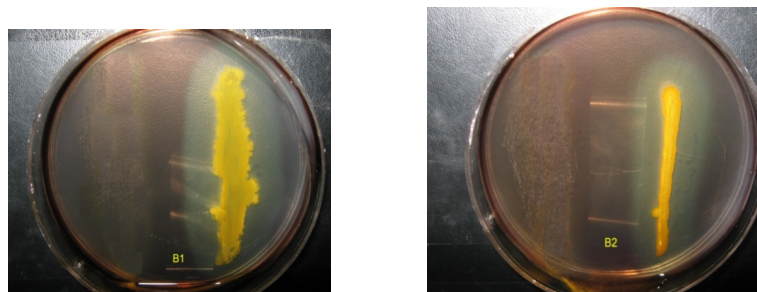


Fig. 5. Amylolytic activity on starch agar.

Table 3. Antibiotic sensitivity of thermophilic isolates

Strains	Antibiotics/zones of cell lysis or growth suppression (mm)															
	β- lactames							Aminoglycosides					Macro lides	Others		
	Penicillin	Oxacillin	Ampicillin	Meticillin	Amoxicillin	Cefazollin	Carbenicillin	Streptomycin	Kanamycin	Gentamycin	Chloramphenicol	Oxytetracyclin	Erythromycin	Ofloxacin	Nalidixic acid	Lincomycin
B1	0	0	0	0	9	0	0	10	30	35	22	0	15	5	7	5
B2	0	0	0	0	0	7	5	12	32	30	5	0	10	5	28	32

Based on their morphology, physiological and biochemical properties isolates B1 and B2 were tentatively identified as *Bacillus* species. Comparative analysis of 16S rRNA gene nucleotide sequences of isolates B1 and B2 confirmed their close homology to the members of the genus *Bacillus*. The strain B1 was identified as *Bacillus spp.* (99%) and strain B2 was identified as *B. licheniformis* (99%) (Table 4). A phylogenetic tree was constructed by the neighbor-joining method identified that both isolates were part of the cluster of genus *Bacillus*. The 16S rRNA gene sequences have been deposited in the GenBank database under accession number HQ702748 (B1) and HQ734816 (B2).

Table 4. Closest sequences and % similarity of studied isolates

Strains	The lengths of the DNA fragments, (bp.)	Closest Sequence	% Similarity	Accession no
B1	526	<i>Bacillus Sp</i> St. TGS 437	99	HQ702748
B2	527	<i>B. licheniformis</i> st.B8	99	HQ734816

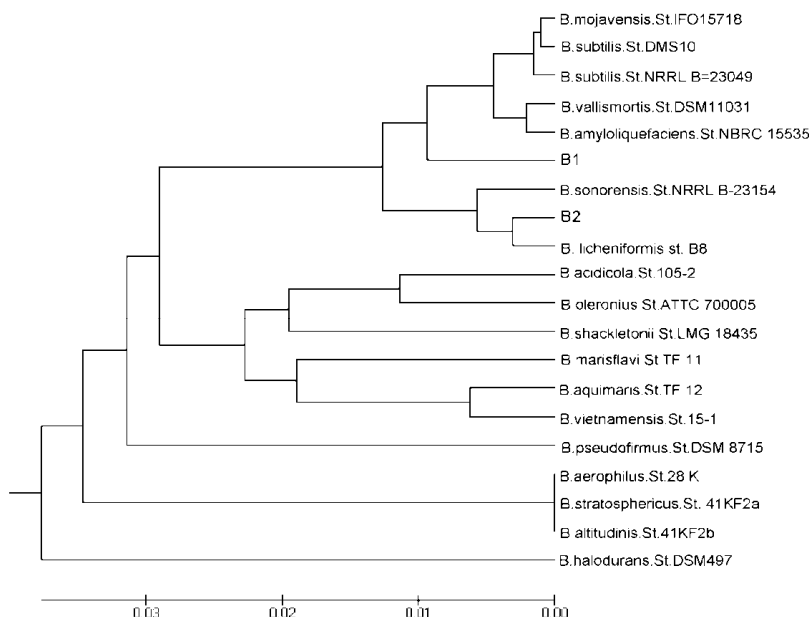


Fig. 6. Phylogenetic tree was constructed by the neighbour-joining method using the distance matrix from the alignment.

In the present study, for characterization and identification of two isolates, both phenotypic and genotypic characters are given emphases. Biochemical and physiological characters are important as they provide clues for selection of

efficient strains for further investigations mainly for applied value. Although studied strains based on 16S rRNA genes sequences showed 99% homology values to *B. licheniformis* and related species, this need to be further confirmed by fatty acid analysis, DNA-DNA hybridization, etc. While these results are important for further taxonomic work, positive results on lipolytic, caseinolytic and amylolytic activities are indicative of potential application of these bacterial cultures.

Yerevan State University

**S. F. Sharifi Alghabpoor, H. H. Panosyan, Yu. G. Popov,
corresponding member of NAS RA A. H. Trchounian**

Isolation and Identification of Two Aerobic Thermophilic Bacilli from Jowshan (Iran) Hot Spring

Two strains of aerobic thermophilic endospore-forming bacteria designed as B1 and B2 were isolated from Jowshan hot spring (Iran) have been identified using phenotypic and phylogenetic approaches. The isolates were grown optimally at temperature of 50°C, at pH 7 and could tolerate 10-12 % (w/v) NaCl. They use a wide range of carbohydrates as carbon and energy sources. Comparative analysis of 16S rRNA gene nucleotide sequences of isolates B1 and B2 confirmed their close homology to the members of the genus *Bacillus*. The 16S rRNA gene sequences have been deposited in the GenBank database under accession number HQ702748 and HQ734816.

**С. Ф. Шарифи Алгабпур, О. А. Паносян, Ю. Г. Попов,
член-корреспондент НАН РА А. А. Трчунян**

Изолирование и идентифицирование двух аэробных термофильных бацилл из горячего источника Джовшана (Иран)

Из горячего источника Джовшана (Иран) изолированы и по фенотипическим и филогенетическим характеристикам идентифицированы два штамма аэробных термофильных эндоспорообразующих бактерий, обозначенных как B1 и B2. Оптимальный рост изолятов наблюдается при температуре 50° С, pH 7, толерантны к 10-12% NaCl. Изоляты используют широкий спектр углеводов в качестве источников углерода и энергии. Сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК штаммов B1 и B2 показали их близкую гомологию с представителями рода *Bacillus*. Последовательности гена 16S рРНК депонированы в базе данных GenBank под инвентарными номерами HQ702748 и HQ734816.

**Ս. Ֆ. Շարիֆի Ալլաբաբուր, Հ. Հ. Փանոսյան, Յու. Գ. Պոպով,
ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ա. Հ. Թոչունյան**

**Ջովշանի (Իրան) երկրաջերմային աղբյուրից բացիլների աերոբ
թերմոֆիլ երկու շտամների մեկուսացումը և նույնականացումը**

Ջովշանի (Իրան) երկրաջերմային աղբյուրից մեկուսացվել են և ֆենոտիպական ու ֆիլոգենետիկական հատկանիշների հիման վրա նույնականացվել են թերմոֆիլ աերոբ էնդոսպոր առաջացնող բակտերիաների երկու շտամներ՝ B1 և B2: Մեկուսացված շտամների աճի ջերմաստիճանային օպտիմումը 50°C է, pH-ը՝ 7, ընդունակ են դիմակայելու NaCl-ի 10-12% կոնցենտրացիաներին, որպես ածխածնի և էներգիայի աղբյուր օգտագործում են տարբեր ածխաջրեր: Շտամների 16S ռՌՆԹ գեների նուկլեոտիդային հաջորդականությունների համեմատական վերլուծությունը հաստատել է դրանց պատկանելիությունը *Bacillus* ցեղին: 16S ռՌՆԹ գեների նուկլեոտիդային հաջորդականություններն ավանդադրվել են GenBank տվյալների բազայում HQ702748 և HQ734816 համարներով:

References

1. Burgess E.A., Wagner I.D., Wiegel J. Thermal Environments and Biodiversity. In: Gerday C., Glansdorff N. (ed.) Physiology and Biochemistry of Extremophiles. ASM Press, Washington D.C., 2007.
2. Charlier D., Droogmans L. Cell Mol. Life Sci. 2005. V.62. P. 2974-2984. Thermophiles 2007. Life in the Hot Line. 9th International Conference on Thermophiles Research. Bergen, Norway, 2007.
3. Demirjian D.C., Moris-Varas F., Cassidy C.S. - Current Opinion in Chemical Biology, 2001. V. 5. P. 144-151.
4. Niehaus F., Bertoldo C., Kähler M., Antranikian G. - Appl. Microbiol. Biotechnol. 1999, V. 51, P. 711-729.
5. Turner P., Mamo G., Karlsson E. M. - Microb. Cell Fact, 2007, V. 6, p. 9-31.
6. Kristjansson J.K., Stetter K. In: Kristjansson J.K. (ed.) Thermophilic bacteria. CRC Press. Inc., Boca Raton. 1992.
7. Noorollahi Y., Yousefi H., Itoi R., Ehara S. - Renewable Sustain. Energy Rev. 2009. V. 13 (5). P. 1127-1132.
8. Практикум по микробиологии. Под ред. Нетрусова А. И. М.: Изд-во АН РФ, 2005, 603.
9. Смайберт Р., Круг Н. В кн.: Методы общей бактериологии. Под ред. Ф. Герхардта и др. Т. 3. М. Мир. 1984. С.8-97.
10. Marmur J.- J. Mol. Biol. 1961. V. 3. P. 208-218.
11. Altschul S.F., Madden T.L., Schaffer A.A., Zhang et al.- Nucl. Acids Res. 1997. V.25. P. 3389-3402.
12. Hall B.G. Phylogenetic trees made easy: A how-to manual, second edition. Sinauer associates, Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts, USA, 2004.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.73+612.468

К. В. Казарян, Н. Г. Унанян, Н. Н. Мелконян

Влияние кровоснабжения на характеристики пейсмекерной активности матки крысы

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л. Р. Манвеляном 13/I 2012)

Ключевые слова: *матка, маточный рог, овариальный отдел, цервикальный отдел, шейка матки, спайковая активность, медленноволновая активность.*

Спонтанная электрическая активность гладкомышечной ткани матки крысы характеризуется комплексной природой: разряды периодически появляющихся всплесков потенциалов действия возникают на нерегулярных осцилляторных изменениях мембранного потенциала [1, 2]. Известно, что ведущую роль в обеспечении основной функции гладкомышечной ткани матки крысы – перистальтической деятельности обеспечивает овариальный конец маточной трубы [3], способствующий координации всех ритмогенных областей органа до самой шейки матки.

Показано, что в период беременности чувствительность матки к половым гормонам и медиаторам заметно повышается и параметры активности миоэпителиальных клеток резко меняются [4-6]. Поэтому изучение механизмов генеза и координации спонтанной активности целесообразнее проводить на небеременных крысах.

Кровоснабжение благодаря транспортной функции играет важную роль в гуморальном контроле при координации и модуляции спонтанной активности гладкомышечной ткани [7]. Действительно, показано быстрое уменьшение контрактурной активности (соответственно и электрической) матки крысы при аноксии и полное ее подавление в течение нескольких минут в условиях ишемии [8, 9]. В ряде исследований выявлено, что петля маточной артерии опоясывает в отдельности каждый рог [8, 10, 11]. При этом поступление крови в правый и левый рог осуществляется от овариальных и цервикальных концов к центру. Однако неизученными на

сегодняшний день остаются вопросы, относящиеся к роли потока крови в спонтанном ритмогенезе миомерия.

В настоящей работе приведены результаты электрофизиологических и морфологических исследований влияния кровоснабжения не только на основную ритмогенную зону маточной трубы, но и на все нижерасположенные пейсмекерные области, которые помогут объяснить механизмы, обеспечивающие их координированную деятельность.

Опыты проводили на небеременных самках крыс массой 200-250 г, наркотизированных нембуталом (50-55 мг/кг) внутривентрально. Эксперименты были острыми, и после завершения регистраций животные забивались. Все эксперименты были проведены в соответствии с правилами Ереванского государственного медицинского университета по этике в области ухода и использования лабораторных животных. Эксперименты, а также уход за животными выполнены в соответствии с «Правилами и нормами гуманного обращения с объектами исследования».

Вскрывалась брюшная полость и обнажался корпус матки с расположенными с двух сторон маточными трубами (рогами). Матка денервировалась перерезкой корешков нервов *plexus hypogastricus*, *uterinus*, *utero-vaginalis*. Регистрация активности проводилась одновременно с поверхности разных отделов матки – овариальной и цервикальной областей каждого из рогов матки, тела и шейки матки. Активность шейки матки регистрировали введением монополярного серебряного электрода в указанную область. Спонтанную электрическую активность остальных исследуемых зон фиксировали с помощью биполярных электродов (межэлектродное расстояние 2 мм). Все типы электрической активности регистрировали на электроэнцефалографе EEG-8 S (Венгрия). Маточная артерия зажималась с помощью эластического резинового жгута непосредственно до подхода к яичнику и соответствующему ему рогу.

Результаты экспериментов статистически обрабатывались программой Sigma Plot 11.0 с применением t-критерия Стьюдента.

Сосудистая система маточного рога крысы выявлялась при использовании кальций аденозинтрифосфатного метода Чилингяряна [12]. На препаратах сосудисто-капиллярная сеть выявляется за счет отложения мелкозернистого черного осадка в эпителии стенок кровеносных сосудов. Окрашиваются также элементы гладкомышечных клеток, благодаря чему легко дифференцируются артериальные, венозные и капиллярные русла. Артериальное звено выделяется яркой исчерченностью благодаря наличию гладкомышечных клеток стенок сосудов.

Известно, что ритмогенные зоны маточной трубы наряду с овариальным концом располагаются также и в ее цервикальной зоне [13]. Вместе с тем любой участок матки способен генерировать спонтанные разряды активности [3]. На рис.1 схематически представлена маточная труба с петлями маточной артерии, опоясывающими каждый рог, а также все типы пейсмекерной активности, зарегистрированные из соответствующих областей органа. В отличие от шейки матки, активность которой в виде медленных волн наблюдается в течение всего периода регистрации, ритмогенез всех вышерасположенных зон (рис. 1, обл. 1,2,3) представляет

собой периодически возникающие разряды спайков. Зажатие ветки маточной артерии, питающей овариальную область рога, влечет за собой определенные изменения показателей активности данного локуса.

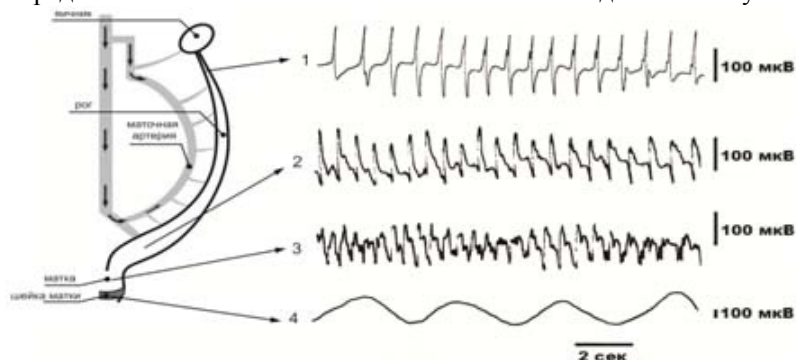


Рис. 1. Схематическое изображение кровоснабжения одной маточной трубы и тела матки с типами активностей, зарегистрированных из различных отделов органа. 1,2,3,4 – соответственно зоны регистрации.

В первой серии экспериментов каждая из исследуемых характеристик (амплитуда, частота, продолжительность генеза вспышек) была проанализирована в определенные промежутки времени: 10, 15 и 20 мин. В последующем все результаты приводятся в процентах по отношению к норме.

На рис. 2 представлены кривые изменений каждой из рассматриваемых характеристик за отмеченные периоды времени. Последующее восстановление тока крови приближает все показатели к исходной величине. Как видно из рисунка, наибольшим изменениям в этих условиях подвержена продолжительность генеза разрядов спайков (62.8 %) и наименьшим – частота ритмогенеза (на 27.2 %) по отношению к норме.

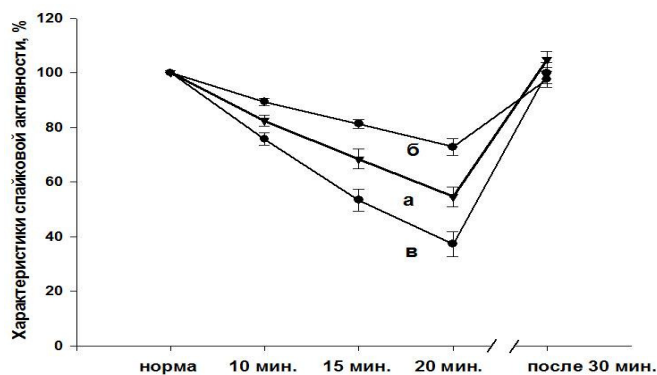


Рис. 2. Зависимость показателей спайковой активности овариального отдела рога от продолжительности ишемии: а-амплитуда; б - частота; в - продолжительность генеза разрядов. n=8

Таким образом, вышеприведенные результаты могут служить под-

тверждением важной роли кровоснабжения в автоматизме овариального отдела маточной трубы.

В следующей серии экспериментов проведен анализ изменения показателей активности всех остальных нижерасположенных зон до самой шейки матки в условии ишемии маточной артерии в течение лишь 20 мин (рис.3). Как видно из рис. 3, А, в отличие от амплитуды спайков овариального отдела рога данный показатель для цервикальной зоны и тела матки уменьшается на небольшую величину (24.4 и 23 % соответственно). Изменение же амплитуды шейки матки аналогично таковому проксимального локуса рога (увеличивается на 52.3 %). Частотные показатели всех трех областей менее подвержены изменениям при ишемии (рис. 3,Б).

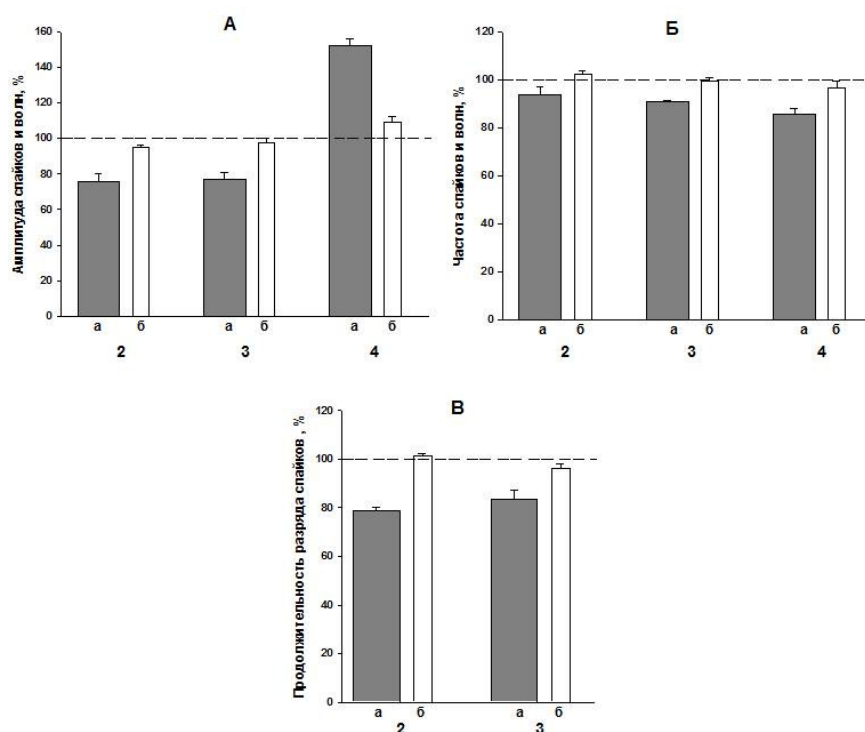


Рис. 3. Влияние ишемии на показатели спайковой активности (цервикальный отдел рога, тело матки) и медленноволновую активность (шейка матки). А - амплитуда; Б – частота; В – продолжительность разрядов. а - ишемия маточной артерии; б - восстановление кровотока. n=8. Цифры внизу соответствуют областям регистраций, представленных на рис. 1.

Тенденция к уменьшению показана и для продолжительности разряда спайков (рис. 3, В). В отличие от овариального отдела рога (уменьшение на 62.8 %) для двух последующих зон (рис. 1, обл. 2 и 3) уменьшение данного показателя соответствует лишь 21.2 и 18.3 %. Все описанные из-

менения характеристик медленноволновой активности шейки матки протекают на фоне непрерывного ее генеза. Восстановление кровотока, как правило, приближает все показатели к норме.

Таким образом, при вышеописанных условиях наибольшее ингибирование претерпевает активность овариального отдела маточной трубы, небольшие же изменения характеристик спайкового ритмогенеза цервикального отдела и тела матки скорее всего являются следствием влияния верхней зоны рога.

Известно, что медленноволновые колебания мембранного потенциала, регистрируемые из шейки матки, в норме обеспечивают ее сжатие [14]. При родах же возникает полярная перистальтика, в которую вовлекаются продольные слои мышц шейки матки и в результате в этой зоне наблюдается спайковая активность, что дает нам основание предположить наличие определенной связи между крайними ритмогенными отделами органа [15].

Микроциркуляторное русло матки и маточных труб выявлялось аденозинтрифосфатным гистоангиологическим методом [12]. Параллельно с васкуляризацией рогов исследовались также сосудистые русла близлежащей области яичников.

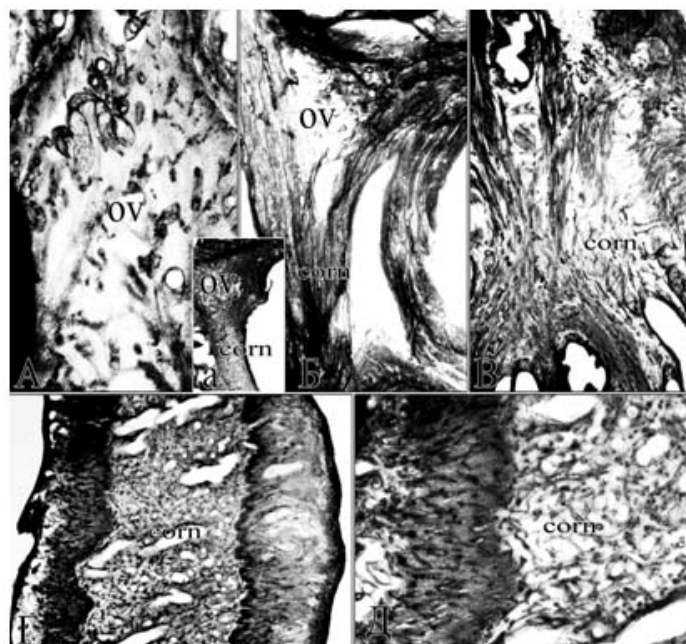


Рис. 4. Кровеносные сосуды микроциркуляторного русла на продольных срезах яичника (А, а), начального отдела маточной трубы (Б, В) и средней части маточной трубы крысы (Г, Д), ov – яичник; corn – рог матки. Увеличение: ок. 10, об. 2,5 (а); 6,3 (Б); 10 (В, Г, Д); 16 (А).

На продольных срезах яичников показана выраженная васкуляриза-

ция, при этом артериальная система сильно разветвлена (рис. 4, А). В области соединения рога с яйником кровеносные сосуды расположены прямо в тесный пучок (на рисунке представлена затемненная поверхность) (рис. 4, Б, В). Последнее, видимо, играет немаловажную роль в способности пейсмейкеров этой зоны обеспечивать ведущую пейсмейкерную функцию. В срединном отделе маточной трубы сосуды принимают сильно извилистое направление, отчего на срезах наряду с микрососудами в большом количестве видны их поперечные сечения (рис. 4, Г, Д).

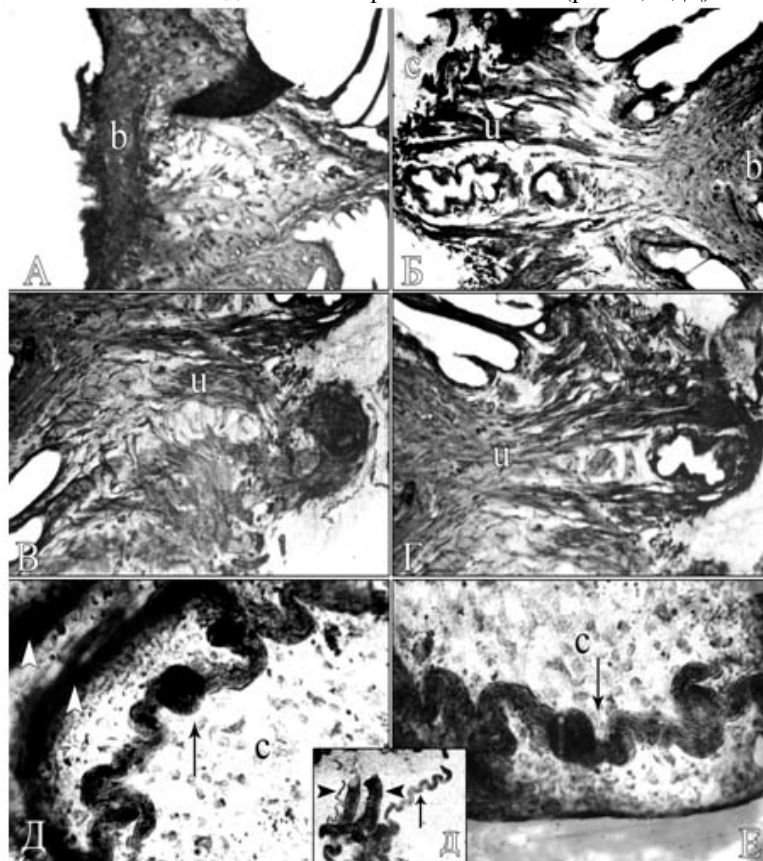


Рис. 5. Кровеносные сосуды микроциркуляторного русла на продольных срезах матки крысы. А(б), Б(б) – рог матки с приграничной областью матки; Б(и), В(и), Г(и) – тело матки; Д(с), Е(с) – область шейки матки. Белые головки стрелок – микрососуды; черные стрелки – нервные волокна. Увеличение: ок.10, об. 2,5(Б); 6,3 (А); 10 (В, Г, д); 16 (Д, Е).

В участке перехода рогов в тело матки кровеносные сосуды опять принимают прямое направление. В связи с этим подобно отделу рога, приграничному к яйникам, данная зона более плотно васкуляризована (рис. 5, А, Б). В наружном и внутреннем слоях миометрия матки кровеносные сосуды более мелкие, расположены продольно или косо и соответ-

вуют ходу нервно-мышечных волокон (рис. 5, В, Г). В области шейки матки отмечается многочисленность наиболее крупных кровеносных сосудов. В основном это спиралевидные извилистые сосуды, причем проходящие в данной плоскости сечения на значительном расстоянии. Для шейки матки характерно также обилие нервных волокон, чаще сопровождающих кровеносные сосуды (рис. 5, Д, Е).

Таким образом, характерной особенностью матки и маточных труб является сильная васкуляризация всех областей. Вместе с тем извилистость сосудов приобретает более прямолинейное направление в выявленных ранее ритмогенных зонах [12-14], что и обеспечивает более локальное, а не разбросанное их кровоснабжение. Все вышеизложенное подтверждает важную роль кровоснабжения в возникновении пейсмекерной активности.

Институт физиологии им. Л.А. Орбели НАН РА

К. В. Казарян, Н. Г. Унанян, Н. Н. Мелконян

Влияние кровоснабжения на характеристики пейсмекерной активности матки крысы

Исследовано влияние ишемии маточной артерии на показатели активности (амплитуда, частота, продолжительность генеза разрядов) овариального и цервикального отделов маточной трубы, тела матки, а также шейки матки. Показаны наибольшие изменения характеристик активности для овариального отдела рога и шейки матки. Сделано заключение о наличии определенной связи между двумя крайними ритмогенными зонами органа. В морфологических исследованиях выявлена сильная васкуляризация всех ритмогенных областей.

Ք. Վ. Ղազարյան, Ն. Գ. Հունանյան, Ն. Ն. Մելքոնյան

Արյունամատակարարման ազդեցությունը առնետի արգանդի պեյսմեկերային ակտիվության բնութագրերի վրա

Ուսումնասիրվել է արգանդի զարկերակի սեղմման ազդեցությունը փողի ձվարանային և վզիկային շրջանների, արգանդի մարմնի և վզիկի ակտիվության ցուցանիշների (ամպլիտուդա, հաճախություն, պարպումների առաջացման տևողություն) վրա: Ակտիվության բնութագրերի ամենամեծ փոփոխությունները գրանցվել են փողի ձվարանային շրջանում և արգանդի վզիկում: Եզրակացություն է արվում օրգանի ծայրամասային երկու ռիթմածին շրջանների միջև որոշակի կապի առկայության մասին: Մորֆոլոգիական հետազոտություններով ցույց է տրվել բոլոր ռիթմածին շրջանների ուժեղ անոթավորումը:

K. V. Kazaryan, N. G. Hunanyan, N. N. Melkonyan
Effect of Blood Supply on Parameters of Pacemaker Activity
of Rat Uterus

The effect of uterine artery ischemia on the amplitude, frequency and burst duration of spike activity in ovarian, cervical ends of horn, uterine corpus and cervix has been studied. The greatest changes of above-mentioned parameters were shown in ovarian part of horn and uterine cervix. It is concluded there is a definite connection between aforesaid two distal parts of a uterus. Strong vascularization of all rithmogenic zones was discovered by morphological methods.

Литература

1. *Kanda S., Kuriyama H.* – J. Physiol. 1980. V. 299. P. 127-144.
2. *Maul H., Maner W.L., Saade G.R., Garfield R.E.* – Clin. Perinatol. 2003. V. 30. № 4. P. 665-676.
3. *Crane L.H., Martin L.* - Reprod. Fertil. Dev. 1991. V. 3. P. 519-527.
4. *Garfield R.E., Bytautiene E., Vedernikov Y.P., Marshall J.S., Romero R.* - Am. J. Obstet. Gynecol. 2000. V. 183. № 1. P. 118-125.
5. *Houdeau E., Rossano B., Prud'homme M.J.* - Auton. Neurosci. 2003. V. 104. № 1. P. 1-9.
6. *Cavaco-Goncalves S., Marques C C, Horta A E, Figueroa J P.* - Anim. Reprod. Sci. 2006. V. 93. P. 360-365.
7. *Bortoff A.* - Physiol. Rev. 1976. V. 56. № 2. P. 418-435.
8. *Even M.D., Laughlin M.H., Krause G.F., vom Saal F.S.* - J. of Reproduction and Fertility. 1994. V. 102. P. 245-252.
9. *Harrison N., Larcombe-McDouall J.B., Earley L., Wray S.* - J. Physiol. 1994. V. 476. P. 349-354.
10. *Mc Laren A., Michie D.* - Nature. 1960. V. 187. P. 363-365.
11. *Van Saal F., Dhar M.* - Physiology and Behavior. 1992. V. 52. P. 163-171.
12. *Чилингарян А.М.* - ДАН АрмССР. 1986. Т. 82. № 1. С. 66-71.
13. *Greiss F.C.* - Am. J. Obstet. Gynecol. 1967. V. 93. P. 917-923.
14. *Garfield R.E., Maner W.L.* - Cell Dev. Biol. 2007. V. 18. № 3. P. 289-295.
15. *Paintar M., Leskosek B., Rudel D., Verdenik I.* - Br. J. of Obstetrics and Gynecology. 2001. V. 108. № 5. P. 533-538.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 159.98+159.9:331.108.2+612.821+614.2

К. А. Панчулазян

Психологическое и психофизиологическое исследование персонала в кадровой стратегии предпринимательской деятельности

(Представлено академиком М.А.Давтяном 21/I 2012)

Ключевые слова: *психологическое обеспечение деятельности, комплексный психологический опрос, психофизиологическое анкетирование, положительная летная мотивация, бесконтактная оценка достоверности информации, база персональных данных*

В настоящее время для организации профессионального отбора кадров существует множество методик оценки персонала с помощью психологического тестирования (ПТ) индивидуально-психологических структурных компонентов личности индивида: типа личности и эмоционально-волевой сферы, характера и акцентуаций, уровня интеллекта и креативности, восприятия, внимания и памяти, уровня конфликтного потенциала, психосоциальной адаптивности, межличностных отношений и др. Эти методики подбираются психологом в зависимости от поставленных задач и ожидаемых результатов. Однако известно, что независимое одно- или многофакторное ПТ является субъективной, ситуативной, непроверяемой экспериментально и весьма аморфной группой психологических методик подсознательного, умозрительного уровня с достоверностью результатов 68 – 80%. Достоверность результатов ПТ дискретно изменяется в зависимости от доминирования тех или иных индивидуально-психологических особенностей (ИПО) исследуемого, эмоциональной стабильности и интеллектуальной лабильности, устойчивости поведения, мотивации, характера трудовой деятельности, бессознательного желания «улучшить», а по сути исказить результаты ПТ. Надежность ПТ низкая, поскольку при одинаковых условиях эксперимента повторное измерение может показать существенно разные результаты [1,2].

Метод ПТ позволяет количественно оценивать полученные результаты и сравнивать их с данными обследования других авторов и экспериментаторов. При этом нарушение основных условий тестирования (учет особенностей индивидуальных переживаний, уникальности человеческой личности, ее неповторимости и нестандартности) может привести к недостоверности результатов исследования. Поэтому ПТ следует рассматривать не как самостоятельный метод, а как часть целостного исследования [3]. Низкая достоверность ПТ как метода независимого исследования индивидуально-психологических и профессиональных особенностей личности не обеспечивает объективную психологическую безопасность компании при найме, расстановке и управлении персоналом.

Опрос по методикам ПТ может служить дополнением к проводимому психофизиологическому исследованию (ПФИ) с достоверностью результатов 95 – свыше 99%, например, опрос с использованием полиграфа (ОИП), регистрации своевременности и адекватности возбuditельно-тормозных и неспецифических психовегетативных условнорефлекторных реакций исследуемого [4-6].

С 2007 г. в ООО авиакомпании (а/к) «Армавиа», национальном авиаперевозчике Республики Армения, функционирует подразделение психологического обеспечения деятельности (ПОД) на основе научно-исследовательской триады: 1) прикладная психология; 2) психофизиология; 3) полиграфология, в частности, бесконтактная оценка достоверности информации (БОДИ). С целью многостороннего исследования человеческого фактора в гражданской авиации в соответствии с нормами Международной организации гражданской авиации (ИКАО) и методами авиационной психологии, организации профессионального отбора, обеспечения психологической безопасности компании при найме, расстановке и управлении персоналом разработана адаптированная к специфике а/к качественно новая многоцелевая система взаимодополняющих психологических и психофизиологических методик комплексного психологического опроса (КПО) персонала а/к. В интегральную систему КПО нанимаемого и работающего персонала входят: наблюдение, изучение прошлой трудовой деятельности, предтестовое собеседование, ПТ по различным дифференцированным психологическим методикам, тестовая БОДИ, послетестовое собеседование, определение соматотипа, эксперимент на обнаружение закономерности причинно-следственной связи и адекватности вербальных и вегетативных ответных реакций исследуемого, исследование поведенческих и психофизиологических неспецифических реакций организма на условнорефлекторные вербальные раздражители и другие континуальные компоненты психологического, психофизиологического и психосоциального свойства. Например, соматотип индивида остается постоянным в течение всей жизни; меняются внешний вид и размеры тела, но не соматотип. Гипо- или гипертрофия мышц изменяют очертания тела, но не соматотип; опытный глаз исследователя часто фиксирует больше, чем измерительный инструмент [7].

При ПТ часто допускается ошибка, известная как «капкан Брокау», когда уклончивость при психологическом опросе не всегда признак лжи и

стабильность эмоциональности и высоты голоса не всегда признак правды, а результат отсутствия информации об индивидуально-психологических и психофизиологических особенностях исследуемого. Анализ и синтез обнаруженных достоверных индивидуальных психологических и психофизиологических экспериментальных данных научно объективной системы КПО позволяет избежать «капкана Брокау» и обосновать заключение о личности кандидата на профпригодность к работе в а/к. В отличие от многих компьютеризованных ПТ, при КПО непосредственное соотношение исследователь – исследуемый существенно повышает вероятность получения надежных и достоверных результатов.

Интегральная система КПО эффективно действует в трех областях: исследовательской, восстановительной, психологического обеспечения безопасности бизнеса (ПОББ). Достоверные результаты КПО ПОД а/к «Армавиа» в исследовании человеческого фактора в гражданской авиации наряду с дополнительной специальной информацией входят в конфиденциальную базу персональных данных (БПД).

ПОД а/к «Армавиа» функционирует по адаптированной к специфике а/к многоступенчатой схеме, проводит многосторонние взаимодополняющие исследования человеческого фактора в гражданской авиации в психологическом, психофизиологическом, интеллектуально-профессиональном, психосоциальном плане. Работы проводятся по следующим пяти основным научно-прикладным направлениям.

1. Психологическое и психофизиологическое исследование нанимаемого на службу и работающего персонала включает в себя: определение ИПО кандидата на профпригодность; составление психологического портрета личности по качественной корреляции психофизиологических и психосоциальных компонентов; обнаружение и психодиагностика психических отклонений, акцентуаций характера личности; исследование ориентировочной реакции индивида при собеседовании: порога непроизвольного подкоркового и объемность, сукцессивность, интенсивность и устойчивость произвольного корково-ретикулярного внимания; сопоставление индивидуальных психофизических качеств кандидата с требованиями профессиограммы, включающей в себя углубленную кадровую беседу (УКБ), психофизиологическое анкетирование (ПФА) и ПТ. Устный опрос, в отличие от письменного, позволяет конструировать профессиональный контакт с исследуемым, глубже проникать в его психоэмоциональную сферу, выявлять индивидуальную психологическую конституцию, определять интеллектуально-профессиональный статус; все это требует специальной подготовки, обучения и большего времени на проведение исследования [8].

2. Исследование индивидуальных психофизиологических, психофизических, психологических и психосоциальных особенностей персонала летного состава и службы бортпроводников. Страх в разумных границах перед полетом был и всегда будет нормальной человеческой реакцией на случайности и опасности полета, что обязывает пилота проявлять большую осторожность и успешно справляться со своими обязанностями; положительная летная мотивация и нормальные психологические защитные

механизмы обычно уравнивают отрицательные последствия эмоционального стресса в полете [9]. По специальным методикам осуществляется дифференцированное многостадийное психологическое и психофизиологическое тестирование летного состава с целью поддержания положительной летной мотивации пилотов до и после ввода в строй в качестве командира или второго пилота воздушного судна. Тестирование проводится в рамках планового и выборочного исследования, в частности, после сложных видов полетов технического, метеорологического или психологического характера, стресса внутри- или межличностного свойства. При существенном положительном результате стадии тестирования, обнаружившей нестабильное психологическое и психофизиологическое состояние организма, пилот или бортпроводник возобновляет свои служебные обязанности после психологической реадaptации – прохождения психокоррекции и наличия достоверных нормальных психологических и психофизиологических результатов повторного полного тестирования. Индивидуальный и групповой психологический тренинг летных экипажей и бригад бортпроводников периодически корректно реализуется в межполетном интервале и не совпадает во времени с предполетной индивидуальной аутогенной психологической подготовкой, когда на подкорковом и корковом уровнях головного мозга происходит рефлекторная психоэмоциональная и профессиональная мобилизация положительной летной мотивации. Психологический мониторинг ведется в динамике служебных обязанностей персонала летного состава и службы бортпроводников.

3. Психоконсультация, психоанализ, психодиагностика и психокоррекция функциональных нарушений нервной системы, таких как острые и хронические стрессы, депрессии, неврозы, фобии различной этиологии, у персонала а/к на фоне контрольной информации БПД на принципе добровольности и конфиденциальности. Исследуется характер обратимого сдвига высшей нервной деятельности – субъективное отражение объективной действительности, содержание психических переживаний и их физиология – вегетативные реакции организма. Соблюдается конфиденциальность – уважение прав работника как индивида и его личной жизни. Если информация работника содержит сведения об опасности, грозящей ему, а/к или обществу, то этические предписания разрешают нарушить конфиденциальность ради безопасности. Однако ответственность психолога перед доверившимся ему работником всегда первична. При психоконсультации работнику дается свобода выбора распоряжаться личной информацией и делает его более открытым для профессионального общения. Последующий курс психокоррекции приводит к нормализации экспериментально проверяемых объективных неспецифических условнорефлекторных психоэмоциональных реакций организма, сравниваемых с контрольной БПД работника, регуляции состояния и положительной служебной мотивации.

4. Непосредственное психологическое исследование нанимаемого на службу и работающего персонала в системе ПОББ с учетом психофизиологического и психосоциального статуса, истинного мотива поступления на работу в а/к, категории степени риска индивида по концепции американского исследователя в области коммерческой безопасности Пола Гоф-

фина. Периодическое исследование работающего и просеивающие проверки нанимаемого персонала на профессиональную пригодность и компетентность с применением методик УКБ, ПФА с БОДИ по невербальным первичным (визуальным) и вторичным (акустическим) признакам речи, поведения и ПТ осуществляются в системе ПОББ для упреждения вероятных умышленных или неумышленных нарушений режима безопасности деятельности а/к. Согласно австралийскому исследователю Аллану Пиза словами передается 7%, акустикой – 38%, а мимикой, жестами и позами – 55% информации, т. е. важнее и информативнее не что говорится, а как говорится [10]. Реализуется исследование неподконтрольных сознанию вегетативных неспецифических реакций и тестовая БОДИ с регистрацией внешних проявлений психовегетативных реакций организма с учетом индивидуальных особенностей функциональной асимметрии полушарий головного мозга исследуемого. В системе ПОББ КПО без компьютерного полиграфа (КП) используется методика «контрольных вопросов» для обнаружения скрываемых исследуемым фактов, когда в качестве регистратора физиологических и двигательных реакций организма выступает не блок сбора данных КП, а профессиональная наблюдательность за невербальными психофизиологическими, мимическими и психомоторными реакциями исследуемого; тестирование методикой «контрольных вопросов» без КП сложнее и менее точно, но служит хорошим подспорьем в исследовательской работе психофизиолога [11]. Получение персональных данных от самого работника и с его добровольного согласия в целях: 1) содействия в трудоустройстве и продвижении по службе; 2) контроля качества выполняемой работы; 3) обеспечения сохранности имущества а/к; 4) служебных перемещений, проверок, расследований [12]. Предполагается оперативное взаимодействие со службой авиационной безопасности а/к в рамках выборочных КПО, служебных расследований и разбирательств, обмена оперативной информацией. Посредством научно-прикладной информации БПД в системе ПОББ осуществляется психологическая защита коммерческой тайны при увольнении сотрудников с целью снижения возможного ущерба от разглашения ими конфиденциальных технических, административных, патентных, юридических, финансовых и других сведений. Учитываются психофизиологический и психосоциальный статус, категория степени риска, занимаемая должность увольняемого (увольняющегося), с которым сохраняется психологический контакт.

5. Решение задач конфликтологии в коллективе, которое включает: проведение ПТ на оценку уровня конфликтности личности; поддержание здорового микроклимата в коллективе, внутри- и межличностной совместимости сотрудников и оперативной профессиональной взаимосвязи между подразделениями; выявление наиболее и наименее успешных сотрудников, а также конфликтных зон в коллективе; определение присущих сотрудникам индивидуальных сильных и слабых сторон личности, способствующих или препятствующих выполнению служебных обязанностей; изучение факторов, сдерживающих потенциал и результативность работы в качестве руководителей подразделений; предупреждение, разрешение конфликтных ситуаций и восстановление взаимного доверия в выстраивании

здоровых межличностных взаимоотношений; проведение перманентного психологического мониторинга персонала.

Координация пяти научно-прикладных взаимодополняющих направлений триады КПО обеспечивает квалифицированный отбор кадров, психологическую безопасность а/к при найме, расстановке и управлении персоналом, оперативное исследование психологических, психофизиологических и интеллектуально-профессиональных особенностей человека с целью решения основной для работодателя психологической задачи – определения уровня доверия к работнику.

КПО прошли около 500 кандидатов на профпригодность, некоторые из них – с неудовлетворительным результатом. Не соответствовали требованиям должностей следующие ИПО личности: неадекватность психовегетативных условнорефлекторных реакций, запаздывание и несбалансированность возбuditельно-тормозных реакций, низкая стрессовая толерантность, асоциальная акцентуация характера, высокий уровень конфликтного потенциала, завышенная самооценка профессиональной компетентности, склонность к искажению значимых фрагментов своей прошлой трудовой деятельности; обнаруженные личностные данные индивидуально сочетались и имели внутреннюю логику этиологии и развития. Отдельные сотрудники а/к обратились за психологической помощью по поводу функциональных обратимых нарушений нервной системы. Первые сеансы психокоррекции вызвали ремиссию фрустрации у этих сотрудников; методики и количество сеансов определялись исходя из ИПО личности БПД, характера и степени психологических нарушений. Курс индивидуальной психокоррекции у обратившихся за психологической помощью содействовал нормализации неспецифических условнорефлекторных реакций организма, регуляции состояния (аппетита, сна, стрессоустойчивости), восстановлению положительной летной и служебной мотивации, реадaptации в трудовом коллективе. Нормальное состояние организма дополнительно подтвердилось контрольными результатами КПО БПД. В системе ПОББ КПО методика «контрольных вопросов» по продолжительности и дискретности психовегетативных, мимических и психомоторных проявлений выявила скрывающиеся значимые фрагменты биографии, устойчивые вредные привычки, участки неискренности относительно своей профессиональной компетентности у отдельных кандидатов на профпригодность. Психологический мониторинг, идентичные экспериментальные данные повторных исследований подтвердили научную объективность системы КПО и обосновали достоверность результатов методик УКБ, ПФА и ПТ. Многоцелевая информация БПД служит контролем в исследовании динамики психологического и психофизиологического состояния персонала в решении задач ПОББ и конфликтологии. Результаты КПО имеют научно-практическое значение в оперативном исследовании ИПО персонала и способствуют укреплению и развитию предпринимательской деятельности. Система дифференцированных интегральных методик прикладного КПО перманентно совершенствуется – заменяется эквивалентными и дополняется новыми, актуальными для деятельности а/к компонентами и методами ПФА с целью многостороннего и глубокого исследования человека как лично-

сти в ее анатомо-физиологическом, интеллектуально-профессиональном и психосоциальном проявлении.

Выводы. 1. Комплексный психологический опрос, по сравнению с одно- или многофакторным психологическим тестированием, является более сбалансированной и более достоверной системой многостороннего психологического и психофизиологического исследования индивидуально-психологических особенностей индивида.

2. Бесконтактная оценка достоверности информации в системе психологического обеспечения безопасности бизнеса с регистрацией неспецифических вегетативных, мимических и психомоторных реакций организма позволяет научно обоснованно верифицировать искренность высказываний кандидата на профпригодность.

3. Комплексный психологический опрос является интегральным триггером психологической и психофизиологической реактивности организма на вербальный раздражитель в кадровой стратегии предпринимательской деятельности.

4. Многостадийное психологическое тестирование на профессиональную деятельность здорового летчика и бортпроводника при комплексном психологическом опросе позволяет выявлять неадекватную летную мотивацию, психологическую несовместимость и патологические эмоциональные реакции на полет.

5. Комплексный психологический опрос позволяет корректно проводить индивидуальный и групповой психологический тренинг и мониторинг персонала летного состава и службы бортпроводников с целью поддержания положительной летной мотивации пилотов и бортпроводников.

6. Континуальность компонентов комплексного психологического опроса позволяет выявлять акцентуации характера, уровень конфликтного потенциала индивида, межличностную психологическую совместимость и выстраивать здоровые межличностные отношения в коллективе при решении задач конфликтологии

ООО авиакомпания «Армавиа» РА

К. А. Панчулазян

Психологическое и психофизиологическое исследование персонала в кадровой стратегии предпринимательской деятельности

Разработана адаптированная к специфике авиакомпании многосторонняя система комплексного психологического опроса для исследования индивидуально-психологических особенностей персонала на профпригодность. Установлено, что комплексный психологический опрос является интегральным триггером психологической и психофизиологической реактивности индивида на вербальный раздражитель в кадровой стратегии предпринимательской деятельности.

Կ. Ա. Պանչուլազյան

**Ձեռնարկչության գործունեության կադրային
ռազմավարությունում անձնակազմի հոգեբանական և
հոգեֆիզիոլոգիական հետազոտումը**

Մշակված է ավիաընկերության սպեցիֆիկային ադապտացված կոմպլեքսային հոգեբանական հարցման բազմակողմանի համակարգ՝ անձնակազմի պրոֆայիտանե-լիության անհատական հոգեբանական առանձնահատկությունների հետազոտման համար: Հայտնաբերվել է, որ կոմպլեքսային հոգեբանական հարցումը անհատի հո-գեբանական և հոգեֆիզիոլոգիական ռեակտիվության ինտեգրալային գործարկիչն է (տրիգերը) բանավոր գրգռիչի վրա ձեռնարկչության գործունեության կադրային ռազ-մավարությունում:

K. A. Panchulazyan

**Psychological and Psychophysiological Investigation of Personal
within Human Resources Strategy for Business Activity**

Specially tailored multilateral system of complex psychological survey within the frame of individual psychological characteristics investigation of personnel capabilities according to airline specifics has been developed. It has been found that the complex psychological survey represents an integral trigger for psychological and psychophy-siological reactivity of the individual to verbal stimulus in HR strategies within business activity.

Литература

1. *Зароченцев К. Д., Худяков А. И.* В кн.: Экспериментальная психология. М. Проспект. 2005. С. 30-33.
2. *Кречмер Э.* В кн.: Психологические методы исследования. 14. 11. 2008 г. С. 19 – 21.
3. *Боголепов Н. К., Темкова И.* В кн.: Актуальные проблемы невропатологии и психиатрии. М. Медицина. 1974. С. 244 – 245.
4. *Журин С. И.* - Мир и безопасность. 2003. N 5. С. 7-9.
5. *Сошников А. П., Пеленицын А. Б.* В: Материалы VII междунар. научно-практич. конференции [полиграфологов]. Краснодар. 2006. С. 133 – 139.
6. *Harwell E. M.* – Polygraph. 2000. V. 29. N 2. P. 195 – 197.
7. *Харрисон Дж., Уайнер Дж., Тэннер Дж., Барникот Н., Рейнолдс В.* В кн.: Биология человека. М. Мир. 1979. С. 444 – 451.
8. *Панчулазян К. А.* - Вестник МАНЭБ. 2005. Т. 10. N 5. С. 175 – 177.
9. *Levi L.* In: Emotional stress. Stockholm, Försvarsmedicin. 1967. 3, 2. P. 296 – 299.
10. *Пиз А.* В кн.: Язык телодвижений. Как читать мысли других людей по их жестам. М. Эксмо. 2003. С. 117 – 121.
11. *Асямов С. В.* – Щит. 2006. N 1. С. 3 – 4.
12. *Журин С. И., Панин О. А.* - Безопасность информационных технологий. 2003. N 2. С.1-2.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.8.52-50

А. С. Чобанян, Т. С. Мартиросян, О. А. Мкртчян

Компьютерные исследования процесса синаптического обучения

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л.Р. Манвеляном 3/II 2012)

Ключевые слова: *синапс, обучение, компьютерная модель, вычислительные эксперименты.*

Изучение клеточных механизмов обучения в нейронных сетях является на сегодняшний день актуальной задачей, поскольку процесс обучения составляет важную часть психической деятельности человека. Благодаря многочисленным нейрофизиологическим исследованиям сформировались определенные представления о клеточных механизмах обучения: в основе обучения лежит явление синаптической пластичности, которая включает кратковременную и долговременную модификации синаптической силы в обучающихся нейронных сетях и павловское учение об условных рефлексах [1-4].

На клеточном уровне вышеизложенное представляется долговременным увеличением синаптической эффективности при комбинированном раздражении постсинаптического нейрона по двум входам, соответствующим условному (УС) и безусловному (БС) сигналам. При многократном раздражении по двум входам имеет место влияние долговременных изменений эффективности синапса по безусловному входу на эффективность синапса по условному входу, что и приводит к обучению синапса по условному входу, т.е. нейрон становится способным аналогичным образом активироваться при стимуляции только условного входа.

Теоретические исследования, в частности, компьютерное моделирование, сыграли большую роль в изучении процесса обучения в нейронных сетях. Результаты численного моделирования процесса обучения создают возможность теоретической интерпретации результатов физиологического эксперимента.

Ранее нами была предложена математическая модель синаптического обучения [5] исходя из основных правил образования условных рефлек-

сов, с учетом долговременной синаптической пластичности и влияния долговременных изменений эффективности синапса по безусловному входу на эффективность синапса по условному входу. В математической модели синаптического обучения для вызова долгодлящейся потенциации по входам УС и БС стимулов использована модель химического синапса, учитывающая кратковременную и долговременную пластичности синапса [6]. Показана способность модели воспроизводить процесс синаптического обучения [7]. В работе [8] в вычислительных экспериментах исследовано влияние пресинаптических параметров модели синапсов по УС и БС входам на эффективность процесса обучения.

Целью настоящей работы является исследование в вычислительных экспериментах влияния постсинаптических параметров модели синапсов на эффективность процесса обучения.

Результаты и обсуждение. Представлены результаты вычислительных экспериментов с моделью синаптического обучения, показывающие характер изменения процесса обучения при изменении пяти постсинаптических параметров модели синапсов по двум входам: длина (длина дендритного дерева), ширина (ширина ствола дендритного дерева), $I(\text{Ca})$ (порог кальциевого тока), τ_F (постоянная времени восстановления), P_F (фактор обратной связи). Параметры модели по двум входам представлены в таблице. Влияние вышеуказанных параметров модели на характер обучения представлено на рис.1. На рис.1, А,В показаны кривые, характеризующие зависимость эффективности синаптического обучения от длины и ширины дендритного дерева. Как видно из рисунка, увеличение параметров приводит к уменьшению удельного сопротивления мембраны нейрона, что приводит к уменьшению величины уровня установившегося состояния долгодлящейся потенциации (LTP) по 2 входам и к уменьшению эффективности обучения. На рис.1, С показана кривая, характеризующая зависимость эффективности синаптического обучения от порогового уровня постсинаптического $[\text{Ca}^{2+}]$. Как видно из рисунка, увеличение порога постсинаптического $[\text{Ca}^{2+}]$ приводит к увеличению уровня установившегося состояния долгодлящейся потенциации по 2 входам, что и приводит к уменьшению эффективности обучения. На рис.1, D,E показаны кривые, характеризующие зависимость эффективности синаптического обучения от влияния обратной связи – τ_F и P_F . Влияние параметра τ_F представлено на рис.1, Е. Как видно из рисунка, при изменении параметра τ_F меняется характер обучения, поскольку при изменении τ_F меняется количество медиатора, возвращаемое из готового пула R пресинаптической части синапса в запасной пул S, на интервалах между поступлениями пресинаптических импульсов. При увеличении τ_F меньшее количество медиатора возвращается в запасной пул, что и приводит к увеличению установившегося уровня LTP и к увеличению эффективности обучения. Влияние P_F представлено на рис 1, D.

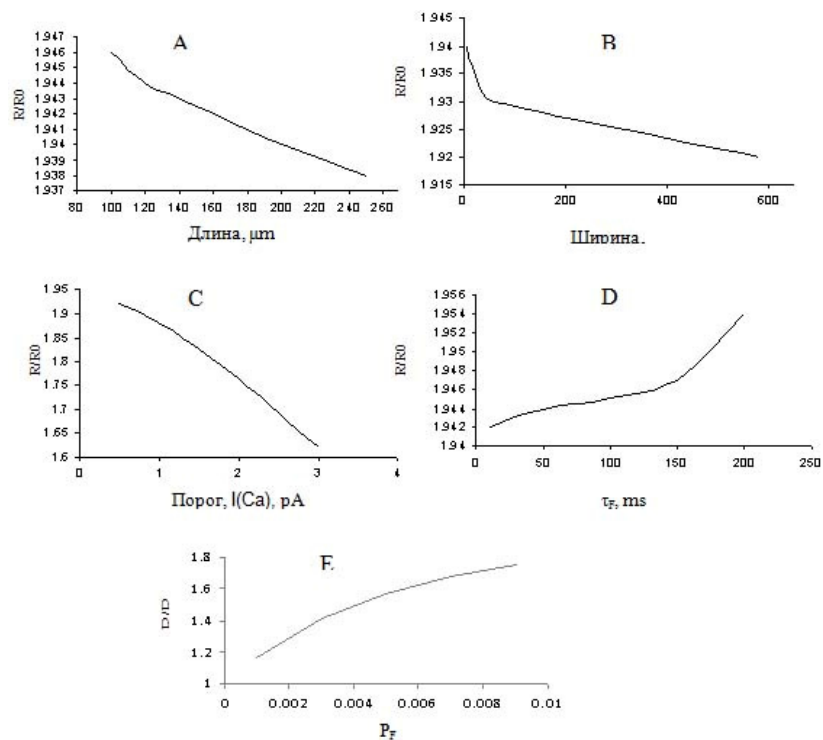


Рис. 1. Результаты вычислительных экспериментов по определению зависимости эффективности синаптического обучения от длины, ширины, порога $I(Ca)$, τ_F , P_F .

Варьируемые параметры	Постоянные параметры	Значения постоянных параметров	Расчетные кривые обучения
Длина	Ширина, $I(Ca)$, τ_F , P_F	5.78 μm , 1.2 pA, 100 ms, 0.005	Рис.1,А
Ширина	Длина, $I(Ca)$, τ_F , P_F	120 μm , 1.2 pA, 100 ms, 0.005	Рис.1,В
$I(Ca)$	Длина, ширина, τ_F , P_F	120 μm , 5.78 μm , 100 ms, 0.005	Рис.1,С
τ_F	Длина, ширина, $I(Ca)$, P_F	120 μm , 5.78 μm , 1.2 pA, 0.005	Рис.1,Д
P_F	Длина, ширина, $I(Ca)$, τ_F	120 μm , 5.78 μm , 1.2 pA, 100 ms	Рис.1,Е

Параметр P_F приводит к модификации R пула. Модификация R пула имеет место в моменты появления пресинаптических импульсов. Количество медиатора, передаваемое с помощью механизма обратной связи из запасного пула S в R пул, зависит от величины P_F . Чем больше P_F , тем больше величина модификации пресинаптического R пула, что и приводит к увеличению уровня установившегося состояния LTP и к увеличению эффективности обучения.

Итак, согласно полученным нами результатам вычислительных экспериментов, при изменении постсинаптических параметров модели синапсов по двум входам происходит изменение эффективности обучения. При увеличении отдельных параметров – ширины, длины и $I(Ca)$ происходит уменьшение эффективности обучения, а при увеличении τ_F и P_F – ее увеличение. Следовательно, варьированием постсинаптических параметров можно менять характер обучения и достигнуть необходимой характеристики обучения.

Таким образом, предложенная модель синаптического обучения может рассматриваться как элемент обучающейся нейронной сети и быть применена для исследования и анализа нейронных сетей различных структур мозга, вовлеченных в процесс обучения.

Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА

А. С. Чобанян, Т. С. Мартиросян, О. А. Мкртчян

Компьютерные исследования процесса синаптического обучения

Приведены результаты вычислительных экспериментов с использованием модели синаптического обучения, представляющие влияние различных постсинаптических параметров на процесс обучения.

Ա. Ս. Չոբանյան, Տ. Ս. Մարտիրոսյան, Օ. Օ. Մկրտչյան

Մինապտիկ ուսուցման պրոցեսի համակարգչային հետազոտություն

Օգտագործելով մինապտիկ ուսուցման մեթոդը՝ ներկայացված են հաշվարկման փորձերի արդյունքները, որոնք արտացոլում են տարբեր հետսինապտիկ պարամետրերի ազդեցությունը ուսուցման վրա:

A. S. Chobanyan, T. C. Martirosyan, H. H. Mkrtchyan

Computational Investigations of Synaptic Learning Process

The results of computational experiments which have been held using the synaptic learning model, are presented. The results demonstrate the influence of different parameters of model upon the process of learning.

Литература

1. *Kim J.J., Jung M.W.* - Neurosci Biobehav Rev. 2006. V. 30. P. 188-202.
2. *Sigurdsson T., Doyere V., Cain C.K., LeDoux J.E.* – Neuropharmacology. 2007. V. 52. P. 215-227.
3. *Di Filippo M., Picconi B., Tantucci M. et al.* - Behav Brain Res. 2009. V.199. P. 108-118.
4. *Minichiello L.* - Nat Rev Neurosci., 2009. V. 10. P. 850-860.
5. Чобанян А.С., Мартиросян Т.С., Мкртчян О.А. - Биолог. журн. Армении, 2007. Т. 3-4. N 59. С. 220-225.
6. *Sargsyan A.R., Melkonyan A.A., Papatheodoropoulos C., Mkrtchian H.H., Kostopoulou G.K.* - Neural Networks. 2003. V 16. N 8. P. 1161-1177.
7. Чобанян А.С., Мартиросян Т.С., Мкртчян О.А. – МАНЭБ. 2008. Т. 13. С. 146-148.
8. Чобанян А.С., Мартиросян Т.С., Мкртчян О.А. - ДНАН РА. 2011. Т. 111. N 1. С. 88-92.