

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

---

ISSN 0321-1339

**Չ Ե Կ Ո Ւ Յ Յ Ն Ե Ր**  
**Д О К Л А Д Ы**  
**R E P O R T S**

2004

---

Երևան

Երևան

Yerevan

*Նիւնադրուել է 1944 թ.: Լույս է տեսնում քառքին 4 անգամ*

*Основан в 1944 г. Выходит 4 раза в год*

*Founded in 1944. Published quarterly*

**Գլխավոր խմբագիր՝** ակադեմիկոս Ս. Ա. ՆԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ

**Խմբագրական խորհուրդ՝** Գ.Ա. ԱՐԶՈՒՄԱՆՅԱՆ (պար. քարտուղար), ակադեմիկոս Է.Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ.Ե. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ.Ա. ԲՐՈՒՏՅԱՆ, ակադեմիկոս Է.Ս. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ.Վ. ԴՈՎԼԱԹՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Ա.Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Կ.Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու.Ն. ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Ֆ.Տ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ.Մ. ՍԵԴՐԱԿՅԱՆ:

**Главный редактор академик С. А. АМБАРЦУМЯН**

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

**Editor-in-chief academician S. A. AMBARTSUMIAN**

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

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

*Ֆոն. 56-80-67*

*Խմբագրության վարիչ՝ Գ. Ա. Աբրահամյան*

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

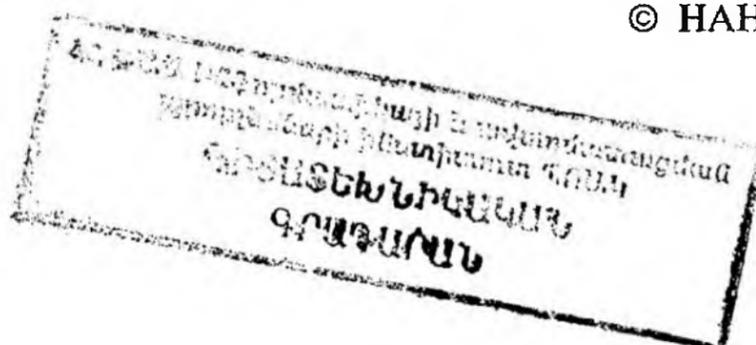
*Тел. 56-80-67*

*Зав. редакцией Г. А. Абрамян*

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

*Phone-(3741) 56-80-67*

© НАН РА. Президиум. 2004



## ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

### ՍԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿ

*Ս. Վ. Մալոյան* – Բազմաթյունների ածանցաբանության և լրացված ածանցաբանության հայտանկյուննրը *Նոյց՝ Ն* ստարածություններում..... 5

*Ս. Ա. Նիգոյան, Լ. Օ. Խոչոյան, Վ. Ռ. Հակոբյան* – Տրամաբանական ծրագրավորման համակարգերի սպոլիմիզացիա նրանց ծրագրերի ձևափոխման միջոցով..... 12

*Ս. Լ. Համբարյան, Վ. Ս. Համբարյան* – Հնարավորում հետազոտման ժամանակ հիանդիպման կետերի բազմության մասին..... 18

### ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱԿ

*Վ. և Լ. Խոնիև, Վ. Լ. Մուխոբյան* – Ողղիտիկ կապի գծերի վերաբերյալ..... 23

### ՍՏԻԱՆԻԿԱԿ

*Ա. Գ. Բազդոն, Յու. Ս. Սաֆարյան* – Նրկնիտ առաձգական անկյունների բախման հարթ խնդիրը..... 29

*Ս. Ա. Մեղումյան, Վ. Ս. Տնույան* – Ուղղահայաց վերջավելի կտրվածքով օդուղայակ էլիտհարթության համար քերտաստոսդոսիտության կոստակտայիս խնդիր..... 35

### ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՏՆՈՒԹՅՈՒՆ

*Հ. Գ. Շեկյան, Զ. Ա. Բեյրյան* – Մյնչև 100 կՎտ հզորության սինխրոն գնեկաստրների աշխատանքի ընդող ժամանակահատվածների հայտաձուձր..... 43

### ՖԻԶԻԿԱԿ

*Ռ. Ա. Սրանոսյան* – Տրիպետ Հիզգսի բոզոնների գույգերի ծնունդ այ նկարիմոյի սպտիումներում..... 47

### ՎԻՈՒՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

*Զ. Ա. Կարսլյան* – Ուձ-2 բշիջների էդոլոցիան օդալ պոլիովակցիմայի բրոնիկ ինհեկցիայի ազդեցության նիքր..... 53

### ԲՈՒՅՍԵՐԻ ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

*Վ. Ա. Կազարյան, Վ. Ա. Կավրյան, Լ. Ն. Հովհաննիսյան* – Հայաստանի տայգերի եղակելմայական պայմաններում պտղատուների վայրի ցեղակիցների ֆատոսինրեցի և ջրային ռեձյմի մասին..... 61

### ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱԿ

*Զ. Ա. Հարությունյան, Ա. Վ. Ռոկոսյան, Ս. Ա. Հարությունյան, Ս. Վ. Մնտոսյան* – Հեպարինի ազդեցությունը ջերմաստիճանային եռմեստապլի վրա և ալյաստբանական գործընրացների գարգացումը օրեանիզմում գյուրգայի թույնի ազդեցության ներքո..... 66

*Վ. Բ. Ֆանարջյան, Ե. Վ. Պապոյան, Բ. Գ. Սարգսյան, Է. Ա. Հովհաննիսյան* – Գորտի վեստիբուլյար նորիզների համայրի ֆոկալ պոսնեցիալնելի ծագման մասին..... 73

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

*С. В. Мадоян* – Критерии ограниченности и полной ограниченности множеств в пространствах  $N \log^{\alpha} N$ ..... 5

*С. А. Ингиан, Э. О. Хачоян, Н. Р. Ахоян* – Оптимизация систем логического программирования посредством преобразований их программ..... 12

*С. Т. Амбарян, В. С. Амбарян* – Об одном множестве точек  $I$ -встречи при преследовании с задержкой..... 18

### ИНФОРМАТИКА

*В. К. Лектиев, Г. Л. Мовсисян* – Об аддитивном канале связи..... 23

### МЕХАНИКА

*А. Г. Багдоев, Ю. С. Сафарян* – Плоская задача соударения упругих двугранных углов..... 29

*С. А. Мизкумян, В. С. Толоян* – Контактная задача термоупругости для ортотропной полуплоскости с вертикальным кольцевым разрезом..... 35

### ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ

*Г. Г. Шахян, Э. А. Бедзун* – Выявление характерных периодов работы синхронных генераторов мощностью до 100 кВт..... 43

### ФИЗИКА

*Р. А. Алабян* – Рождение пар триплетных хиггсовских бозонов в распадах правого нейтрино..... 47

### ВИРУСОЛОГИЯ

*Э. А. Караян* – Эволюция клеток Нёр-2 под действием хронической инфекции оральной полновакцины..... 53

### ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

*В. В. Казарян, В. А. Давтян, Л. Н. Оганесян* – О фотосинтезе и водном режиме диких сородичей плодовых в различных почвенно-климатических условиях Армении..... 61

### ФИЗИОЛОГИЯ

*К. Р. Арутюнян, А. В. Восканян, Р. А. Арутюнян, М. В. Аятоян* – Влияние генарина на температурный гомеостаз и развитие патологических процессов в организме при действии яда гурзы..... 66

*В. В. Фанарджян, Е. В. Напоян, Н. Г. Саркисян, Э. А. Оганесян* – О генезе фиксированных потенциалов вестибулярного ядерного комплекса лягушки..... 73

## CONTENTS

### MATHEMATICS

- S. V. Madoyan* – Criteria of boundedness and complete boundedness of sets in the spaces  $N \log^a N$ ..... 5
- S. A. Nigizyan, L. O. Khachoyan, V. R. Hakobyan* – Optimization of logical programming systems by means of transformations of their programs..... 12
- S. L. Hambaryan, V. S. Hambaryan* – About  $I$ -meeting set points, with delayed pursuit..... 18

### INFORMATICS THEORY

- V. K. Leontiev, G. L. Movsisyan* – On additive channel..... 23

### MECHANICS

- A. G. Bagdoyev, Yu. S. Safaryan* – Plane problem of impact of elastic two-sided angles..... 29
- S. A. Melkumyan, V. S. Tenoyan* – Contact problem of thermoelasticity for orthotropic halfplane with vertical final cut..... 35

### THEORY OF RELIABILITY

- H. G. Shekryan, Z. H. Belluyan* – Revealing the characteristic periods of work of synchron generators with the power to 100 kWt..... 43

### PHYSICS

- R. A. Alanakyan* – Triplet Higgs bosons pairs production in decays of right-handed neutrino..... 47

### VIROLOGY

- Z. A. Karalyan* – Evolution of HEp-2 cells under the influence of a chronic infection of Oral Polio Vaccine..... 53

### PLANT PHYSIOLOGY

- V. V. Kazaryan, V. A. Davtyan, L. N. Oganessyan* – About photosynthesis and water regime of wild kindred of foetus in different soil-climatic conditions of Armenia..... 61

### PHYSIOLOGY

- O. R. Haroutunyan, A. V. Voskanyan, R. A. Haroutunyan, M. V. Antonyan* – Heparin influence on temperature homeostasis and development of pathological processes in organism under gyurza venom action conditions..... 66
- V. V. Fanardjian, E. V. Papoyan, I. G. Sarkissian, E. A. Oganessian* – About genesis focal potentials vestibular nuclear complex of the frog..... 73

С.В. Мадоян

## Критерии ограниченности и полной ограниченности множеств в пространствах $N \log^\alpha N$

(Представлено академиком В.С.Закаряном 16/VI 2003)

**1. Введение.** Пусть  $n \in \mathbb{N}$  и  $C^n = \{z = (z_1, \dots, z_n) : z_k \in \mathbb{C}; 1 \leq k \leq n\}$ . Символом  $G$  обозначим как шар  $B_n = \{z \in C^n : |z_1|^2 + \dots + |z_n|^2 < 1\}$ , так и полидиск  $U^n = \{z \in C^n : |z_1| < 1, \dots, |z_n| < 1\}$ , символом  $\Gamma$  - границу Шилова области  $G$ , т.е.  $\Gamma$  есть  $S_n = \{z \in C^n : |z_1|^2 + \dots + |z_n|^2 = 1\}$  в случае  $G = B_n$  и  $T^n = \{z \in C^n : |z_1| = 1, \dots, |z_n| = 1\}$  в случае  $G = U^n$ . На множестве  $\Gamma$  существует вероятностная мера  $\sigma$ , совпадающая с нормированной мерой Лебега на сфере  $S_n$  в случае  $G = B_n$  и равная прямому произведению нормированных мер Лебега на единичных окружностях, составляющих тор  $T^n$ , в случае  $G = U^n$ .

В [1] для произвольного фиксированного числа  $\alpha \geq 1$  и функции  $\varphi_\alpha(t) = t \cdot \log^\alpha(e^\alpha + t)$ ,  $t \geq 0$  голоморфная в области  $G$  функция  $f(z)$  отнесена к классу  $N \log^\alpha N$ , если

$$|f|_\alpha = \sup_{0 \leq r < 1} \int_{\Gamma} \varphi_\alpha \left( \log(1 + |f(r\gamma)|) \right) \sigma(d\gamma) < +\infty, \quad (1)$$

и установлено, что  $N \log^\alpha N$  при каждом  $\alpha \geq 1$  образуют  $(F)$ -пространства относительно метрики  $\rho_\alpha$ ,

$$\rho_\alpha(f, g) = |f - g|_\alpha, \quad f, g \in N \log^\alpha N \quad (2)$$

и поэтому являются линейно-топологическими пространствами в топологии, порожденной метрикой  $\rho_\alpha$  (см., например, [2] гл. II, § 1, теорема 12). Отметим, что частный случай  $\alpha = 1$  изучался ранее в [3].

В настоящей статье устанавливаются полные характеристики ограниченных и вполне ограниченных множеств в пространствах  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ . Близкие исследования в одномерном случае  $n = 1$  проведены для пространства Смирнова  $N^*$  в [4], а для пространства  $M$  - в [5].

В доказательствах результатов этой статьи потребуются следующие свойства функции  $\varphi_\alpha(t)$  и метрики  $\rho_\alpha$ , установленные в [1]:

1) для произвольного  $\alpha \geq 1$  и любой функции  $f \in N \log^\alpha N$  справедливо соотношение

$$|f|_a = \int_{\Gamma} \varphi_{\alpha} \left( \log(1 + |f^*(\gamma)|) \right) \sigma(d\gamma), \quad (3)$$

где  $f^*$  обозначает функцию радиальных граничных пределов  $f$ ,

$$f^*(\gamma) = \lim_{r \rightarrow 1} f(r\gamma); \quad \gamma \in \Gamma;$$

2) для любого  $\lambda \in \mathbb{C}$  и произвольной функции  $f(z)$  из класса  $N \log^{\alpha} N$ ,  $\alpha \geq 1$ , справедливы неравенства

$$\min(|\lambda|, 1) |f|_{\alpha} \leq |\lambda f|_{\alpha} \leq \max(|\lambda|, 1) |f|_{\alpha}; \quad (4)$$

3) неравенство

$$\varphi_{\alpha}(\log(1 + xy)) \leq 2^{\alpha+1} \varphi_{\alpha}(\log(1 + x)) + 2^{\alpha+1} \varphi_{\alpha}(\log(1 + y)) \quad (5)$$

справедливо для всех  $x \geq 0$  и  $y \geq 0$  (и  $\alpha \geq 1$ ).

**2. Ограниченные множества в пространствах  $N \log^{\alpha} N$ ,  $\alpha \geq 1$ .** По определению подмножество  $E$  линейно-топологического пространства  $T$  называют ограниченным, если для любой окрестности  $V$  нуля пространства  $T$  существует такое число  $\lambda_0 > 0$  (зависящее от  $V$ , т.е.  $\lambda_0 = \lambda_0(V)$ ), что множество  $\lambda E = \{\lambda x; x \in E\}$  содержится в  $V$  для всех  $\lambda \in \mathbb{C}$ ,  $|\lambda| < \lambda_0$  (см., например, [6], гл. III, § 5, п.1).

**Теорема 1.** *Множество  $A$  в  $(F)$ -пространстве  $N \log^{\alpha} N$ ,  $\alpha \geq 1$ , ограничено тогда и только тогда, когда*

а)  $A$  ограничено по метрике  $\rho_{\alpha}$ , т.е. существует такая конечная постоянная  $K \geq 0$ , что  $|f|_{\alpha} \leq K$  для всех  $f \in A$ , и

б) семейство функций  $\{\varphi_{\alpha}(\log(1 + |f^*(\gamma)|)); \gamma \in \Gamma\}_{f \in A}$  имеет равномерно абсолютно непрерывные интегралы, т.е. для любого числа  $\varepsilon > 0$  существует такое число  $\delta > 0$ ,  $\delta = \delta(\varepsilon)$ , что

$$\int_Y \varphi_{\alpha} \left( \log(1 + |f^*(\gamma)|) \right) \sigma(d\gamma) < \varepsilon$$

для всех измеримых множеств  $Y$  на  $\Gamma$  с мерой  $\sigma Y < \delta$  и всех функций  $f$  из множества  $A$ .

**Доказательство.** Необходимость. Пусть множество  $A$  ограничено в линейно-топологическом пространстве  $N \log^{\alpha} N$ ,  $\alpha \geq 1$ .

Чтобы доказать выполнение условия а) теоремы, рассмотрим в качестве окрестности нуля в определении ограниченности открытый шар  $V = \{f \in N \log^{\alpha} N; |f|_{\alpha} < 1\}$  единичного радиуса с центром в нуле. В силу ограниченности множества  $A$  для этой окрестности найдется такое положительное число  $\lambda_0$ , что для всех  $\lambda \in \mathbb{C}$ ,  $|\lambda| \leq \lambda_0$  справедливо вложение

$\lambda A \subset V$ , т.е.  $|\lambda f|_\alpha < 1$  для всех  $f \in A$ . Воспользовавшись неравенствами (4) при  $\lambda = \lambda_0 > 0$ , имеем  $\min(1, \lambda_0)|f|_\alpha \leq |\lambda_0 f|_\alpha < 1$  для всех  $f \in A$ , откуда  $|f|_\alpha < \max(1, \lambda_0^{-1}) = K$  для всех  $f \in A$ .

Для проверки справедливости условия б) теоремы рассмотрим в качестве окрестностей нуля в пространстве  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ , открытые шары  $V_\varepsilon = \{f \in N \log^\alpha N; |f|_\alpha < \varepsilon/2^{\alpha+2}\}$  радиуса  $\varepsilon/2^{\alpha+2}$  с центром в нуле, где число  $\varepsilon > 0$  произвольное. В силу ограниченности множества  $A$  существует такое число  $\lambda_0 > 0$  (зависящее от  $\varepsilon$ ,  $\lambda_0 = \lambda_0(\varepsilon)$ ), что для всех  $\lambda \in \mathbb{C}$ ,  $|\lambda| \leq \lambda_0$  выполнено вложение  $\lambda A \subset V_\varepsilon$ , т.е.  $|\lambda f|_\alpha < \varepsilon/2^{\alpha+2}$  для всех  $f \in A$ . Рассмотрим произвольное измеримое множество  $Y$  на  $\Gamma$ . Воспользовавшись указанным выше неравенством (5) и формулой (3), получим оценки

$$\begin{aligned} \int_Y \varphi_\alpha(\log(1 + |f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) &\leq 2^{\alpha+1} \int_Y \varphi_\alpha(\log(1 + 1/\lambda_0)) \sigma(d\gamma) + \\ &+ 2^{\alpha+1} \int_Y \varphi_\alpha(\log(1 + |\lambda_0 f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) \leq \varphi_\alpha(\log(1 + 1/\lambda_0)) \sigma Y + 2^{\alpha+1} |\lambda_0| |f|_\alpha < \\ &< 2^{\alpha+1} \varphi_\alpha(1 + 1/\lambda_0) \sigma Y + \frac{\varepsilon}{2}, \end{aligned}$$

справедливые для всех  $f \in A$ . Поэтому, если мера

$$\sigma Y < \delta = \frac{\varepsilon}{2^{\alpha+2} \varphi_\alpha(\log(1 + 1/\lambda_0))},$$

то  $\int_Y \varphi_\alpha(\log(1 + |f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) < [(\varepsilon)/2] + [(\varepsilon)/2] = \varepsilon$  для всех  $f \in A$ , т.е. выполнено условие б) теоремы.

*Достаточность.* Пусть теперь для множества  $A$  (F)-пространства  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ , выполнены условия а) и б) теоремы. Так как любая окружность  $V$  нуля метрического пространства  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ , содержит некоторый открытый шар  $V_0$  положительного радиуса  $\varepsilon_0 > 0$  с центром в нуле, т.е.  $V \supset V_0 = \{f \in N \log^\alpha N; |f|_\alpha < \varepsilon_0\}$ , то достаточно проверить определение ограниченности множества  $A$  для окружности  $V_0$  нуля в  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ .

Согласно условию б) теоремы для  $\varepsilon_0 > 0$  существует такое  $\delta_0 > 0$ , что

$$\int_Y \varphi_\alpha(\log(1 + |f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) < \frac{\varepsilon}{2} \tag{6}$$

для любого измеримого на  $\Gamma$  множества  $Y$  с мерой  $\sigma Y < \delta_0$  и произвольной функции  $f \in A$ . Согласно условию а) теоремы существует такая конечная постоянная  $K \geq 0$ , что  $|f|_\alpha \leq K$  для всех  $f \in A$ , так что, по неравенству Чебышева, для множеств  $Y_\nu(f) = \{\gamma \in \Gamma; |f^*(\gamma)| \geq \nu\}$ ,  $\nu \in \mathbb{N}$ ,  $f \in A$ , справедлива оценка

$$\sigma Y_\nu(f) \leq \frac{1}{\varphi_\alpha(\log(1 + \nu))} \int_\Gamma \varphi_\alpha(\log(1 + |f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) \leq \frac{K}{\varphi_\alpha(\log(1 + \nu))},$$

в которой использована также формула (3). Следовательно, найдется такое натуральное число  $\nu_0$ , что все множества  $Y_{\nu_0}(f)$ ,  $f \in A$ , имеют меру меньшую  $\delta_0$ , и поэтому в неравенстве (6) можно положить  $Y = Y_{\nu_0}(f)$ . Тогда для произвольного  $\lambda \in \mathbb{C}$ ,  $|\lambda| \leq 1$  и любой функции  $f \in A$  получим

$$\begin{aligned} |\lambda f|_\alpha &= \int_\Gamma \varphi_\alpha(\log(1 + |\lambda f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) \leq \int_{Y_{\nu_0}(f)} \varphi_\alpha(\log(1 + |f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) + \\ &+ \int_{\Gamma \setminus Y_{\nu_0}(f)} \varphi_\alpha(\log(1 + |\lambda| |f^*(\gamma)|)) \sigma(d\gamma) < \frac{\varepsilon_0}{2} + \varphi_\alpha(\log(1 + |\lambda| \nu_0)). \end{aligned}$$

Выбирая  $\lambda_0 = \lambda_0(\varepsilon_0) > 0$  таким образом, чтобы были выполнены неравенства  $\lambda_0 \leq 1$  и  $\varphi_\alpha(\log(1 + \lambda_0 \nu_0)) \leq \varepsilon_0/2$ , заключаем, что для любой функции  $f \in A$  и любого  $\lambda \in \mathbb{C}$ ,  $|\lambda| \leq \lambda_0$ , выполнено неравенство  $|\lambda f|_\alpha < [(\varepsilon_0)/2] + [(\varepsilon_0)/2] = \varepsilon_0$ , т.е.  $\lambda A \subset V_0 \subset V$  и множество  $A$  ограничено в линейно-топологическом пространстве  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \leq 1$ .

Укажем стандартный пример ограниченного множества в  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \leq 1$ . Рассмотрим произвольную функцию  $f \in N \log^\alpha N$  и функцию  $f_r$ ,  $0 \leq r < 1$ , определяемые формулой  $f_r(z) = f(rz)$ ,  $z \in G$ . Тогда множество  $\{f_r\}_{0 \leq r < 1}$  ограничено в  $N \log^\alpha N$ , поскольку условие а) теоремы 1 выполнено в силу принадлежности функции  $f$  классу  $N \log^\alpha N$  (см. формулу (1)), а условие б) есть не что иное, как пункт б) утверждения 1 статьи [1].

**3. Вполне ограниченные множества в пространствах  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ .** Понятие полной ограниченности множества можно трактовать разными способами (см. [2-7]). Однако в полных метрических пространствах (а пространство  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \leq 1$ , таковым в метрике  $\rho_\alpha$  является на основании результатов статьи [1]) свойство полной ограниченности множества равносильно свойству его относительной компактности, т.е. тому, что из любой

последовательности элементов множества можно выделить сходящуюся подпоследовательность (см. например [6], гл. II, §7, теорема 3).

**Теорема 2.** Множество  $B \subset N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ , вполне ограничено в пространстве  $N \log^\alpha N$  тогда и только тогда, когда

а)  $B$  ограничено в  $N \log^\alpha N$  (как в линейно-топологическом пространстве), и

б) семейство функции  $\{f^*(\gamma); \gamma \in \Gamma\}_{f \in B}$  относительно компактно в топологии сходимости по мере  $\sigma$  на  $\Gamma$ .

**Доказательство. Необходимость.** Пусть множество  $B$  вполне ограничено в линейно-топологическом пространстве  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ . Поскольку утверждение об ограниченности вполне ограниченных множеств является общим результатом теории линейно-топологических пространств (см. например [8], гл. 2, § 7, п. 5), то условие а) теоремы выполнено.

Для проверки выполнения условия б) теоремы рассмотрим произвольную последовательность  $(g_\nu)$  функции семейства  $\{f^*(\gamma); \gamma \in \Gamma\}_{f \in B}$ . Тогда, по определению этого

семейства, существует такая последовательность функций  $(f_\nu)$  в множестве  $B$ , что  $f_\nu^* = g_\nu$  почти всюду на  $\Gamma$  для каждого  $\nu \in \mathbb{N}$ . Вполне ограниченное множество  $B$  относительно компактно в  $N \log^\alpha N$ , и, следовательно, из последовательности  $(f_\nu)$  можно выделить подпоследовательность  $(f_{\nu_k})$ ,  $\nu_{k+1} > \nu_k$ ,  $k \in \mathbb{N}$ , сходящуюся к некоторой функции  $f \in N \log^\alpha N$  по метрике  $\rho_\alpha$ . Согласно неравенству Чебышева и формуле для  $|f|_\alpha$  в свойстве 1)

$$\sigma\{\gamma \in \Gamma; |f_{\nu_k}^*(\gamma) - f_{\nu_l}^*(\gamma)| \geq \varepsilon\} \leq \frac{|f_{\nu_k} - f_{\nu_l}|}{\varphi_\alpha(\log(1 + \varepsilon))} \rightarrow 0 \text{ при } k, l \rightarrow \infty$$

при каждом фиксированном  $\varepsilon > 0$ , т.е. подпоследовательность  $(g_{\nu_k}) = (f_{\nu_k}^*)$  фундаментальна по мере  $\sigma$ . Таким образом, из любой последовательности функций семейства  $\{f^*(\gamma); \gamma \in \Gamma\}_{f \in B}$  можно выделить фундаментальную по мере  $\sigma$  подпоследовательность, и, так как метрика сходимости по мере  $\sigma$  полна, то семейство  $\{f^*(\gamma); \gamma \in \Gamma\}_{f \in B}$  относительно компактно и свойство б) установлено.

**Достаточность.** Пусть множество  $B$  пространства  $N \log^\alpha N$  удовлетворяет условиям а) и б) теоремы; рассмотрим произвольную последовательность  $(f_\nu)$  функции  $f_\nu \in B$ ,  $\nu \in \mathbb{N}$ . Так как измеримые на  $\Gamma$  функции  $f_\nu$ ,  $\nu \in \mathbb{N}$ , содержатся в семействе  $\{f^*(\gamma); \gamma \in \Gamma\}_{f \in B}$ , то согласно условию б) существует подпоследовательность  $f_{\nu_k}^*$ , сходящаяся по мере  $\sigma$  к некоторой измеримой на  $\Gamma$  функции  $g$ . По теореме Ф. Рисса, в  $(f_{\nu_k}^*)$  существует подпоследовательность  $(f_{\nu_{kl}}^*)$ , сходящаяся к  $g$  почти всюду на  $\Gamma$ . Обозначим  $f_{\nu_{kl}}^* = f_m^*$ ,  $l \in \mathbb{N}$ ;  $m \in \mathbb{N}$ . Согласно

условию а) доказываемой теоремы и условию а) теоремы 1 существует такая конечная постоянная  $K \geq 0$ , что

$$\int_{\Gamma} \varphi_{\alpha}(\log(1 + |f_m^*(\gamma)|))\sigma(d\gamma) \leq K$$

для всех  $m \in \mathbb{N}$ , переходя к пределу при  $m \rightarrow +\infty$ , с учетом леммы Фату - Лебега получим

$$\int_{\Gamma} \varphi_{\alpha}(\log(1 + |g(\gamma)|))\sigma(d\gamma) \leq K,$$

т.е. функция  $\varphi_{\alpha}(\log(1+|g|))$  интегрируема по  $\sigma$  на  $\Gamma$ . В силу условия б) теоремы 1 последовательность  $\{\varphi_{\alpha}(\log(1+|f_m^*|))\}$  имеет равномерно абсолютно непрерывные интегралы, что вместе с уже доказанным свойством интегрируемости функции  $\varphi_{\alpha}(\log(1+|g|))$  влечет равномерную абсолютную непрерывность интегралов последовательности  $\{\varphi_{\alpha}(\log(1+|f_m^* - g|))\}$ , поскольку согласно элементарному неравенству

$$\varphi_{\alpha}(\log(1 + |x - y|)) \leq \varphi_{\alpha}(\log(1 + |x|)) + \varphi_{\alpha}(\log(1 + |y|)) \quad (7)$$

(см.[1]) выполнено

$$\varphi_{\alpha}(\log(1 + |f_m^* - g|)) \leq \varphi_{\alpha}(\log(1 + |f_m^*|)) + \varphi_{\alpha}(\log(1 + |g|)).$$

Поэтому для последовательности  $\{\varphi_{\alpha}(\log(1 + |f_m^* - g|))\}$  выполнены все условия общей предельной теоремы (см. [6], с. 28), на основании которой заключаем, что

$$\int_{\Gamma} \varphi_{\alpha}(\log(1 + |f_m^*(\gamma) - g(\gamma)|))\sigma(d\gamma) \rightarrow 0 \text{ при } m \rightarrow +\infty,$$

и, применяя неравенство (7), получим, что

$$|f_m - f_p|_{\alpha} = \int_{\Gamma} \varphi_{\alpha}(\log(1 + |f_m^*(\gamma) - f_p^*|))\sigma(d\gamma) \rightarrow 0$$

при  $m, p \rightarrow +\infty$ , т.е. что подпоследовательность  $(f_m) = (f_{V_{kl}})$  фундаментальна. Итак, любая последовательность функций множества  $B$  содержит фундаментальную подпоследовательность и множество  $B$  вполне ограничено в пространстве  $N \log^{\alpha} N$ ,  $\alpha \geq 1$ .

Рассмотренное в предыдущем пункте ограниченное в пространстве  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ , множество  $\{f_r\}_{0 \leq r < 1}$ , порожденное произвольной функцией  $f \in N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ , по формуле  $f_r(z) = f(rz)$ ,  $z \in G$ ,  $0 \leq r < 1$ , предоставляет также пример вполне ограниченного множества в  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ . Действительно, справедливость условия а) теоремы 2 для множества  $\{f_r\}_{0 \leq r < 1}$  доказана в предыдущем пункте. Чтобы проверить выполнение условия б) теоремы 2, рассмотрим произвольную последовательность  $\{f_{r_k}^*\}$ ,  $0 \leq r_k < 1$ ,  $k \in \mathbb{N}$  и заметим, что  $f_{r_k}^*(\gamma) = f(r_k \gamma)$ ,  $\gamma \in \Gamma$ ,  $k \in \mathbb{N}$ . Если последовательность  $r_k$  имеет предельную точку внутри промежутка  $[0,1)$ , скажем  $r_0$ ,  $0 \leq r_0 < 1$ , то в силу равномерной непрерывности функции  $f$  на компактах внутри  $G$  последовательность  $(f_{r_k})$  сходится на  $\Gamma$  к функции  $f_{r_0}$  равномерно, и следовательно, и по мере  $\sigma$ . Если же  $r_k \rightarrow 1$  при  $k \rightarrow \infty$ , то  $(f_{r_k})$  сходится к  $f^*$  почти всюду на  $\Gamma$ , а значит, и по мере  $\sigma$ . Таким образом, в обоих случаях множество  $\{f_r\}_{0 \leq r < 1}$  удовлетворяет условию б) теоремы 2 и поэтому вполне ограничено в  $N \log^\alpha N$ ,  $\alpha \geq 1$ .

Государственный инженерный университет Армении

### Литература

1. Մադրիան Ա.Վ. - Մաթեմատիկան բարձրագույն դպրոցում, 2003, N4, էջ 21-28.
2. Dunford N., Schwartz J. T. Linear Operators. Part I. General Theory. Interscience Publishers. New York. 1958. (Рус. пер. Н. Данфорд, Дж. Шварц. Линейные операторы. Общая теория. М. ИЛ. 1962. 896 с.)
3. Гаврилов В.И., Субботин А.В. - Матер. конф.: Вопр. функц. анализа и мат. физики. Баку. Чашыоглу. 1999. С. 240-251.
4. Yanagahara N. - Sci. Papers College Gen. Ed. Univ. Tokyo. 1973. V. 23.
5. Hong Oh Kim. - Can. J. Math. 1988. V. 40. N 3. P. 718-741.
6. Колмогоров А.Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М. Наука. 1981. С. 544.
7. Meyer P.A. Probability and potentials. Blaisdell publishing company. English translated. Waltham. Massachusetts-Toronto-London. 1965. (Рус. пер. П.А. Мейер. Вероятность и потенциалы. М. Мир. 1973. 328 с.).
8. Kelley J.L., Namioka I. et al Linear Topological spaces. D. Van Nostrand Company. Inc. Princeton. New Jersey-Toronto-New York-London. 1963.

**Ս.Վ. Մաթոյան**

**Բազմությունների սահմանափակության և լիովին սահմանափակության  
հայտանիշները  $N \log^\alpha N$  տարածություններում**

Հոդվածում ապացուցվում են  $N \log^\alpha N$  տարածություններին պատկանող ֆունկցիաների բազմության սահմանափակության և լիովին սահմանափակության անհրաժեշտ և բավարար պայմանները:

УДК 519.68:510

С. А. Нигиян, Л. О. Хачоян, В. Р. Акопян

### Оптимизация систем логического программирования посредством преобразований их программ

(Представлено академиком Н.У. Аракелян 14/X 2003)

В работе дано определение  $T$ -оптимизируемой системы логического программирования, где  $T$  - некоторое множество преобразований программ. В качестве иллюстрации общего подхода выбраны интерпретатор системы PROLOG и множество преобразований, которые переставляют и удаляют предложения программ, переставляют атомы в телах правил программ. Для ряда систем логического программирования получены результаты относительно их  $T$ -оптимизируемости.

1. *Определения и обозначения.* Зафиксируем три непересекающихся счетных множества  $\Phi$ ,  $\Pi$  и  $X$ .  $\Phi$  - множество функциональных символов с приписанной каждому символу местностью, причем для любого  $n > 0$   $\Phi$  содержит счетное число символов местности  $n$ .  $X$  - множество предметных переменных. Из элементов множеств  $\Phi$  и  $X$  строятся термы.

1. Каждый 0-местный символ из  $\Phi$  есть терм.
2. Каждая переменная из  $X$  есть терм.
3. Если  $t_1, t_2, \dots, t_n$  ( $n > 0$ ) - термы и  $f$  -  $n$ -местный символ из  $\Phi$ , то  $f(t_1, \dots, t_n)$  есть терм.
4. Других термов нет.

Множество всех термов, не использующих предметных переменных, обозначим через  $M$ . Множество  $M$  называется универсумом Эрбрана.

$\Pi = \Pi_1 \cup \Pi_2$ , где  $\Pi_1$  - множество предикатных символов с приписанной каждому символу местностью, причем для любого  $n > 0$   $\Pi_1$  содержит счетное число символов местности  $n$ ;  $\Pi_2$  - некоторое множество интерпретированных предикатных символов (встроенных предикатов), каждый  $k$ -местный ( $k > 0$ ) встроенный предикат представляет собой вычислимое отображение  $M^k \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$ .

Атом определяется традиционным образом:

1. Каждый 0-местный символ из  $\Pi_1$  есть атом.
2. Если  $t_1, \dots, t_n$  ( $n > 0$ ) - термы и  $p$  -  $n$ -местный символ из  $\Pi_1$ , то  $p(t_1, \dots, t_n)$  есть атом.
3. Других атомов нет.

Атом, использующий предикатный символ из  $\Pi_1$ , назовем предикатным термом. Атом, использующий встроенный предикат из  $\Pi_2$ , назовем условием. Множество всех переменных атома  $A$  обозначим через  $\text{Var}(A)$ .

Традиционным образом определяется формула логики предикатов первого порядка, использующая логические операции  $\neg, \&, \vee, \supset$  и кванторы  $\exists, \forall$  (см.[1]).

Опишем рассматриваемые нами интерпретации. Предметным множеством рассматриваемых интерпретаций будет множество  $M$ . Функциональные символы интерпретируются следующим образом: каждому 0-местному символу из  $\Phi$  сопоставляется он сам, каждому  $n$ -местному ( $n > 0$ ) символу  $f \in \Phi$  сопоставляем отображение  $M^n \rightarrow M$ , которое  $n$ -ке  $(t_1, \dots, t_n) \in M^n$ , где  $t_i \in M$ ,  $i = 1, \dots, n$ , ставит в соответствие терм  $f(t_1, \dots, t_n)$ . Каждому 0-местному символу из  $\Pi_1$  сопоставляется один из элементов множества  $\{\text{true}, \text{false}\}$ , а каждому  $n$ -местному ( $n > 0$ ) символу из  $\Pi_1$  сопоставляется некоторое отображение  $M^n \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$ . Обозначим описанное множество интерпретаций через  $N$ . Заметим, что интерпретации из  $N$  могут отличаться одна от другой лишь отображениями, сопоставляемыми символам множества  $\Pi_1$ .

Пусть  $F$  - замкнутая формула и  $I$  - интерпретация из  $N$ . Значение формулы  $F$  на интерпретации  $I$  определяется традиционным образом. Формула называется тождественно истинной, если она принимает значение  $\text{true}$  на любой интерпретации из  $N$ . Пусть  $F$  и  $F'$  - замкнутые формулы. Мы будем говорить, что формула  $F'$  является логическим следствием формулы  $F$ , и обозначать это  $F \models F'$ , если формула  $F \supset F'$  является тождественно истинной.

Логическая программа  $P$  (далее просто программа) есть последовательность предложений  $D_1, \dots, D_n$ ,  $n > 0$ . Предложение  $D \in \{D_1, \dots, D_n\}$  является либо фактом  $A$ , либо правилом  $A :- B_1, \dots, B_m$ , которое является импликацией  $B_1 \& \dots \& B_m \supset A$ , где  $A$  - предикатный терм, а каждое из  $B_1, \dots, B_m$  либо предикатный терм, либо условие,  $m > 0$ . Атом  $A$  называется головой предложения  $D$ , а последовательность  $B_1, \dots, B_m$  - его телом.

Программе  $P$  сопоставляется формула

$$\forall x_1 \dots \forall x_v (D_1 \& \dots \& D_n),$$

где  $x_1, \dots, x_v$  - переменные, использованные в предложениях  $D_1, \dots, D_n$ ,  $v \geq 0$ .

Запрос  $Q$  имеет вид  $?-C_1, \dots, C_k$ , где  $C_i$  - либо предикатный терм, либо условие,  $i = 1, \dots, k$ ,  $k > 0$ . Запросу  $Q$  сопоставляется формула

$$\exists y_1 \dots \exists y_s (C_1 \& \dots \& C_k),$$

где  $y_1, \dots, y_s$  - переменные, использованные в атомах  $C_1, \dots, C_k$ ,  $s \geq 0$  (см. [2, 3]).

2. *Постановка задачи.* Система логического программирования (кратко LPS) определяется заданием тройки  $\langle \text{Prog}, \text{Quer}, U \rangle$ , где  $\text{Prog}$  - некоторое множество программ,  $\text{Quer}$  - некоторое множество запросов,  $U$  - интерпретатор, представляющий собой алгоритм, который для каждой программы  $P \in \text{Prog}$  и запроса  $Q \in \text{Quer}$  либо останавливается с положительным ответом (yes), либо с отрицательным ответом (no), либо с неопределенным ответом, либо функционирует бесконечно. Результат применения  $U$  к  $P$  и  $Q$  обозначим  $U(P, Q)$ . Если  $U(P, Q)$  есть yes или no, то будем говорить, что  $U(P, Q)$  - определено. Интерпретатор  $U$  должен обладать свойством логической корректности:

если  $U(P,Q) = \text{yes}$ , то  $P| = Q$ ;

если  $U(P,Q) = \text{no}$ , то  $P| \neq Q$ .

Пусть  $P \in \text{Prog}$  и  $\text{Yes}(P) = \{Q \mid Q \in \text{Quer} \text{ и } P| = Q\}$ .

Будем говорить, что программы  $P_1, P_2 \in \text{Prog}$  эквивалентны (обозначим  $P_1 \sim P_2$ ), если  $\text{Yes}(P_1) = \text{Yes}(P_2)$ .

Под преобразованием множества программ  $\text{Prog}$  мы будем понимать пару  $(P, P')$ , где  $P \sim P'$ ,  $P, P' \in \text{Prog}$ . Пусть  $T$  - некоторое множество преобразований программ  $\text{Prog}$ , причем для любой программы  $P \in \text{Prog}$  пара  $(P, P) \in T$ . Будем говорить, что программа  $P \in \text{Prog}$   $T$ -преобразуема в программу  $P' \in \text{Prog}$ , если существует такая последовательность преобразований  $(P_1, P_2), \dots, (P_{n-1}, P_n)$ , принадлежащих  $T$ , что  $P_1 = P$ ,  $P_n = P'$ ,  $n > 1$  (см. [4]).

Пусть  $V$  - алгоритм, который, получив на вход программу  $P \in \text{Prog}$ ,  $T$ -преобразует её в программу  $P' \in \text{Prog}$  (т.е. посредством преобразований множества  $T$  преобразует программу  $P$  в программу  $P'$ ). Обозначим через  $W$  множество всех таких алгоритмов.

Будем говорить, что система логического программирования (LPS)  $T$ -оптимизируема, если существует такой алгоритм  $V_0 \in W$ , что для любого алгоритма  $V \in W$ , для любой программы  $P \in \text{Prog}$  и для любого запроса  $Q \in \text{Quer}$  имеем:

$$U(V(P), Q) \text{ – определено} \Rightarrow U(V_0(P), Q) \text{ – определено.}$$

3. *Полученные результаты.* Для каждого множества программ  $\text{Prog}$  определим множество преобразований  $T$ , которые переставляют и удаляют предложения программ, переставляют атомы в телах правил программ (см. [4]).

Пусть  $U$  - интерпретатор системы PROLOG (см. [3, 5]).

LPS, программы и запросы которой не содержат встроенных предикатов, назовем чистой LPS.

**Теорема 1.** *Чистая LPS (чистый PROLOG) не является  $T$ -оптимизируемой.*

**Доказательство.** Пусть  $a, b$ , - 0-местные функциональные символы из  $\Phi$ ,  $p, q, r$  - 1-местные предикатные символы из  $\Pi_1$ ,  $x$  - переменная из  $X$ . Рассмотрим следующую программу  $P$  и запросы  $Q$  и  $Q'$ .

Программа  $P$ :

$q(a)$ .

$r(b)$ .

$q(x) : - p(x)$ .

$r(x) : - p(x)$ .

$p(x) : - q(x)$ .

$p(x) : - r(x)$ .

Запрос  $Q : ? - p(a)$ .

Запрос  $Q' : ? - p(b)$ .

Легко видеть, что  $P| = Q$ ,  $P| = Q'$  и для любой собственной подпоследовательности  $P''$  программы  $P$  имеем:  $P''$  не эквивалентна  $P$ . Легко также заметить, что интерпретатор  $U$  остановится с положительным ответом (yes) для программы  $P$  и запроса  $Q$  и будет функционировать бесконечно для программы  $P$  и запроса  $Q'$ .

Преобразуем программу  $P$ , переставив местами её последние два предложения  $p(x) : -q(x)$  и  $r(x) : -r(x)$ . Получим программу  $P'$ . Очевидно, что  $P \sim P'$  и интерпретатор  $U$  остановится с положительным ответом (yes) для программы  $P'$  и запроса  $Q'$  и будет функционировать бесконечно для программы  $P'$  и запроса  $Q$ .

Теорема 1 доказана.

**Теорема 2.** *Чистая LPS, программы и запросы которой не используют переменных, T-оптимизируема.*

Доказательство следует из результатов работы [4].

Будем говорить, что программа  $P$  содержит повторяющийся предикатный символ  $q$ , если число предложений программы  $P$ , головы которых используют символ  $q$ , больше 1.

**Теорема 3.** *Чистая LPS, программы которой не содержат повторяющихся предикатных символов, T-оптимизируема.*

Доказательство следует из результатов работы [4].

LPS, которая использует только 0-местные функциональные символы, 0-местные и 1-местные предикатные символы и встроенные предикаты  $<$ ,  $>$ ,  $=$ , называется простой LPS.

**Теорема 4.** *Чистая простая LPS, не является T-оптимизируемой.*

Справедливость теоремы 4 следует из доказательства теоремы 1.

**Теорема 5.** *Простая LPS программы которой не используют повторяющихся предикатных символов не является T-оптимизируемой.*

**Доказательство.** Пусть  $q$  - 0-местный,  $r, s$  - 1-местные предикатные символы из  $\Pi_1$ ,  $x$  - переменная из  $X$ . Рассмотрим следующую программу  $P$  и запросы  $Q$  и  $Q'$ .

Программа  $P$ :

$q : -x > 0$ .

$r(x) : -x > 3, q$ .

$s(x) : -x < 7, q$ .

$p(x) : -r(x), s(x)$ .

Запрос  $Q : ? - p(2)$ .

Запрос  $Q' : ? - p(8)$ .

Легко видеть, что  $P \neq Q$ ,  $P \neq Q'$  и для любой собственной подпоследовательности  $P''$  программы  $P$  имеем:  $P''$  не эквивалентна  $P$ . Легко также заметить, что интерпретатор  $U$  остановится с отрицательным ответом (no) для программы  $P$  и запроса  $Q$  и остановится с неопределённым ответом для программы  $P$  и запроса  $Q'$ .

Преобразуем программу  $P$ , переставив местами атомы в теле её последнего предложения, т. е. последнее предложение теперь стало иметь  $p(x) : -s(x), r(x)$ . Получим программу  $P'$ . Очевидно, что  $P \sim P'$  и интерпретатор  $U$  остановится с отрицательным ответом (no) для программы  $P'$  и запроса  $Q'$  и остановится с неопределённым ответом для программы  $P'$  и запроса  $Q$ .

Теорема 5 доказана.

Правило  $A : -B_1, \dots, B_m$  ( $m > 0$ ) назовем  $\alpha$ -правилом, если  $\text{Var}(B_1) \cup \dots \cup \text{Var}(B_m) \not\subseteq \text{Var}(A)$ .

**Теорема 6.** *Простая LPS, программы которой не содержат  $\alpha$ -правил и повторяющихся предикатных символов, T-оптимизируема.*

## Литература

1. *Kleene S.C.* Introduction to Metamathematics. D.Van Nostrand Co. 1952.
2. *Lloyd J.W.* Foundations of Logic Programming. Berlin: Springer-Verlag. 1984.
3. *Нигиян С. А.* - Программирование. 1996. N1. С.30-38. (англ. пер. Nigiyan S. A. - Programming and Computer Software. 1996. V. 22. N. 1. P. 19-25).
4. *Нигиян С. А., Хачоян Л. О.* - Программирование. 1997. N6. С.17-28. (англ. пер. Nigiyan S.A., Khachoyan L.O. - Programming and Computer Software. 1997. V. 23. N. 6. P. 302-309).
5. *Clocksia W. F., Mellish C. S.* Programming in PROLOG. Berlin. Springer-Verlag. 1984. (рус. пер. Клоксин У., Меллиш К. Программирование на языке ПРОЛОГ. М. Мир. 1997).

Ս. Ա. Նիգիյան, Լ. Օ. Խաչոյան, Վ. Ռ. Հակոբյան

**Տրամաբանական ծրագրավորման համակարգերի օպտիմիզացիա նրանց  
ծրագրերի ձևավորման միջոցով**

Աշխատանքում տրված է տրամաբանական ծրագրավորման  $T$ -օպտիմիզացվող համակարգի սահմանումը, որտեղ  $T$ -ն ծրագրերի ձևավորությունների ինչ-որ մի բազմություն է: Ընդհանուր մոտեցման ցուցադրման համար ընտրված են *PROLOG* համակարգի ինտերպրետատորը և այն ձևավորությունների բազմությունը, որոնք տեղավորվում և հեռացնում են ծրագրերի նախադասությունները, տեղավորվում են ատոմները ծրագրերի կանոնների մարմիններում: Տրամաբանական ծրագրավորման մի շարք համակարգերի համար ստացվել են արդյունքներ նրանց  $T$ -օպտիմիզացման վերաբերյալ:

УДК 518.9

С. Л. Амбарян, В.С. Амбарян

Об одном множестве точек  $l$ -встречи при преследовании с задержкой

(Представлено академиком Ю.Г. Шукурзяном 22/VII 2003)

Пусть преследователь  $P$  и преследуемый  $E$  осуществляют простое преследование (т.е. перемещаются в плоскости с постоянными по модулю скоростями  $\alpha$  и  $\beta$  ( $\alpha > \beta$ ) соответственно и имеют возможность в каждый момент времени изменять направление своего движения). В начальный момент времени  $t = 0$  игрок  $P$  находится в начале координат  $P(0) = \{0, 0\}$ , а игрок  $E$  - в точке с координатами  $E(0) = \{a, 0\}$ .

Допустим, что игрок  $E$  движется прямолинейно начиная с момента времени  $t = 0$ . Преследуемый  $E$  считается пойманным, если расстояние между ним и преследователем  $P$  станет меньше или равно  $l$ , т. е.  $l \geq 0$ ,  $|P(t)E(t)| \leq l$ . Игрок  $P$  применяет следующую стратегию: он движется прямолинейно по лучу с максимальной скоростью, что гарантирует ему  $l$ -встречу за минимальное время. Обозначим эту стратегию через  $\bar{u}$ .

Геометрическое место точек встречи состоит из точек  $M = M(x, y)$ , удовлетворяющих условию

$$\frac{|P(0)M| - l}{\alpha} = \frac{|E(0)M|}{\beta}. \quad (1)$$

Уравнение (1) является уравнением плоской алгебраической кривой, называемой овалом Декарта [1].

Теперь рассмотрим следующую задачу. Игрок  $P$  до момента времени  $T$  не получает никакой информации об игроке  $E$  и стоит на месте. С момента времени  $T$  игрок  $P$  получает информацию о местоположении игрока  $E$  и начинает преследование. Игрок  $P$  применяет стратегию  $\bar{u}$ , а игрок  $E$  движется прямолинейно. Тогда геометрическое место точек встречи описывается следующим уравнением:

$$\frac{|P(T)M| - l}{\alpha} + T = \frac{|E(0)M|}{\beta}, \quad (2)$$

которое также является овалом Декарта.

Так как игрок  $P$  в течение времени  $T$  стоит на месте, то за это время игрок  $E$  может оказаться в любой точке окружности  $A_R(E(0))$  с центром  $E(0)$  и радиусом  $R = \beta T$ . Для каждой точки  $E_\varphi$

окружности  $A_R(E(0))$  геометрическое место точек встречи описывается следующим уравнением:

$$\frac{|P(T)M| - 1}{\alpha} = \frac{|E_\varphi M|}{\beta}, \quad (3)$$

где точка  $E_\varphi = E_\varphi(x_{E_\varphi}, y_{E_\varphi})$  имеет координаты:

$$x_{E_\varphi} = a + R \cos \varphi,$$

$$y_{E_\varphi} = R \sin \varphi, \text{ где } 0 \leq \varphi \leq 2\pi \text{ и } R = \beta T.$$

Уравнение (3) определяет семейство овалов Декарта с параметром  $\varphi$ ,  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ .

Декартов овал (2), т.е.  $[(\sqrt{x^2 + y^2} - 1)/(\alpha)] + T = [(\sqrt{(x - a)^2 + y^2})/(\beta)]$ , обозначим через  $D_T(1)$ , а множество всех точек внутренней части овала, включая его границу, через  $S_T(1)$ . Семейство декартовых овалов (3), т.е.

$$\frac{\sqrt{x^2 + y^2} - 1}{\alpha} = \frac{\sqrt{(x - a - R \cos \varphi)^2 + (y - R \sin \varphi)^2}}{\beta}, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi,$$

обозначим через  $D_T(1, \varphi)$ .

Имеет место следующая

**Теорема.** *Декартов овал  $D_T(1)$  является огибающей для семейства декартовых овалов  $D_T(1, \varphi)$ ,  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ .*

**Доказательство.** Преобразуем уравнение (3) следующим образом:

$$\alpha \sqrt{(x - a - R \cos \varphi)^2 + (y - R \sin \varphi)^2} = \beta (\sqrt{x^2 + y^2} - 1),$$

$$F(x, y, \varphi) = \alpha^2 ((x - a - R \cos \varphi)^2 + (y - R \sin \varphi)^2) - \beta^2 (\sqrt{x^2 + y^2} - 1)^2 = 0,$$

$$F(x, y, \varphi) = \alpha^2 ((x - a)^2 - 2R(x - a) \cos \varphi + R^2 \cos^2 \varphi) +$$

$$+ (y^2 - 2Ry \sin \varphi + R^2 \sin^2 \varphi) - \beta^2 (\sqrt{x^2 + y^2} - 1)^2 = 0,$$

$$\begin{aligned}
 F(x,y,\varphi) = & \alpha^2((x-a)^2 - 2R((x-a)\cos\varphi + y\sin\varphi)) + y^2 + \\
 & + R^2(\sin^2\varphi + \cos^2\varphi) - \beta^2(\sqrt{x^2+y^2} - 1)^2 = 0.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Огибающая семейства овалов Декарта должна удовлетворять уравнениям дискриминантной кривой [2]:

$$F(x, y, \varphi) = 0 \quad \text{и} \quad F_{\varphi}(x, y, \varphi) = 0$$

при всевозможных значениях  $\varphi$ ,  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ .

Согласно теории об огибающих семейства кривых, дискриминантная кривая кроме огибающей содержит геометрическое место особых точек, которое удовлетворяет уравнениям:

$$F_x(x, y, \varphi) = 0 \quad \text{и} \quad F_y(x, y, \varphi) = 0.$$

Продифференцировав уравнение (4), получим

$$F_x(x,y,\varphi) = 2\alpha^2((x-a) + R\cos\varphi) + \frac{2\beta^2(\sqrt{x^2+y^2}-1) \cdot 2x}{\sqrt{x^2+y^2}} = 0,$$

$$F_y(x,y,\varphi) = 2\alpha^2(y - R\sin\varphi) + \frac{2\beta^2(\sqrt{x^2+y^2}-1) \cdot 2y}{\sqrt{x^2+y^2}} = 0,$$

$$F_{\varphi}(x,y,\varphi) = 2\alpha^2R((x-a)\sin\varphi - y\cos\varphi) = 0.$$

Откуда следует, что

$$x = a + R\cos\varphi, \quad y = R\sin\varphi \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{y}{x-a},$$

$$\sin\varphi = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}} = \frac{y}{\sqrt{(x-a)^2+y^2}}, \quad \cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}} = \frac{x-a}{\sqrt{(x-a)^2+y^2}}.$$

Геометрическое место особых точек представляется уравнением окружности  $x^2+y^2=1^2$ ; из полученного результата следует, что  $F_x^2 + F_y^2 \neq 0$ .

Исключив  $\varphi$  из (4), получим уравнение огибающей  $D_T(1)$  семейства овалов  $D_T(1,\varphi)$ ,  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ,

$$F(x,y) = \alpha^2 \left\{ (x-a)^2 - 2R \left( \frac{(x-a)^2}{\sqrt{(x-a)^2+y^2}} + \frac{y^2}{\sqrt{(x-a)^2+y^2}} \right) + y^2 + R^2 \right\} - \beta^2 \left( \sqrt{x^2+y^2} - 1 \right)^2 = 0,$$

$$F(x,y) = \alpha^2 \left\{ (x-a)^2 - 2R \sqrt{(x-a)^2+y^2} + y^2 + R^2 \right\} - \beta^2 \left( \sqrt{x^2+y^2} - 1 \right)^2 = 0,$$

$$F(x,y) = \alpha^2 \left\{ \sqrt{(x-a)^2+y^2} - R \right\}^2 - \beta^2 \left( \sqrt{x^2+y^2} - 1 \right)^2 = 0,$$

$$\alpha \left( \sqrt{(x-a)^2+y^2} - R \right) = \beta \left( \sqrt{x^2+y^2} - 1 \right),$$

$$\frac{\sqrt{x^2+y^2} - 1}{\alpha} + \frac{R}{\beta} = \frac{\sqrt{(x-a)^2+y^2}}{\beta}.$$

Учитывая, что  $R = \beta T$ , окончательно получаем

$$\frac{\sqrt{x^2+y^2} - 1}{\alpha} + T = \frac{\sqrt{(x-a)^2+y^2}}{\beta}. \quad (5)$$

Полученное уравнение (5) совпадает с уравнением (2), откуда следует, что огибающая

семейства овалов Декарта  $D_T(l, \varphi)$ ,  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ , есть овал Декарта  $D_T(l)$ .

Теорема доказана.

Отметим, что указанный метод нахождения огибающей для семейства аполлоновых окружностей был использован при решении задачи определения множества точек встречи, когда преследователь  $P$  начинает преследование с задержкой в случае точечной поимки [3].

Пусть игрок  $E$  использует любую кусочно-постоянную стратегию  $v$  [4]. Обозначим через  $G_T(P(0), E(0), l)$  множество всевозможных точек встречи, когда  $P$  применяет стратегию  $\bar{u}$ , при различных стратегиях  $v$  игрока  $E$ . Как известно, при таких стратегиях  $(\bar{u}, v)$  множество точек встречи содержится внутри овала Декарта [4].

Таким образом, овал  $D_T(l)$  является границей множества  $G_T(P(0), E(0), l)$ .

**Следствие.**  $G_T(P(0), E(0), l) \cong S_T(l)$ .

Ереванский научно-исследовательский  
институт математических машин

### Литература

1. *Савелов А.А.* Плоские кривые. М. Физматгиз. 1960. 293 с.
2. *Рашевский П.К.* Курс дифференциальной геометрии. М. Гостехиздат. 1956. 420 с.
3. *Амбарян В.С.* - ДАН Армении. 1991. Т. 92. N4. С. 147-153.
4. *Петросян Л.А., Томский Г.В.* Геометрия простого преследования. Новосибирск. Наука. 1983. 143 с.

## Ս.Լ. Համբարյան, Վ.Ս. Համբարյան

### Հասպադումով հետապնդման ժամանակ $l$ -հանդիպման կետերի բազմության մասին

Աշխատանքում դիտարկվում է խաղ երկու մասնակիցների՝  $P$  հետապնդողի և  $E$  հետապնդվողի միջև, երբ  $P$  հետապնդողը սկսում է հետապնդումը  $T$  ժամանակ հասպադումով, իսկ  $E$  հետապնդվողը շարժվում է ուղղագիծ  $l$ -հանդիպման պայմանի ( $|PE| \leq l$ ) դեպքում: Հետազոտվել է խաղի մասնակիցների հանդիպման կետերի բազմության որոշման խնդիրը:

Հայտնի է, որ այդ դեպքում հանդիպման կետերի բազմությունն իրենից ներկայացնում է Դեկարտյան օվալ (նշանակենք  $D_T(l)$ ):

$T$  ժամանակահատվածի ընթացքում  $E$  հետապնդվողը կարող է գտնվել  $R = \beta T$  շառավղով շրջանագծի ցանկացած  $E_\varphi$  կետում:

$P$  և  $E_\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ) կետերի համար կառուցվում է հանդիպման կետերի բազմությունը՝  $l$ -հանդիպման պայմանի դեպքում, որը նույնպես հանդիսանում է Դեկարտյան օվալ (նշանակենք  $D_T(l, \varphi)$ ): Այսպիսով, ստացվում է Դեկարտյան օվալների ընտանիք  $\varphi$  պարամետրով:

Ապացույցված է հետևյալ թեորեմը.

**Թեորեմ:** Դեկարտյան  $D_T(l)$  օվալը հանդիսանում է Դեկարտյան  $D_T(l, \varphi)$  ( $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ) օվալների ընտանիքի պարուրիչը:

УДК 510

В.К.Леонтьев, Г.Л.Мовсисян

## Об аддитивном канале связи

(Представлено академиком Ю.Г. Шукураном 12/ХІІ 2003)

Рассматривается аддитивный канал связи в следующей стандартной формулировке. В множестве  $V^n$  - двоичных наборов длины  $n$  выделено произвольное подмножество  $S$ , содержащее нулевой вектор, и любое кодовое слово  $v$  на выходе воспринимается как

$$v' = v + e, \quad (1)$$

где  $e \in S$ , а  $v \in V^n$ . Таким образом  $S$  - это множество векторов ошибок в стандартных терминах теории корректирующих кодов. Многие классические каналы можно представить в форме (1), что и определяет интерес к этому достаточно универсальному каналу [1-3]. Классической задачей теории корректирующих кодов является построение кода максимальной мощности, исправляющего ошибки из множества  $S$ . Существуют два универсальных способа для оценки мощности такого кода: верхняя граница получается методом "плотной упаковки", а нижняя граница методом "насыщения" или процедурой Варшавова - Гилберта. Одна из известных проблем теории кодирования в содержательной формулировке звучит следующим образом: какая из двух упомянутых выше границ ближе к истинному значению максимальной мощности соответствующего кода [3]? Мы обсуждаем эту проблему в терминах "структуры" множества ошибок  $S$ , а также рассматриваем несколько отдельных примеров.

**Определение [1].** Код  $V \subseteq V^n$  называется кодом, исправляющим ошибки канала  $S$ , если выполняется следующее условие:

$$u + e_1 \neq v + e_2 \quad (2)$$

для любых кодовых точек  $u$  и  $v$  и для любых векторов ошибок  $e_1$  и  $e_2$  из  $S$ .

Условие (2) действительно позволяет исправить все ошибки канала  $S$  с помощью обычной таблицы декодирования. Приведем нижнюю и верхнюю границы для мощности  $|V(S)|$  максимального кода, исправляющего все ошибки из  $S$  в терминах мощности окрестностей 1-го и 2-го порядка, индуцированных этим множеством.

**Определение.** Окрестностью 1-го порядка точки  $v \in V^n$ , индуцированной множеством  $S$ , называется множество

$$A_1(v) = \{v + e, e \in S\}. \quad (3)$$

Окрестности следующих порядков определяются индуктивно, исходя из формулы (3)

$$A_2(v) = A_1(A_1(v)) = \{v_1 + e, v_1 \in A_1(v), e \in S\}. \quad (4)$$

Ясно, что (4) эквивалентно следующей формуле:

$$A_2(v) = \{v + (e_i + e_j), e_i, e_j \in S\}.$$

Таким образом, если  $S^2 = \{(e_i + e_j), e_i, e_j \in S\}$  - "квадрат" множества  $S$ , то окрестность 2-го порядка  $A_2(v)$  определяется формулой

$$A_2(v) = \{v + e, e \in S^2\}. \quad (5)$$

Аналогично определяются окрестности любого порядка, индуцированные множеством  $S$ .

### Примеры.

1. Если  $S$  - это шар радиуса  $t$  в метрике Хэмминга с центром в нуле, т.е.  $S = \{x, \|x\| \leq t\}$ , то  $S^2$  - это шар радиуса  $2t$  с этим же центром при  $2t < n$ .

2. Если  $S$  - подгруппа  $B^n$ , то  $S^2 = S$ .

Нетрудно понять, что все окрестности одного и того же порядка равномощны, т.е.

$$|A_k(v)| = |S_k| = |A_k| \quad k = 1, 2, \dots \quad (6)$$

**Теорема 1.** Для мощности  $|V(S)|$  максимального кода, исправляющего все ошибки из множества  $S$ , справедливы неравенства

$$\frac{2^n}{|A_2|} \leq |V(S)| \leq \frac{2^n}{|A_1|}. \quad (7)$$

**Доказательство.** Верхняя граница следует прямо из определения (2), которое утверждает, что окрестности 1-го порядка точек из кода  $V(S)$  не пересекаются.

Для доказательства нижней границы нужно лишь модифицировать процедуру Варшавова - Гилберта:

1. пусть  $v$  - произвольная точка из  $B^n$ . Положим  $v_1 = v$  и рассмотрим окрестность 2-го порядка точки  $v_1$ , т.е.  $A_2(v_1)$ ;

2. в качестве  $v_2$  выбираем произвольную точку из  $\{B^n \setminus A_2(v_1)\}$ ;

3. в качестве  $v_3$  выбираем произвольную точку из  $\{B^n \setminus (A_2(v_1) \cup A_2(v_2))\}$ ;

4. продолжаем эту процедуру до исчерпания всего  $B^n$ .

Относительно построенного кода  $V(S) = \{v_1 v_2 \dots v_N\}$  справедливы следующие утверждения.

I. Код  $V(S)$  исправляет все ошибки из  $S$ .

Действительно, если не так, то

$$v_i + e_1 = v_j + e_2$$

или

$$v_i = v_j + (e_1 + e_2),$$

т.е.  $v_i \in A_2(v_j)$ , что противоречит построению.

II. Мощность  $|V(S)|$  кода  $V(S)$  удовлетворяет неравенству

$$|V| \geq \frac{2^n}{|A_2|}.$$

Эта граница сразу следует из очевидных неравенств

$$|A_2(v_1) \cup A_2(v_2) \cup \dots \cup A_2(v_N)| \leq \sum_{i=1}^N |A_2(v_i)| \leq N|A_2|$$

**Следствие 1.** Если  $S$  - группа, то

$$|V(S)| = \frac{2^n}{|S|}. \quad (8)$$

Неравенства (7) показывают, что точность границ Хэмминга и Варшавова - Гилберта определяется отношением  $|A_2|/|A_1|$ , которое удовлетворяет очевидным неравенствам

$$1 \leq \frac{|A_2|}{|A_1|} \leq |S|. \quad (9)$$

В частности, если  $S = U_1 \cup U_2$ , где  $U_1, U_2$  - подгруппы  $B^n$  и  $|U_2| \leq c$ , то при больших  $n$

$$|S^2| \lesssim c|S|$$

и границы в (7) отличаются в константу раз.

Таким образом алгебраическая структура множества  $S$  сильно влияет на точность границ в (7).

**Примеры.**

1. Пусть в канале происходит любое, но четное число ошибок. Тогда  $|S| = 2^{n-1}$  и  $|V(S)| = 2$ . Действительно, точки  $a = (11\dots 1)$  и  $b = (0\dots 0)$  образуют код, который исправляет все ошибки из  $S$ . Если же в коде  $V(S)$  имеется не менее трех точек, то хотя бы две из них имеют вес одинаковой "четности" и не могут быть правильно идентифицированы на приемном конце.

2. Рассмотрим канал с "разделением ошибок", т.е. после искажения канал некоторое время передает символы безошибочно.

**Определение.** Канал  $S$  называется каналом с разделением ошибок уровня  $k$ , если любое слово  $x = (x_1 x_2 \dots x_n) \in S$  удовлетворяет следующим неравенствам:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + \dots + x_k \leq 1 \\ x_2 + x_3 + \dots + x_{k+1} \leq 1 \\ \dots \\ x_{n-k+1} + x_{n-k+2} + \dots + x_n \leq 1, \end{array} \right. \quad (11)$$

$$x_i \in \{0,1\}.$$

Следующее утверждение нужно для оценки мощности  $|S|$ .

**Теорема 2.** Если  $S(n,k)$  - число ненулевых решений системы (11), то

$$S(n,k) = \sum_{m=1}^{\infty} \binom{n-(m-1)(k-1)}{m} + 1. \quad (12)$$

**Доказательство.** Пусть  $x = (x_1 x_2 \dots x_n)$  - произвольное решение системы (11) и  $y_1 < y_2 < \dots < y_m$  - номера всех единичных координат вектора  $x$ . Тогда

$$y_s - y_{s-1} \geq k, \quad s = 2, 3, \dots, m$$

и если  $y_1 = y$ , то

$$y_2 = k + y + z_1$$

...

$$y_m = (m-1)k + y + (z_1 + z_2 + \dots + z_{m-1}),$$

где  $z_i \geq 0$  и

$$z_1 + z_2 + \dots + z_{m-1} \leq n - (m-1)k + y,$$

Если  $e_m(t)$  - число решений уравнения

$$z_1 + z_2 + \dots + z_{m-1} = t,$$

то  $e_m(t) = \binom{m+t-2}{m-2}$  и для числа  $S_m(n,k)$ -решений уравнения (11) с  $\|x\| = m$  получаем формулу

$$S_m(n,k) = \sum_{t=0}^N e_m(t) = \binom{m+N-1}{N},$$

где  $N = n - (m-1)k - y$ .

Для получения финального результата осталось "освободить"  $y$  и просуммировать  $S_m(n,k)$  по всем  $m$ .

В терминах производящих функций искомый результат выглядит так.

Пусть

$$F_k(z) = \sum_{n=1}^{\infty} S(n,k)z^n.$$

Следствие.

$$F_k(z) = \frac{z}{1-z} (z^k + z - 1). \quad (13)$$

Для исправления ошибок в канале  $S$  можно использовать код Хэмминга для коррекции одной ошибки в каждом подслове длины  $k$ . Таким образом, мы получили код мощности (для больших  $n$  и  $k$ ) порядка

$$|V(S)| \gtrsim 2^{n(1 - \lfloor \ln k/k \rfloor)}. \quad (14)$$

Использование (7) и (13) приводит к следующей верхней границе:

$$|V(S)| \lesssim 2^{n(1 - \lceil (\lambda)/k \rceil)}, \quad (15)$$

где  $\lambda = \log_2 e$ .

Вычислительный центр РАН

### Литература

1. Деза М.Е. - Проблемы передачи информации. 1965. Т. 1. N3. С. 29-39.
2. Голпа В.Д. - Успехи мат. наук. 1984. N1(35). С. 77-120.
3. Кричевский Р.Е. Сжатие и поиск информации. М. Радио и связь. 167 с.

**Վ.Կ. Լեոնտև, Ղ.Լ. Մովսիսյան**

**Աղդիտիվ կապի գծերի վերաբերյալ**

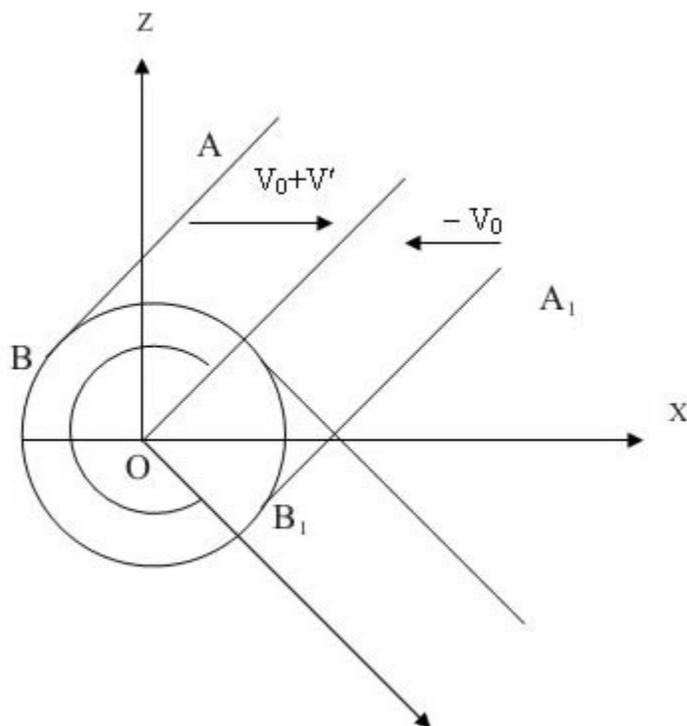
Աշխատանքում դիտարկվում են աղդիտիվ կապի գծերում սխալներ ուղղող կոդեր: Մխալների տրված բազմության համար բերված են կոդի մաքսիմալ հզորության վերին և ստորին գնահատականներ: Դիտարկված են նաև այսպես կոչված սխալները տրոհող կապի գծերում մեկ սխալ ուղղող կոդեր և այդ կոդերի հզորության համար բերված են վերին և ստորին սահմանափակ գնահատականներ:

УДК 539.1

Член-корреспондент НАН РА А.Г.Багдоев, Ю.С.Сафарян

## Плоская задача соударения упругих двугранных углов

(Представлено 13/1 2003)



Рассматривается линейная задача соударения упругих тел, которые в момент соударения ограничены цилиндрическими поверхностями  $x = f(|z|)$ . Предполагается, что после соударения имеется полный контакт тел и они состоят из одинакового материала, из чего следует, что после соударения они сливаются и движутся как единое целое. Волновая картина, получающаяся после соударения, зависит от формы тел, в частности, имеющих форму одинаковых клиньев. Эта задача имеет практическое применение в сейсмологии. Начальные условия, соответствующие решению задачи соударения неограниченных по оси  $y$  двугранных углов раствора  $2 \arctg k^{-1}$  с осью  $z = 0$ , т.е.  $Ox$ , причем  $-V_0$  есть скорость правого тела,  $V_0 + V'$  - скорость левого тела до момента соударения, имеют вид [1]

$$u_x = 0, \quad u_z = 0, \quad \frac{\partial u_z}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} = -V_0 \sigma(x - k|z|) + (V_0 + V') \sigma(k|z| - x).$$

Здесь  $u_{z,x}$  - компоненты перемещения,  $\sigma(x)$  - единичная функция.

Введем преобразование по Лапласу по  $t$  от функций  $u_x$ ,  $u_z$ , а именно  $\bar{u}_x$ ,  $\bar{u}_z$ , тогда уравнения теории упругости в изображениях имеют вид:

$$a^2 \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial x^2} + b^2 \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial z^2} + (a^2 - b^2) \frac{\partial^2 \bar{u}_z}{\partial x \partial z} = s^2 \bar{u}_x + V_0 \sigma(x - k|z|) - (V_0 + V') \sigma(k|z| - x), \quad (2)$$

$$b^2 \frac{\partial^2 \bar{u}_z}{\partial x^2} + a^2 \frac{\partial^2 \bar{u}_z}{\partial z^2} + (a^2 - b^2) \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial x \partial z} = s^2 \bar{u}_z,$$

где  $a$ ,  $b$  - скорости продольных и поперечных упругих волн.

Из закона сохранения количества движения в предположении, что массы тел одинаковы, следует, что после слияния они имеют скорость  $[(V')/2]$  и все последующие выкладки имеют место в системе координат, движущейся по оси  $x$  со скоростью  $[(V')/2]$ , в которой тела после соударения неподвижны. Далее вводится преобразование Фурье по  $x$ ,  $z$

$$\bar{u}_{x,z} = \iint_{-\infty}^{\infty} \bar{u}_{x,z} \exp\{-s(\alpha x + \gamma z)\} d\bar{\alpha} d\bar{\gamma}, \quad \bar{\alpha} = \omega\alpha, \quad \bar{\gamma} = \omega\gamma, \quad (3)$$

где  $s = -i\omega$  есть параметр преобразования Лапласа.

Из (2), (3) после обращения преобразования Фурье можно получить:

$$\begin{aligned} \bar{u}_x &= \frac{b^2 \alpha^2 + a^2 \gamma^2 - 1}{(a^2 \alpha^2 + b^2 \gamma^2 - 1)(b^2 \alpha^2 + a^2 \gamma^2 - 1) - (a^2 - b^2)^2 \alpha^2 \gamma^2} \times \\ &\times \frac{1}{s^2 (2\pi)^2} \iint_{-\infty}^{\infty} e^{s(\alpha x' + \gamma z')} \{ V_0 \sigma(x' - k(|z'|)) - (V_0 + V') \sigma(k(|z'|) - x') \} dx' dz', \quad (4) \\ \bar{u}_z &= - \frac{(a^2 - b^2) \alpha \gamma}{b^2 \alpha^2 + a^2 \gamma^2 - 1} \bar{u}_x. \end{aligned}$$

Вычисляя интегралы, получим:

$$\begin{aligned}
& \int_{-\infty}^{\infty} e^{s\gamma z'} dz' \int_{|z'|}^{\infty} e^{s\gamma x'} V_0 dx' - \int_{-\infty}^{\infty} e^{s\gamma z'} (V_0 + V') dz' \int_{-\infty}^{|z'|} e^{s\alpha x'} dx' = \\
& = \frac{2V_0 + V'}{-s^2} \frac{k}{\gamma^2 - \alpha^2 k^2}.
\end{aligned} \tag{5}$$

Поскольку

$$\begin{aligned}
& (a^2 \alpha^2 + b^2 \gamma^2 - 1)(b^2 \alpha^2 + a^2 \gamma^2 - 1) - (a^2 - b^2)^2 \alpha^2 \gamma^2 = a^2 b^2 (\gamma^2 - \gamma_1^2)(\gamma^2 - \gamma_2^2), \\
& \gamma_1^2 = \frac{1}{a^2} - \alpha^2, \quad \gamma_2^2 = \frac{1}{b^2} - \alpha^2,
\end{aligned}$$

из (4), (5) можно получить:

$$\begin{aligned}
\bar{u}_x &= \frac{b^2 \alpha^2 + a^2 \gamma^2 - 1}{2D} (2V_0 + V')k, \\
\bar{u}_z &= -(2V_0 + V')k(a^2 - b^2) \frac{\alpha \gamma}{2D},
\end{aligned} \tag{6}$$

$$D = (\pi a b s \omega)^2 (\gamma^2 - \alpha^2 k^2) (\gamma^2 - \gamma_1^2) (\gamma^2 - \gamma_2^2).$$

Подставляя (6) в (3) и вычисля при  $z > 0$  вычеты в точках  $\bar{\gamma} = \bar{\gamma}_{1,2}$ , можно получить:

$$\begin{aligned}
\bar{u}_x &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{-s(\alpha x + \gamma_1 z)} i \frac{\alpha^2}{2s^2 (\gamma_1^2 - \alpha^2 k^2) \gamma_1} (2V_0 + V')k d\alpha + \\
& + \int_{-\infty}^{\infty} e^{-s(\alpha x + \gamma_2 z)} 2i \frac{\gamma^2}{2\pi a^2 s^2 (\gamma_2^2 - \alpha^2 k^2)} (2V_0 + V')k d\alpha, \\
\bar{u}_z &= -(2V_0 + V')k \left\{ - \int_{-\infty}^{\infty} e^{-s(\alpha x + \gamma_1 z)} i \frac{\alpha}{2\pi s^2 (\gamma_1^2 - \alpha^2 k^2)} d\alpha + \right.
\end{aligned} \tag{7}$$

$$+ \int_{-\infty}^{\infty} e^{-s(\alpha x + \gamma_2 z)} i \frac{\alpha}{2\pi s^2(\gamma_2^2 - \alpha^2 k^2)} d\alpha \Bigg\}, \quad (8)$$

Переходя к оригиналам, проводя контуры по  $\alpha$  в комплексной плоскости через точки Смирнова - Соболева

$$f_{1,2}(\alpha_{1,2}) = t - \alpha_{1,2}x - \gamma_{1,2}(\alpha_{1,2})z, \quad f_{1,2}(\alpha_{1,2}) = 0$$

и вычисляя интегралы от дельта-функций, можно получить

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial t} = -\frac{(2V_0 + V')k}{\pi} \operatorname{Re} i \left\{ \frac{\alpha_1^3}{\gamma_1(\gamma_1^2 - \alpha_1^2 k^2) f_1(\alpha_1)} + \frac{\gamma_2 \alpha_2}{(\gamma_2^2 - \alpha_2^2 k^2) f_2(\alpha_2)} \right\},$$

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial x \partial t} = \frac{(2V_0 + V')k}{\pi} \operatorname{Re} i \left\{ -\frac{\alpha_1^2}{(\gamma_1^2 - \alpha_1^2 k^2) f_1(\alpha_1)} + \frac{\alpha_2^2}{(\gamma_2^2 - \alpha_2^2 k^2) f_2(\alpha_2)} \right\}. \quad (9)$$

Определим вначале решение вне точечных волн, позади плоских продольных волн АВ:  $x = kz - at\sqrt{k^2 + 1}$ , и поперечных плоских волн:  $x = kz - bt\sqrt{k^2 + 1}$ , для этого следует вычислить вычеты в (7), (8) в точках  $\alpha = -[1/(a\sqrt{1+k^2})]$ ,  $\alpha = -[1/(b\sqrt{1+k^2})]$ . Отсюда получим решение вне точечных волн для  $x < 0$ :

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = -\frac{2V_0 + V'}{2(1+k^2)^{\frac{3}{2}}} \left\{ \frac{1}{a} \sigma \left( t + \frac{x - kz}{a\sqrt{k^2 + 1}} \right) + k^2 \sigma \left( t + \frac{x - kz}{b\sqrt{k^2 + 1}} \right) \right\},$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial z} = \frac{(2V_0 + V')k^2}{2(1+k^2)^{\frac{3}{2}}} \left\{ -\frac{1}{a} \sigma \left( t + \frac{x - kz}{a\sqrt{k^2 + 1}} \right) + \frac{1}{b} \sigma \left( t + \frac{x - kz}{b\sqrt{k^2 + 1}} \right) \right\}, \quad (10)$$

соответствующее решению позади плоских волн для  $z > 0$ . Точно так же получается решение позади продольных волн  $A_1 B_1$ :  $x = kz + at\sqrt{k^2 + 1}$ , и поперечных волн:  $x = kz + bt\sqrt{k^2 + 1}$ . При этом, вычислив вычеты в (7),(8) в точках  $\alpha = [1/(a\sqrt{1+k^2})]$ ,  $\alpha = [1/(b\sqrt{1+k^2})]$ , получим решение (10) позади идущих вправо плоских волн для  $x > 0$  с соответствующей заменой

единичных функций. Таким образом, между плоскими волнами АВ и  $A_1B_1$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = -\frac{2V_0 + V'}{2(1 + k^2)^{[3/2]}_a}, \quad \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\frac{(2V_0 + V')k^2}{2(1 + k^2)^{[3/2]}_a},$$

а между соответствующими поперечными плоскими волнами добавится

$$-\frac{2V_0 + V'}{2(1 + k^2)^{[3/2]}_a} k^2, \quad \frac{(2V_0 + V')k^2}{2(1 + k^2)^{[3/2]}_a}.$$

Теперь найдем  $[(\partial u_x)/(\partial x)]$ ,  $[(\partial u_z)/(\partial z)]$  внутри точечных волн. Из (9) с учетом  $[(\partial \alpha_{1,2})/(\partial t)] = -[1/(f'_{1,2}(\alpha_{1,2}))]$  получим:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{(2V_0 + V')k}{\pi} \operatorname{Re} i \left\{ \int \frac{\alpha_1^3 d\alpha_1}{\gamma_1(\gamma_1^2 - \alpha_1^2 k^2)} - \int \frac{\gamma_2 \alpha_2 d\alpha_2}{\gamma_2^2 - \alpha_2^2 k^2} \right\}, \quad (11)$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial z} = \frac{-(2V_0 + V')k}{\pi} \operatorname{Re} i \left\{ - \int \frac{\alpha_1 \gamma_1 d\alpha_1}{\gamma_1^2 - \alpha_1^2 k^2} + \int \frac{\gamma_2 \alpha_2 d\alpha_2}{\gamma_2^2 - \alpha_2^2 k^2} \right\},$$

причем

$$\alpha_1 = \frac{tx + iz \sqrt{t^2 - \frac{x^2 + z^2}{a^2}}}{x^2 + z^2}, \quad \alpha_2 = \frac{tx + iz \sqrt{t^2 - \frac{x^2 + z^2}{b^2}}}{x^2 + z^2}. \quad (12)$$

Вычисляя интегралы, вводя полярные координаты  $x = r \cos \varphi$ ,  $z = r \sin \varphi$ , отделяя действительные части в (11) и записывая ветвь арктангенса, для которой  $\operatorname{arctg}(-x) = \pi - \operatorname{arctg} x$ , можно получить решение внутри точечных продольных и поперечных волн при  $x < 0$  в виде

$$\frac{\pi}{(2V_0 + V')k} \frac{\partial u_x}{\partial x} = \chi_1 - \chi_2 - \chi_3 - \chi_4, \quad (13)$$

$$\frac{\pi}{(2V_0 + V')k} \frac{\partial u_z}{\partial z} = \chi_1 + \chi_2 - \chi_3 k^2 + \chi_4,$$

где

$$\chi_1 = \frac{1}{1+k^2} \frac{x\sqrt{t^2 - \frac{r^2}{a^2}}}{r^2}, \quad \chi_2 = \frac{1}{1+k^2} \frac{x\sqrt{t^2 - \frac{r^2}{b^2}}}{r^2},$$

$$\chi_3 = \frac{1}{2a(1+k^2)^{\frac{3}{2}}} \left( \operatorname{arctg} \frac{x\sqrt{t^2 - \frac{r^2}{a^2}}}{tz - \frac{r^2 \cos \varphi_0}{a}} + \operatorname{arctg} \frac{-x\sqrt{t^2 - \frac{r^2}{a^2}}}{tz + \frac{r^2 \cos \varphi_0}{a}} \right),$$

$$\chi_4 = \frac{1}{2b(1+k^2)^{\frac{3}{2}}} \left( \operatorname{arctg} \frac{x\sqrt{t^2 - \frac{r^2}{b^2}}}{tz - \frac{r^2 \cos \varphi_0}{b}} + \operatorname{arctg} \frac{-x\sqrt{t^2 - \frac{r^2}{b^2}}}{tz + \frac{r^2 \cos \varphi_0}{b}} \right),$$
(14)

где  $\cos \varphi_0 = [k/(\sqrt{1+k^2})]$ .

Очевидно, что вне поперечных волн следует полагать  $\chi_2 = 0$ ,  $\chi_4 = 0$ . Постоянные интегрирования в (13) выбраны так, чтобы на волнах  $r = at$ ,  $r = bt$  при  $\sin \varphi < \cos \varphi_0$  получить нулевое решение, а при  $\sin \varphi > \cos \varphi_0$ , поскольку выбрана ветвь  $\operatorname{arctg}(-0) = \pi$ , получить из (13) решение (10), что завершает аналитическое решение задачи.

Институт механики НАН Армении

Горисский филиал Государственного инженерного университета Армении

### Литература

1. *Мартirosян А.Н.* Решение некоторых нестационарных граничных задач теории упругости. Канд. дис. Ереван. 1977. 150 с.

**ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ա.Գ.Բագրուն, Յու.Ս.Սաֆարյան**

**Երկնիստ առաձգական անկյունների բախման հարթ խնդիրը**

Դիտարկվում է բախման պահին հավասար երկնիստ անկյուններով սահմանափակված առաձգական մարմինների բախման խնդիրը: Խնդիրը լուծվում է ինտեգրալ ձևափոխությունների մեթոդով: Լուծումը ստացվում է պարզ անալիտիկ տեսքով:

УДК 539.3

С. А. Мелкумян, В. С. Тоноян

### Контактная задача термоупругости для ортотропной полуплоскости с вертикальным конечным разрезом

(Представлено академиком Б.Л. Абрамяном 21/V 2003)

Рассматривается плоская контактная задача термоупругости для ортотропной полуплоскости ( $z \geq 0, |x| < \infty$ ) с вертикальным конечным разрезом ( $0 < z < b$ ) начиная с горизонтальной границы ( $z = 0$ ). Главное направление ортотропии полуплоскости совпадает с направлением координатной оси.

На конечном участке границы ( $|x| \leq a$ ) полуплоскости приложен горячий жесткий штамп с основанием произвольной гладкой формы, расположенный симметрично относительно оси разреза ( $x = 0$ ). Предполагается, что трение между штампом и полуплоскостью отсутствует, а граница вне штампа и разрез теплоизолированы. Также для простоты принимается, что граница полуплоскости вне штампа свободна от внешних напряжений, а в разрезе действует только нормальное давление.

Рассматривается плоское деформированное состояние ( $U_y = 0, [(\partial \bar{U}) / (\partial y)] = 0, [(\partial T) / (\partial y)] = 0$ ), и задача решается методом Фурье, когда в качестве основных неизвестных принимаются перемещения ( $U_x(x,z), U_z(x,z)$ ) и температурная функция ( $T(x,z)$ ). Решение задачи ищется в виде суммы интегралов Фурье. Поиск произвольных функций интегрирования в конечном счете сводится к решению системы из трех "парных" интегральных уравнений. Эта система, в свою очередь, сводится к интегральному уравнению Фредгольма второго рода. Показано, что решение последнего уравнения может быть найдено методом последовательных приближений. Выведены все расчетные формулы для определения напряженно-деформированного состояния в любой точке полуплоскости.

В частных случаях, когда длина разреза стремится к нулю или к бесконечности, показано, что получается контактная задача плоской теории термоупругости для полуплоскости без разреза и для четвертьплоскости (квадранта) соответственно.

Так как задача симметрична относительно оси разреза ( $x = 0$ ), то можно ограничиться рассмотрением только четверти плоскости ( $0 < x < \infty, 0 < z < \infty$ ), соответствующей граничным условиям:

$$q_x(0,z) = 0, (0 < z < \infty), \quad (1)$$

$$T(x,0) = f_1(x), (0 < x \leq a), q_z(x,0) = 0, (a < x < \infty), \quad (2)$$

$$\tau_{zx}(x,0) = 0, (0 < x < \infty), \tau_{xz}(0,z) = 0, (0 < z < \infty), \quad (3)$$

$$u_z(x,0) = f_2(x), (0 < x \leq a), \sigma_z(x,0) = 0, (a < x < \infty), \quad (4)$$

$$\sigma_x(0,z) = f_3(z), (0 < z < b), u_x(0,z) = 0, (b \leq z < \infty). \quad (5)$$

Решение задачи ищем в виде сумм интегралов Фурье:

$$\begin{aligned} u_x(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha \overline{U}(\alpha,z) \sin \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta \overline{U}^*(\beta,x) \cos \beta z d\beta, \\ u_z(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha \overline{W}(\alpha,z) \cos \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta \overline{W}^*(\beta,x) \sin \beta z d\beta, \\ T(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha^2 \overline{T}(\alpha,z) \cos \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta^2 \overline{T}^*(\beta,x) \cos \beta z d\beta, \end{aligned} \quad (6)$$

(0 < x < \infty, 0 < z < \infty).

Затухающие в бесконечности неизвестные плотности интегралов Фурье (6) представляются в виде:

$$\begin{aligned} \overline{U}(\alpha, z) &= \frac{1}{c_{11}} \sum_{j=1}^2 \Delta_1(t_j) A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z} - \frac{1}{c_{11}} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z}, \\ \overline{U}^*(\beta, x) &= \frac{1}{c_{11}} \sum_{k=1}^2 \frac{\Delta_1(t_k)}{t_k^2} B_k(\beta) e^{-[(\beta)/(t_k)]x} - \frac{\lambda}{c_{11}} D(\beta) e^{-\lambda \beta x}, \\ \overline{W}(\alpha, z) &= \frac{1}{c_{44}} \sum_{j=1}^2 \Delta_2(t_j) A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z} - \frac{1}{\lambda} \frac{k^*}{c_{11}} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z}, \\ \overline{W}^*(\beta, x) &= \frac{1}{c_{11}} \sum_{k=1}^2 \Delta_2(t_k) B_k(\beta) e^{-[(\beta)/(t_k)]x} - \frac{k^*}{c_{44}} D(\beta) e^{-\lambda \beta x}, \\ \overline{T}(\alpha, z) &= \frac{1}{\lambda^2} \frac{d}{T_0 \gamma_{11}} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z}, \quad \overline{T}^*(\beta, x) = -\frac{d}{\gamma_{11} T_0} D(\beta) e^{-\lambda \beta x}. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь  $A_j(\alpha)$ ,  $B_k(\beta)$ ,  $C(\alpha)$ ,  $D(\beta)$  - неизвестные функции интегрирования, которые можно определить из условий (1)-(5), а плотности и коэффициенты, входящие в (7) определяются по формулам:

$$\Delta_1(t_k) = \begin{pmatrix} c_{13} \\ \frac{\quad}{c_{44}} + 1 \end{pmatrix} t_k, \quad \Delta_2(t_k) = 1 - \frac{c_{44}}{c_{11}} t_k^2,$$

$$k^* = \frac{\frac{\lambda_{33}}{\lambda_{11}} - \frac{c_{44}}{c_{11}} - \frac{\gamma_{33}}{\gamma_{11}} \left( \frac{\lambda_{33}}{\lambda_{11}} - \frac{c_{44}}{c_{11}} \right)}{\frac{c_{33}}{c_{44}} - \frac{\lambda_{33}}{\lambda_{11}} - \frac{\gamma_{33}}{\gamma_{11}} \cdot \frac{c_{13} + c_{44}}{c_{44}}}, \quad (8)$$

$$d = \frac{\frac{\lambda_{33}}{\lambda_{11}} \left( 1 + \frac{c_{13} + c_{44}}{c_{44}} \cdot \frac{c_{13} + c_{44}}{c_{11}} \right) - \frac{c_{44}}{c_{11}}}{T_0 \left( \frac{c_{33}}{c_{44}} - \frac{\lambda_{33}}{\lambda_{11}} - \frac{\gamma_{33}}{\gamma_{11}} \cdot \frac{c_{13} + c_{44}}{c_{44}} \right)}.$$

Из решения биквадратного уравнения

$$\frac{c_{33}}{c_{11}} t^4 + \begin{pmatrix} \frac{c_{13}c_{13}}{c_{44}c_{11}} + 2 \frac{c_{13}}{c_{11}} - \frac{c_{33}}{c_{44}} \end{pmatrix} t^2 + 1 = 0 \quad (9)$$

определяется  $t_k$  ( $\text{Re } t_k > 0$ ).

В формулах (6)-(9) имеем:  $c_{11}$ ,  $c_{13}$ ,  $c_{33}$  и  $c_{44}$  - модули упругости материала,  $\lambda^2 = [(\lambda_{33})/(\lambda_{11})]$  - отношение коэффициентов теплопроводности тела в направлении оси  $Oz$  и перпендикулярном к ней,  $\gamma_{11}$ ,  $\gamma_{33}$  - температурные коэффициенты механических напряжений, соответственно по направлению оси  $Ox$  и  $Oz$ ,  $T = \tilde{T} - T_0$  - относительная, абсолютная и начальная температура.

Используя основные соотношения теории термоупругости [1,2] для исследуемой среды и (6), (7), можно все компоненты термоупругого поля выразить через  $A_j(\alpha)$ ,  $B_k(\beta)$ ,  $C(\alpha)$  и  $D(\beta)$ :

$$\begin{aligned}
\sigma_x(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha^2 \bar{\sigma}_x(\alpha,z) \cos \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta^2 \bar{\sigma}_z^*(\beta,x) \cos \beta z d\beta, \\
\sigma_z(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha^2 \bar{\sigma}_z(\alpha,z) \cos \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta^2 \bar{\sigma}_x^*(\beta,x) \cos \beta z d\beta, \\
\tau_{zx}(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha^2 \bar{\tau}_{zx}(\alpha,z) \sin \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta^2 \bar{\tau}_{zx}^*(\beta,x) \sin \beta z d\beta, \\
q_x(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha^3 \bar{q}_x(\alpha,z) \sin \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta^3 \bar{q}_x^*(\beta,x) \cos \beta z d\beta, \\
q_z(x,z) &= \int_0^{\infty} \alpha^3 \bar{q}_z(\alpha,z) \cos \alpha x d\alpha + \int_0^{\infty} \beta^3 \bar{q}_z^*(\beta,x) \sin \beta z d\beta.
\end{aligned} \tag{10}$$

Здесь:

$$\begin{aligned}
\bar{\sigma}_x(\alpha,z) &= \sum_{j=1}^2 \left[ \Delta_1(t_j) - \frac{c_{13}}{c_{44}} \Delta_2(t_j) t_j \right] A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z} + \sigma_x^{(0)} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z}, \\
\bar{\sigma}_x^*(\beta,x) &= \sum_{k=1}^2 \left[ -\frac{\Delta_1(t_k)}{t_k^3} + \frac{c_{13}}{c_{44}} \Delta_2(t_k) \right] B_k(\beta) e^{-[(\beta)/(t_k)]x} - \sigma_x^{*(0)} D(\beta) e^{-\lambda \beta x}, \\
\bar{\sigma}_z(\alpha,z) &= \sum_{j=1}^2 \left[ \frac{c_{13}}{c_{11}} \Delta_1(t_j) - \frac{c_{33}}{c_{44}} \Delta_2(t_j) t_j \right] A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z} + \sigma_z^{(0)} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{\sigma}_z^*(\beta, x) &= \sum_{k=1}^2 \left[ \begin{array}{c} c_{13} \Delta_1(t_j) \quad c_{33} \\ -\frac{\quad}{c_{11}} \cdot \frac{\quad}{t_k^3} + \frac{\quad}{c_{44}} \Delta_2(t_j) \end{array} \right] B_k(\beta) e^{-[(\beta)/(t_k)]x} - \sigma_z^{*(0)} C(\beta) e^{-\lambda\beta x}, \\
\bar{\tau}_{zx}(\alpha, z) &= \sum_{j=1}^2 \left[ \begin{array}{c} c_{44} \\ -\Delta_1(t_j)t_j + \Delta_2(t_j) \\ c_{11} \end{array} \right] A_j(\alpha) e^{-\alpha t_j z} + \tau_{zx}^{(0)} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z}, \\
\bar{\tau}_{zx}^*(\beta, x) &= - \sum_{k=1}^2 \left[ \begin{array}{c} c_{44} \Delta_1(t_j) \quad \Delta_2(t_k) \\ -\frac{\quad}{c_{11}} \cdot \frac{\quad}{t_k^2} - \frac{\quad}{t_k} \end{array} \right] B_k(\beta) e^{-[(\beta)/(t_k)]x} + \tau_{zx}^{*(0)} D(\beta) e^{-\lambda\beta x}, \\
\bar{q}_x(\alpha, z) &= q_x^{(0)} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z}, \quad \bar{q}_x^*(\beta, x) = q_x^{*(0)} D(\alpha) e^{-\lambda\beta x}, \\
\bar{q}_z(\alpha, z) &= q_z^{(0)} C(\alpha) e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z}, \quad \bar{q}_z^*(\beta, x) = q_z^{*(0)} D(\alpha) e^{-\lambda\beta x},
\end{aligned} \tag{11}$$

где

$$\begin{aligned}
\sigma_x^{(0)} &= \frac{c_{13}}{c_{44}} \cdot \frac{k^*}{\lambda^2} - \frac{d}{T_0 \lambda^2} - 1, \quad \sigma_x^{*(0)} = \lambda^2 - \frac{c_{13}}{c_{44}} k^* + \frac{d}{T_0}, \\
\sigma_z^{(0)} &= \frac{c_{33}}{c_{44}} \cdot \frac{k^*}{\lambda^2} - \frac{c_{13}}{c_{11}} - \frac{d}{T_0 \lambda^2}, \quad \sigma_z^{*(0)} = \frac{c_{13}}{c_{11}} \lambda^2 - \frac{c_{33}}{c_{44}} k^* + \frac{d}{T_0} \cdot \frac{\gamma_{33}}{\gamma_{11}}, \\
\tau_{zx}^{(0)} &= \left( \begin{array}{c} c_{44} \\ \frac{\quad}{c_{11}} + k^* \end{array} \right) \frac{1}{\lambda}, \quad \tau_{zx}^{*(0)} = \left( \begin{array}{c} c_{44} \\ \frac{\quad}{c_{11}} + k^* \end{array} \right) \lambda, \\
q_x^{(0)} &= \frac{d}{\gamma_{11}} \cdot \frac{\lambda_{11}}{T_0 \lambda^2}, \quad q_x^{*(0)} = - \frac{d}{\gamma_{11}} \cdot \frac{\lambda_{11} \lambda}{T_0}, \\
q_z^{(0)} &= \frac{d}{\gamma_{11}} \cdot \frac{\lambda_{33}}{T_0 \lambda^3}, \quad q_z^{*(0)} = - \frac{d}{T_0} \cdot \frac{\lambda_{33}}{\gamma_{11}}.
\end{aligned} \tag{12}$$

Удовлетворяя граничным условиям (1) и (3), получаем:

$$D(\beta) = 0, \quad (13)$$

$$A_j(\alpha) = a_j A_j(\alpha) + b_j C(\alpha), \quad (14)$$

$$B_k(\beta) = b_k^* B_1(\beta), \quad (15)$$

где

$$a_1 = 1, b_1 = 0, a_2 = -\frac{a_{11}}{a_{12}}, b_2 = \frac{\tau_{zx}^{(0)}}{a_{12}}, b_1^* = 1, b_2^* = -\frac{b_{11}}{b_{12}}, \quad (16)$$

$$a_{1j} = \frac{c_{44}}{c_{11}} \Delta_1(t_j) t_j + \Delta_2(t_j), j = 1, 2, \quad b_{1k} = \frac{c_{44}}{c_{11}} \cdot \frac{\Delta_1(t_k)}{t_k^2} - \frac{\Delta_2(t_k)}{t_k}, k = 1, 2.$$

Имея в виду (13), (14), (15) и удовлетворяя смешанным граничным условиям (2), (4), (5), решение задачи сведено к решению следующих систем из трех парных интегральных уравнений [3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^{\infty} \alpha^2 C(\alpha) \cos \alpha x d\alpha = \frac{\lambda^2 T_0 \gamma_{11}}{d} f_1(x) \quad (0 < x \leq a), \\ \int_0^{\infty} \alpha^3 C(\alpha) \cos \alpha x d\alpha = 0 \quad (0 < x < \infty) \end{array} \right. \quad (17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^{\infty} \alpha A_1(\alpha) \cos \alpha x d\alpha = f_2^*(x) \quad (0 < x \leq a), \\ \int_0^{\infty} \alpha^2 a_1(\alpha) \cos \alpha x d\alpha = f_4(x) - \frac{1}{m_{21}} \sum_{k=1}^2 b_{1k}^* \int_0^{\infty} \beta^2 e^{-[(\beta)/(t_k)]x} B_1(\beta) d\beta \quad (a < x < \infty), \end{array} \right. \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^{\infty} \beta^2 B_1(\beta) \cos \beta z d\beta = f_3^*(z) - \frac{1}{n_{11}} \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \int_0^{\infty} \alpha^2 e^{-\alpha t_j z} A_1(\alpha) d\alpha \quad (0 < z < b) \\ \int_0^{\infty} \beta B_1(\beta) \cos \beta z d\beta = 0 \quad (b \leq z < \infty), \end{array} \right. \quad (19)$$

где

$$f_2^*(x) = \frac{1}{m_{11}} f_2(x) - \frac{m_{12}}{m_{11}} \int_0^{\infty} \alpha C(\alpha) \cos \alpha x d\alpha,$$

$$f_4(x) = -\frac{m_{22}}{m_{21}} \int_0^{\infty} \alpha^2 C(\alpha) \cos \alpha x d\alpha,$$

$$f_3^*(z) = \frac{1}{n_{11}} f_3(z) - \frac{1}{n_{11}} \sum_{j=1}^2 a_{2j} b_j \int_0^{\infty} \alpha^2 e^{-\alpha t_j z} C(\alpha) d\alpha - \frac{1}{n_{11}} \sigma_x^{(0)} \int_0^{\infty} \alpha^2 e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z} C(\alpha) d\alpha,$$

(20)

$$m_{11} = \frac{1}{c_{44}} \sum_{j=1}^2 \Delta_2(t_j) a_j, \quad m_{12} = \frac{1}{c_{44}} \left[ \sum_{j=1}^2 \Delta_2(t_j) b_j - \frac{k^*}{\lambda} \right],$$

$$m_{21} = \sum_{j=1}^2 \left[ \frac{c_{13}}{c_{11}} \Delta_1(t_j) - \frac{c_{33}}{c_{44}} \Delta_2(t_j) t_j \right] a_j, \quad m_{22} = \sum_{j=1}^2 \left[ \frac{c_{13}}{c_{11}} \Delta_1(t_j) - \frac{c_{33}}{c_{44}} \Delta_2(t_j) t_j \right] b_j + \sigma_z^{(0)},$$

$$n_{11} = \sum_{k=1}^2 \left[ -\frac{\Delta_1(t_k)}{t_k^3} + \frac{c_{13}}{c_{44}} \Delta_2(t_k) \right] b_k^*, \quad a_{2j} = \Delta_1(t_j) - \frac{c_{13}}{c_{44}} \Delta_2(t_j) t_j,$$

решения, подобные (17), (18), (19) - парные интегральные уравнения рассматривались в работах [4-7] и др.

Решая эти уравнения методом преобразующих операторов, получаем:

$$C(\alpha) = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha^2} \int_0^a t \varphi_1(t) J_1(\alpha t) dt \quad (21)$$

$$A_1(\alpha) = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha} \int_0^a \eta \varphi_2(\eta) J_1(\alpha \eta) d\eta - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha} \int_a^\infty \varphi_4(\eta) J_1(\alpha \eta) d\eta +$$

$$+\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{m_{21}} \sum_{k=1}^2 b_{1k}^* \int_0^\infty \beta^2 B_1(\beta) d\beta \int_a^\infty \eta K_1 \left( \frac{\beta}{t_k} \eta \right) J_1(\alpha \eta) d\eta,$$
(22)

$$B_1(\beta) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\beta} \int_0^\beta r \varphi_3(r) J_0(\beta r) dr - \frac{1}{n_{11}} \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \int_0^b r [I_0(\alpha t_j r) - L_0(\alpha t_j r)] J_0(\beta r) dr,$$
(23)

где

$$\varphi_1(t) = \frac{\lambda^2 \Gamma_0 \gamma_{11}}{d} \cdot \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{f_1(x)}{\sqrt{t^2 - x^2}} dx, \quad \varphi_2(\eta) = \frac{d}{d\eta} \int_0^\eta \frac{f_2^*(x)}{\sqrt{\eta^2 - x^2}} dx,$$

$$\varphi_4(\eta) = \int_\eta^\infty \frac{x f_4(x)}{\sqrt{x^2 - \eta^2}} dx, \quad \varphi_3(r) = \int_0^r \frac{f_3^*(z)}{\sqrt{r^2 - z^2}} dz,$$

$J_i(x)$  - функция Бесселя первого рода от действительного аргумента,  $K_i(x)$  - функция Макдональда,  $I_i(x)$  - функция Бесселя первого рода от мнимого аргумента,  $L_i(x)$  - функция Струве от мнимого аргумента.

Исключая  $A_1(\alpha)$  из (22) и (23), для определения  $B(\beta)$  получаем следующее интегральное уравнение Фредгольма второго рода:

$$B(\beta) = \Omega(\beta) + \int_0^\infty B(\gamma) K(\gamma, \beta) d\gamma,$$
(24)

где

$$B(\beta) = \beta B_1(\beta),$$
(25)

$$\Omega(\beta) = \frac{2}{\pi} \int_0^b r \varphi_3(r) J_0(\beta r) dr + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{n_{11}} \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \left[ \int_0^a \eta \varphi_2(\eta) d\eta + \right.$$
(26)

$$\begin{aligned}
& + \int_a^\infty \varphi_4(\eta) d\eta \int_0^\infty \alpha J_1(\alpha \eta) d\alpha \int_0^b r J_0(\beta r) \left[ I_0(\alpha t, r) - L_0(\alpha t, r) \right] dr, \\
K(\gamma, \beta) = & \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{n_{11}} \cdot \frac{\gamma}{m_{21}} \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \sum_{k=1}^2 b_{1k}^* \int_a^\infty \eta K_1 \left( \frac{\gamma}{t_k} \eta \right) d\eta \cdot \\
& \cdot \int_0^\infty \alpha J_1(\alpha \eta) d\alpha \int_0^b r J_0(\beta r) \left[ L_0(\alpha t, r) - I_0(\alpha t, r) \right] dr.
\end{aligned} \tag{27}$$

Исходя из результатов [4], доказана разрешимость уравнения (24). Решая (24) методом последовательных приближений, определяем  $V(\beta) = \beta V_1(\beta)$ , далее по формулам (22), (15) и (14) определяем все искомые функции.

Используя формулы (12), (11), (10), (8), (7) и (6), можно определить все компоненты термоупругого поля в любой точке полуплоскости.

В частности, температурный поток и напряжения под штампом, а также напряжения вне разреза определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
q_z(x, 0) = & \frac{2}{\pi} q_z^{(0)} \frac{a\varphi_1(a)}{\sqrt{a^2 - x^2}} - \frac{2}{\pi} q_z^{(0)} \int_x^a \frac{\varphi_1(t) - t\varphi_1'(t)}{\sqrt{t^2 - x^2}} dt \quad (0 < x < a), \\
\sigma_z(x, 0) = & - \frac{2}{\pi} \frac{m_{22} a \varphi_1(a) + m_{21} [a\varphi_1(a) - \varphi_4(a) + F(a)]}{\sqrt{a^2 - x^2}} - \\
& - \frac{2}{\pi} \int_x^a \frac{m_{21} [\varphi_2(\eta) + \eta\varphi_2'(\eta)] + m_{22} [\varphi_1(\eta) + \eta\varphi_1'(\eta)]}{\sqrt{\eta^2 - x^2}} d\eta + \\
& + \frac{2}{\pi} m_{21} \int_a^\infty \frac{\varphi_4'(\eta) - F'(\eta)}{\sqrt{\eta^2 - x^2}} d\eta + \sum_{k=1}^2 b_k^* \int_0^{\infty} \beta^2 e^{-\beta t_k^{-1} x} B_1(\beta) d\beta \quad (0 < x < a),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_x(0,z) = & -\frac{2}{\pi} n_{11} z \frac{\varphi_3(b) + F_1(b)}{\sqrt{z^2 - b^2}} + \\
& + \frac{2}{\pi} n_{11} z \int_0^b \frac{\varphi'_3(r) + F'_1(r)}{\sqrt{z^2 - r^2}} dr + \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \int_0^\infty \alpha^2 e^{-\alpha t_j z} A_1(\alpha) d\alpha + \\
& + \sum_{j=1}^2 a_{2j} b_j \int_0^\infty \alpha^2 e^{-\alpha t_j z} C(\alpha) d\alpha + \sigma_x^{(0)} \int_0^\infty \alpha^2 e^{-[(\alpha)/(\lambda)]z} C(\alpha) d\alpha \quad (b < z < \infty),
\end{aligned} \tag{28}$$

где

$$\begin{aligned}
F(\eta) = & \frac{\eta}{m_{21}} \sum_{k=1}^2 b_{1k}^* \int_0^\infty \beta^2 K_1 \left( \begin{matrix} \beta \\ -\eta \\ t_k \end{matrix} \right) B_1(\beta) d\beta, \\
F_1(r) = & -\frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{n_{11}} \sum_{j=1}^2 a_{2j} a_j \int_0^\infty \alpha^2 \left[ I_0(\alpha t_j r) - L_0(\alpha t_j r) \right] A_1(\alpha) d\alpha.
\end{aligned} \tag{29}$$

Институт механики НАН РА  
ЕрГУАС

### Литература

1. *Новацкий В.* Вопросы термоупругости. М. 1962. 364 с.
2. *Уздалев А.И.* Некоторые задачи термоупругости анизотропного тела. Изд. Сарат. ун-та. 1967. 167 с.
3. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М. Наука. 1971. 1108 с.
4. *Тоноян В.С., Мелкумян С.А.* - ДАН Арм. 1991. Т. 92. N 3. С. 133-137.
5. *Мелкумян С.А.* - ДАН АрмССР. 1972. N 2. С. 82-93.
6. *Тоноян В.С., Мелкумян С.А.* - ДАН АрмССР. 1970. Т. 1. N 3. С. 144-149.
7. *Уфлянд Я.С.* Метод парных уравнений в задачах математической физики. Л. Наука. 1977. 220 с.

## Ս.Ա. Մելքումյան, Վ.Ս. Տոնոյան

### Ուղղահայաց վերջավոր ճեղքով օրթոտրոպ կլիսահարթության համար ջերմառաձգականության կոնտակտային խնդիր

Դիտարկված է եզր դուրս եկող ուղղաձիգ ճեղքով թուլացված օրթոտրոպ կլիսահարթության ջերմառաձգականության տեսության կոնտակտային խնդիրը, երբ կլիսահարթությանը ճնշում է ճեղքի առանցքին սիմետրիկ դասավորված, ողորկ հիմքով, տաքացված կոշտ դրոշմը: Ընդունված է, որ դրոշմից դուրս ջերմամեկուսացված հորիզոնական եզրում բացակայում են արտաքին մեխանիկական լարումները և ուղղաձիգ ջերմամեկուսացված ճեղքում ազդում են միայն արտաքին նորմալ լարումներ: Խնդրի լուծումը փնտրված է Ֆուրյեի ինտեգրալների գումարի տեսքով: Ինտեգրման անհայտ ֆունկցիաների որոշումը նախ բերվել է երեք գույգ ինտեգրալ հավասարումներից բաղկացած համակարգի լուծման, իսկ այնուհետև Ֆրեդհոլմի երկրորդ սեռի ինտեգրալ հավասարման լուծման: Ցույց է տրված այդ հավասարման լուծելիությունը:

УДК 621.313.322-192

Г.Г. Шемян, З.А. Беллуян

### Выявление характерных периодов работы синхронных генераторов мощностью до 100 кВт

(Представлено академиком В.В. Алексеевским 30/X 2003)

Синхронные генераторы (СГ) общепромышленного назначения мощностью до 100 кВт с частотой вращения от 1000 до 3000 об/мин являются массовой продукцией электромашиностроения и предназначены для выработки электрической энергии переменного тока в различных отраслях народного хозяйства. Переход на рыночную экономику повышает требования конкурентоспособности, что в значительной степени зависит от надежности изделий.

Целью настоящей работы является установление характерных периодов работы СГ путем анализа эксплуатационной надежности.

СГ в процессе эксплуатации проходят характерные периоды работы: период приработки ( $t_{пр}$ ), период нормальной работы ( $t_{нр}$ ) и период старения ( $t_{ст}$ ).

Надежность СГ в общем случае определяется как произведение надежностей в различные периоды работы [1]

$$P_r(t) = P(t_{пр} + t_{нр} + t_{ст}) = P(t_{пр}) \cdot P(t_{нр}) \cdot P(t_{ст}), \quad (1)$$

где  $P(t_{пр})$ ,  $P(t_{нр})$  и  $P(t_{ст})$  - надежность за время приработки  $t_{пр}$ , нормальной эксплуатации  $t_{нр}$  и старения  $t_{ст}$ .

Период приработки характеризуется высокой интенсивностью  $\lambda(t)$  отказов, что связано с наличием скрытых дефектов. Анализ и изучение результатов эксплуатации 8000 единиц СГ серий ЕС, ЕСС, ЕСС5, ОС и ОС5, проработавших суммарно  $43.7 \cdot 10^{11}$  часов в различных климатических зонах и отраслях (34% - в сельском хозяйстве, 20% - на строительстве, 12% - на геологических предприятиях, 10% - на транспорте и 24% - для аварийных нужд), показали, что средний период приработки этих машин составляет 3000 ч, а распределение отказов в этот период подчиняется вейбулловскому распределению [2,3].

В период нормальной эксплуатации износные отказы не проявляются, и надежность генераторов характеризуется внезапными отказами. Как показал опыт эксплуатации генераторов, отказы носят случайный характер, зависят от многих обстоятельств и потому имеют постоянную (или почти постоянную) интенсивность отказов  $\lambda$ , которая не зависит от возраста генераторов  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ .

На основании анализа данных [2,3] среднее значение интенсивности отказов в период нормальной работы для различной серии генераторов составляет  $\lambda = (0.12 - 0.16) \cdot 10^{-3}$  1/ч за

время  $t = 40000$  ч эксплуатации.

Надежность генераторов в этот период определяется по формуле

$$P(t_{\text{нр}}) = \exp \left[ - \int_0^{t_{\text{нр}}} \lambda(\tau) d\tau \right] = e^{-\lambda \cdot t_{\text{нр}}}. \quad (2)$$

Таким образом, она подчиняется экспоненциальному закону распределения.

В период старения наряду с необратимыми физико-химическими процессами происходит интенсивный износ трущихся элементов, что приводит к повышению вибрации и нарушению функционирования генератора, т.е. к повышению интенсивности отказов. Естественно, что в этот период распределение отказов подчиняется нормальному закону.

Надежность генераторов при нормальном законе распределения отказов определяется выражением

$$P(t_{\text{ст}}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{t_{\text{ст}}}^{\infty} \exp[-(t - t_{\text{ст}})^2 / 2\sigma^2] dt, \quad (3)$$

где  $t_{\text{ст}} = \sum t_i / N_0$ ;  $\sigma = \sqrt{\sum (t_i - t_{\text{ст}})^2 / (N_0 - 1)}$ ;

$t_i$  - наработка на отказ  $i$ -того генератора;

$N_0$  - общее количество исследуемых генераторов.

Длительность указанных периодов работы для различных типов генераторов различна.

В некоторых сериях генераторов в силу специфики их изготовления, эксплуатации и старения отсутствует период приработки [4,5]. В самом деле, если при изготовлении и сборке узлов и элементов проводить строгий и тщательный контроль в соответствии с требованиями технической документации, то практически период приработки резко сократится.

Как показала эксплуатация СГ и их основных узлов - обмоток статора и ротора, подшипникового узла и блока регулирования напряжения, их снимают с эксплуатации раньше, чем наступает их заметное старение, и потому практически не происходит интенсивного износа и изменения физико-механических свойств элементов, следовательно, у этих узлов период старения отсутствует.

Учитывая вышеизложенное и результаты анализа эксплуатационных данных, выражение (1) примет вид

$$P_r(t) = e^{-\alpha t_{\text{нр}}^\beta} \cdot \exp(-0.14 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{нр}}) = \exp - (\alpha^{-1} t_{\text{нр}}^\beta + 14 t_{\text{нр}} 10^{-5}), \quad (4)$$

где параметры распределения Вейбулла  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно меняются в пределах [4]

$$\alpha = 2.68 \div 1.66, \quad \beta = 0.58 \div 0.24.$$

Таким образом, промежуток времени (0-3000 ч) можно рассматривать как время, в течение которого скрытые дефекты выявляются и обязательно устраняются, а для периода работы 3000-40000 ч параметр распределения Вейбулла  $\beta = 1$  и интенсивность отказов генераторов остается почти постоянной.

Государственный инженерный университет Армении

### Литература

1. *Алексеевский В.В., Назарян А.А., Беллуян З.А.* - Труды ВНИИКЭ. Ереван. 1970. Т.3. С. 55-72.
2. *Беллуян З.А.* - Информационные технологии и управление. N 4-1. Энциклопедия Армения. Ереван. 2002. С. 106-111.
3. *Беллуян З.А.* - Труды ВНИИКЭ. Ереван. 1970. Т.9. С. 64-74.
4. *Назарян А.А., Беллуян З.А.* В сб: Стандартизация и качество продукции. Ереван. 1970. С. 157-161.
5. Отраслевой стандарт ОСТ 16 0.800.737-80. Генераторы синхронные с высотой оси вращения от 63 до 355 мм мощностью до 100 кВт (отв. исполнители Назарян А.А., Беллуян З.А., Прилуцкая К.А.). М. 1980. 63 с.

**Հ.Գ.Շեկյան, Զ.Ա.Բելլույան**

**Մինչև 100 կՎտ հզորության սինխրոն գեներատորների աշխատանքի բնորոշ  
ժամանակահատվածների հայտաձուլը**

Դիտարկված է սինխրոն գեներատորների հուսալիությունը աշխատանքի բոլոր ժամանակահատվածներում՝ զեղման, նորմալ շահագործման և ծերացման:

Ցույց է տրված, որ սինխրոն գեներատորների հուսալիությունը զեղման հատվածում ենթարկվում է Վեյբուլի բաշխմանը, նորմալ հատվածում՝ էքսպոնենցիալ, իսկ ծերացման հատվածում՝ նորմալ (Գաուսի) բաշխմանը:

Վերջին ժամանակահատվածը՝ ծերացումը չի ազդում գեներատորի հուսալիության վրա, քանի որ ակնթարթային մերժերը տեղի են ունենում մինչև ծերացման սկիզբը:

УДК 616.988-092.18-06:616-018.1

Z. A. Karalyan

## Evolution of HEp-2 cells under the influence of a chronic infection of Oral Polio Vaccine

(Submitted by academician K.G. Karageuzyan 13/VI 2003)

Chronically infected cell cultures are a long-term associations between a host cells and viruses, characterized by long coexistence of a virus and cell. The preservation of the viability of infected cells during persistence is caused by the interaction of various viral and cellular factors. During chronic viral infection a virus or cell or both are changed. The evolution occurs through selection of more resistant population of cells or less cytopathogenic virus [1]. Poliovirus can persistently infect some human cell lines in vitro. Arising in vitro conditions of a chronic virus infection by picornaviruses, and in particular by the poliomyelitis virus, is caused by the appearance of resistant cell clones [2]. In such cells a virus is replicated in lower titers compared to control cell without causing destructive changes. The point of interest is the study of proliferative potential changes in cancer cell cultures and degree of cells differentiation under the influence of chronic virus infection.

Such parameters as the ploidy, size and the quantity of nuclei and nucleoli are a valuable diagnostic attributes of the transformed cells proliferation speed. [3,4,5].

**Materials and methods. Cells.** In work we used the transformed continuous cell culture of a human larynx cancer - HEp-2. Cells were cultivated in Eagle medium with glutamine and 10% bovine serum. A monolayer of the intact cells was used in 48 hours after the passage. Cells were resowed in dose  $1 \times 10^5$  cell/ml. The cell lines were received from laboratory U 322 INSERM "Retrovirus et maladies associeees" Marseilles. The choice of HEp-2 as a model is motivated by the facts from publications on susceptibility of these cells to the Sabin poliovirus strains.

**Virus.** In work was used the standard trivalent Oral Polio Vaccine (OPV) (Polio Sabin<sup>TM</sup> [oral] Poliomyelitis vaccine, live attenuated SB BIOLOGICALS Rixensart - BELGIUM).

**Chronic virus infection** was received by one time infection of 48-hour monolayers of culture HEp-2 by OPV. The multiplicity of infection was 0,000001 TCD<sub>50</sub> per cell. Infected cells were incubated at 36,5-37<sup>0</sup>C. Persistent infection was repeated 3 times and summarized data were presented. Viral titer was calculated by the method of Karber. As a control the parallel conducted passages of noninfected HEp-2 culture were used. Their summarized data are given in the table.

**Quantitation of nuclear DNA.** For the analysis of the received data, the cells preparations of HEp-2 culture were fixed in 96<sup>0</sup> ethyl alcohol for 30 minutes and stained in fresh Shiffs reactive, by Feulgen. The content of DNA in a nucleus and nucleolus was defined by means of computer-equipped microscope-photometer SMP 05 (OPTON). The television method was used on 575 nm waves. In each case 50 - 100 cells were measured.

The DNA content is expressed in a "c" scale in which 1c is half (haploid) the mean nuclear DNA

content of cells from a normal (non-pathological) diploid population in  $G_0/G_1$  cell cycle phase. The DNA image cytometric measurements identified cell nucleuses as aneuploid if they deviate more than 10% from the 2c, 4c, 8c, 16 c, i.e. if they are outside  $2c \pm 0,2$ ,  $4c \pm 0,4$ ,  $8c \pm 0,8$ ,  $16c \pm 1,6$ . The number of all cells in euploid regions of the DNA histogram rescaled by the mean corrective factor of the tissue type under investigation (1.8c - 2.2c; 3.6c - 4.4c; 7.2c - 8.8c; 14.4-17.6) also was calculated [6].

**Statistical analysis.** For comparison of two groups the non-parametric U test analysis according to Mann-Whitney was applied. Also statistical analyses were performed with Student's t test in the SPSS version 8.0-computer software package (SPSS, Inc., Chicago, IL).

**Results and discussion.** After the infection, during 2-3 passages of OPV in cell culture, cytopathogenic action of a virus was found as the degradation of the monolayer. However, destruction of a monolayer was not complete, and after the 3rd passage the cytopathogenic action of the virus was reduced. Received chronically infected culture was characterized by insular and slower growth (approximately twice), lack of capacity to form monolayer and constant allocation of a virus. During 2nd 3rd passages, cytopathogenic action of a virus was found. After the 3rd passage the reduction of cytopathogenic action of a virus was observed. The virus was found from the 1, 2, 3, 5, 9 passages in cell-free medium in titers 1,5-0,5 lg/ml. The highest titer was observed only once at 3-th passage (1,75). During the further passages the virus was found out only in cells after their destruction by freezing in low titres (0,25-0,75). A virus accumulated on sensitive intact cell culture HEp-2. So, low viral titres may be explained as a result of decreased quantity of the sensitive cells in infected culture, and in first passages as results of low multiplicity of infection. Quantity of the cells in all passages after 2 was significantly less in comparison with control.

So in the 1-st passage, we can observe the significant growth in the number of cells with 4 nucleoli, as well as the tendency to increase in the percentage of cells with 5 nucleoli ( $0,72 \pm 0,08$ ). This happened first of all due to significant decrease in the number of cells with 1 nucleolus. From the 2-nd passage the number of 4 nucleolar cells decreases and at the same time the quantity of cells with 1 nucleolus increases. These processes continue and by the 5-th passage the number of cells with 4 nucleoli sharply decreases, cells with 5 nucleoli almost disappear (in following passages they percent vary from  $0,07 \pm 0,01$  up to  $0,16 \pm 0,03$ ). In comparison with the control and the 1-st passage the quantity of cells with 1 nucleoli significantly raised. From 6-th passage the quantity of nonnucleolar cells significantly increases, at practically the same parameters of cells of other types. By the 12-th passage all these parameters almost do not changes. Only the number of nonnucleolar cells in relation to the 6-th passage increases. In this passage in relation to the control a significant decrease in the number of 4 nucleolar cells and increase in the quantity of 1 nucleolar cells is observed. In all the passages significantly increased the number of dead cells, and by 12-th passage the quantity of mitoses significantly decreased. From the 6-th passage appeared significant number in comparison with the control of nonnucleolar cells, the number of which continued to increase, and by the 12-th passage it was significant not only in relation to the control, but also to the 6-th passage. At the same time the number of dead cells significantly increased and the quantity of mitoses decreases (except the 5-th passage). Significant changes in the quantity 2- and 3- nucleolar cells were not fixed in any passage in comparison with the control.

**Table 1**

## Nuclear DNA quantity in HEp-2 cells under the influence of chronic viral infection

Passage	control	1	5	6	9	12
quantity on DNA (in conventional units)	178.88 ±12.39	179.31 ±19.92	165.46 ±18.15	164.61 ±22.51	134.72 ±19.44	137.12 ±17.25*

\*Significant in comparison with the control  $p < 0,05$

The received data testified that: under the influence of a chronic viral functional activity of the tumour cells in culture is decreased and in the greater degree the characteristics of their differentiation were changed. The results of the study testify that the proliferative activity of HEp-2 cells was decreased under the influence of a chronic viral infection.

Changes in DNA-ploidy were directly related to the differentiation stage and cell proliferation that is why the quantity of DNA in interphase nucleuses of HEp-2 cell line (table 1) was also investigated. We showed, that by the 12-th passage, under the influence of OPV this DNA parameter significant decrease in nuclei of cells of a line HEp-2.

We also investigated the quantity of DNA in cells of each passage with various quantities of nucleoli. In our work it was not revealed significant changes in the quantity DNA in cells with various quantity of nucleoli. Thus, fluctuations of quantity of the nucleolar organizers were not connected with the change of quantity of the DNA in the nucleus.

It was also investigated the area of nucleoli, and difference in nucleoli between 1- 2 -, 3 -, 4 -, 5-nucleolar cells and DNA quantity in nucleoli. In works [7] were showed that area of nucleoli have a strong correlation with the changes of the cellular population doubling time, so and with proliferation activity. It is known, that the correlation of the number both size nucleolar organizer regions and quantity, size and form of the nucleolus was determined by quantity, or by the transcriptional activity of ribosomal DNA.

**Table 2**

**Changes of nucleolar DNA quantity and nucleolus square in HEp-2 cells under the influence of chronic viral infection**

Pas- sage	1 nucleolus		2 nucleolus		3 nucleolus		4 nucleolus	
	DNA quantity	square	DNA quantity	square	DNA quantity	square	DNA quantity	square
1	19.9±2.7*	7±1	23.4±4.9	9±2	27.4±7.1	10±3	35±2.7**	14±4
5	20.3±4.3*	7±2	24.4±3.6	9±2	29.7±4.7	11±2	26.1±4.2*	11±1
6	21.8±3.8	8±2	24.9±3.9	9±2	33.4±7.3	12±3	32.1±4.1	11±3
9	21.5±4	8±2	22.2±6.1	8±2	26.3±4.1	10±2	27.5±5.5	10±2
12	22.7±3.3*	8±2	26.1±5.9	9±2	30.2±8.1	11±3	32.5±4.1	12±1
Cont	28.8±3.9	10±3	27.1±5.1	10±3	29.4±6.1	11±2	37.7±2.3	13±2

\* Significant in comparison with the control  $p < 0,05$

\*\* Significant in comparison with the 1 nucleolar cells  $p < 0,05$

Our experiments have shown the reduction of the DNA quantity in the nucleoli of mononucleolar cells in comparison with the control after the beginning of influence of the chronic viral infection (tab. 2). This parameter is significant in the 1st, 5th, 7th and 12th passages. Other passages show only a tendency to the decrease of the DNA quantity. The study of 4 nucleolar cells resulted in the fact that a significant decrease of the DNA quantity in the nucleoli was observed only once in the 5th passages. Other passages show only a tendency to the decrease of DNA quantity in the nucleoli.

Comparing mononucleolar and 4 nucleolar cells of the same passage, we conclude that there is no significant difference in the quantity of DNA of mononucleolar cells and total DNA of 4 nucleolar cells. There were no significant changes in the 2 and 3 nucleolar cells either in comparison with the control or inside each passage. The study of the nucleolar area of the HEp-2 cells showed a tendency to the increase of the total nucleolar area in the 4 nucleolar cells.

All mentioned above testifies to the change of nucleolar parameters of mononucleolar cells in the infected cells affected by the chronic viral infection. This enables us to put forward the genetically difference of these cells from the controlled ones.

The study of the nucleolar area revealed a tendency to the increase of total nucleolar area in 4 nucleolar cells in comparison with mononucleolar one, excluding the 1st passage where the increase of the total DNA quantity is significant but in other cases only the tendency (t varies from 0,88 to 1,94).

Distribution by the DNA ploidy and percentage of the euploid cells also was studied. As noted in table 5 the increasing of the number of euploid cells was observed at chronic infection. So, ploidy balance (difference between the percentages of euploid and aneuploid cells) was decreased. In table 3 shown the significant reduction of DNA ploidy during chronic viral infection in HEp-2 cells which was observed since 9th passage.

**Table 3**

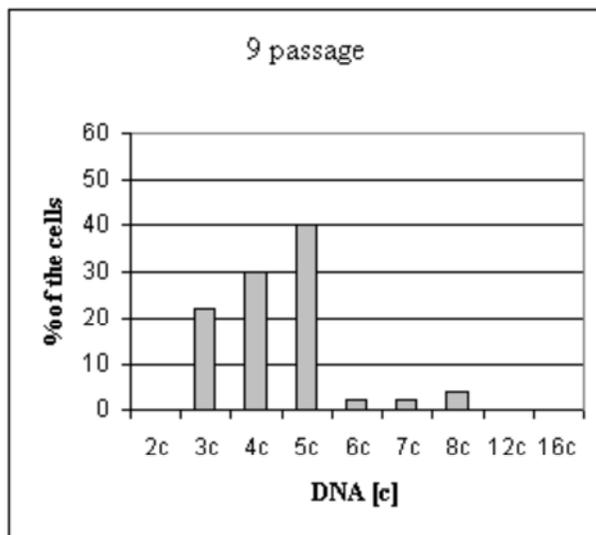
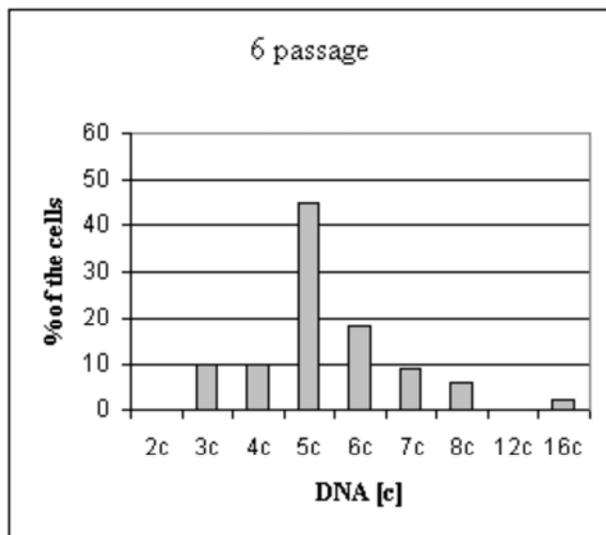
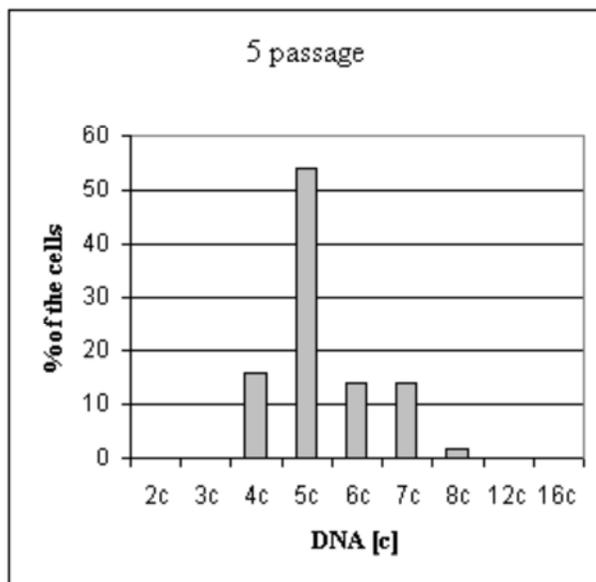
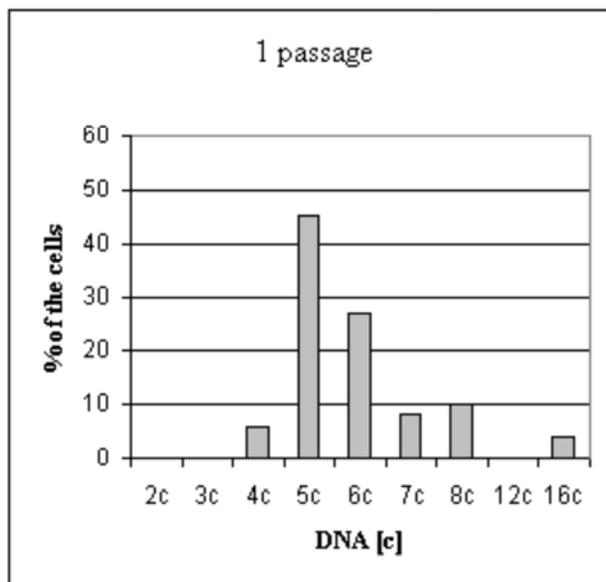
**Changes in DNA ploidy in HEp-2 cells during chronic viral infection**

	Passages					
	control	1	5	6	9	12
% of the euploid cells	12±3.1	20±3.9	18±5.2	18±4.5	34±7.1	34±5.3*
Average quantity of the DNA in "c" units	5.96	5.98	5.52	5.49	4.51	4.57

\* Significant in comparison with control and 1, 5, 6 passages

Fig 1 summarizes changes in DNA ploidy indices during chronic viral infection. The present results indicate that under the influence of OPV is decreased average ploidy of HEp-2 cells. The first time the essential quantities of the diploid cells increases in 12th passage. Percentage of aneuploid cells was decreased in 9 and 12 passages in comparison with the control.

The present results indicate that there are significant differences in various nuclear and nucleolar indices in HEP-2 cells during chronic viral infection. Summing up, at 9 - 12 passages there is an increase in the quantity of mononucleolar cells and accordingly decreases in that of 4 nucleolar ones and stabilization in the quantity of 2 and 3 nucleolar cells. There is also a significant decrease in the percentage of mitosis and increase in the percentage of dead cells.



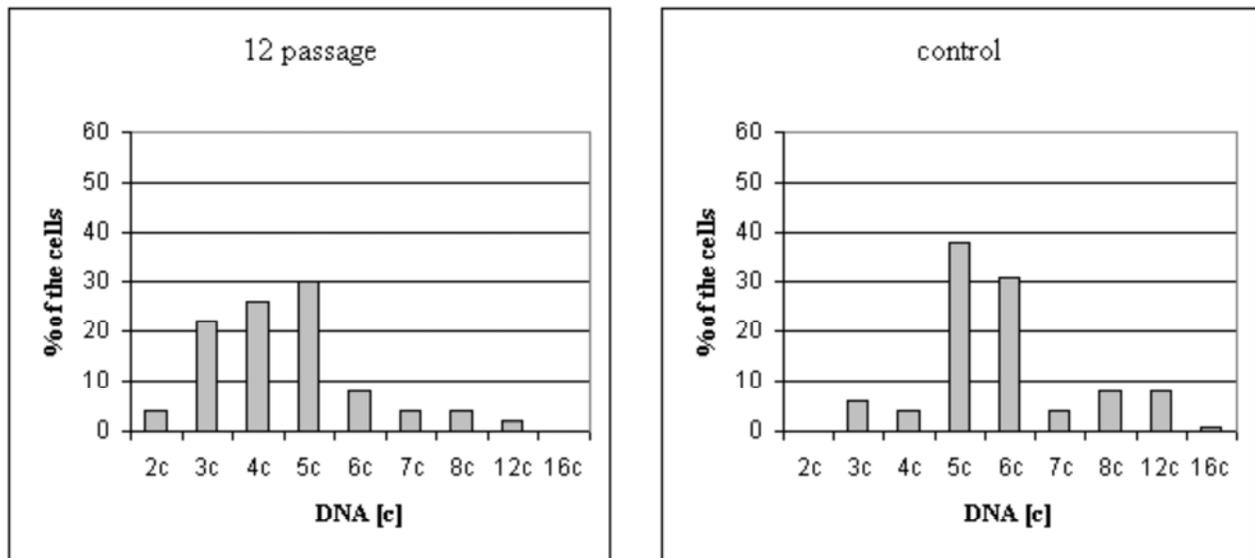


Figure 1. Distribution of the nucleus by the DNA ploidy (in "c" units) in HEP-2 cells during chronic viral infection (shown only a significant local maximum in the DNA histogram)

The evolution of cell population during chronic viral infection in vitro condition takes place through selection of more resistant population of cells or less cytopathogenic virus. Viability of infected cells in vitro during persistence is caused by the interaction of various viral and cellular factors. In our research the chronic viral infection could be the result of action as cellular as viral factors because of in the literature were presented data about unstable Sabin strains of poliomyelitis at 37<sup>0</sup>C. However, the used virus keep citotoxic effect on sensitive cells. In the other hand, in our experiment was shown significant difference between intact cells and cells of 9-12 passages. Proliferative activity in this population was sharply decreased. The chronically infected cells had a decreased ploidy index and significantly increased number of the cells with euploid quantity of the DNA in nucleus in comparison with control. These data allow to assume, that under the influence of OPV there was a decrease of a proliferation activity of HEP-2 cells and increase their differentiation [6].

The action of this factor was probably the main reason of the change in nucleolar and nuclear parameters of the HEP-2 culture. It is known that the number of the nucleolar-forming regions in cells is realized genotypically [8]. So, the changes in their quantity give us possibility to assume that the occurrence of more differentiated and less active proliferating clones of cells is conditioned by the selective cytodestruction of the less differentiated cells during the chronic viral infection. This conclusion is based on the data that various mutations including virus-induces are more dangerous for active divided cells, than for less active. This supposition is made true by the significant changes of the nucleolar parameters (the DNA quantity in nucleoli) and the increasing of the quantity of euploid cells at comparing the control of the HEP-2 cell with the affected cells by chronic infection of the OPV.

### Reference

1. *Chiarini A., Arista S., Giammanco A., Sinatra A.* - Journal of General Virology. 1983. V. 64. P.1101-1110.
2. *Kaplan G., Ricaniello V.* - J. Virol. 1991. V. 65. N 4. P. 1829-1835.
3. *Derenzini M., Trere D., Pession A., Montanaro L., Sirri V., Ochs R. L.* - American Journal of Pathology. 1998. V. 152. P. 1291-1297.
4. *Derenzini M., Trere D., Pession A., Govoni M., Sirri V., Chieco P.* - J Patholl. 1998. Jun. V. 191 (2). P. 181-6.
5. *Friedrich K., Scheithauer J., Dimmer V., Meyer W., Theissig F., Haroske G., Kunze K. D.* - Anal Cell Pathol. 2000. V. 20 (2-3). P. 69-82.
6. *Haroske G., Dimmer V., Meyer W., Kunze K.D.* - Anal Cell Pathol. 1997. V. 15. P. 157-174.
7. *Canet V., Montmasson M.P., Usson Y., Giroud F., Brugal G.* - Cytometry. 2001. Feb. N 1. V.43 (2). P.110-6.
8. *Taylor E. F., Martin-DeLeon P.A.* - Amer. J. Hum. Genet. 1981. V. 33. P. 67-76.

## **Չ. Ա. Կարալյան**

### **HEp-2 բջիջների էվոլյուցիան օրալ պոլիովակցինայի քրոնիկ ինֆեկցիայի ազդեցության ներքո**

Մեր կողմից ուսումնասիրվել է HEp-2 բջիջների փոփոխությունները եռավալենտ օրալ պոլիովակցինային վակցինայի (Sabin) քրոնիկ ինֆեկցիայի ազդեցության տակ: Պերսիստենցիայի ընթացքում դիտվել է անկորիզակային բջիջների առաջացում և 1 կորիզակային բջիջների տոկոսի աճ; իսկ 4 կորիզակային բջիջների նվազում: Այս ամենը տեղի է ունեցել 2 և 3 կորիզակային բջիջների քանակի կայունացման պայմաններում: Կուլտուրայում նվազել է միտոզների քանակը, իսկ մեռած բջիջների քանակը՝ աճել: Պերսիստենցիայի 12-րդ պասսաժում HEp-2 բջիջներում ԴՆԹ-ի քանակը զգալի նվազել է: Քրոնիկ ինֆեկցված բջիջները ունեցել են ցածր պոլիդոմայն ցուցանիշներ: Ինտակտ կուլտուրայի համեմատությամբ բարձրացել է էուպլոիդ բջիջների քանակը: Ստացված տվյալների համաձայն մենք կարող ենք ենթադրել, որ HEp-2 բջիջներում քրոնիկ վիրուսային ինֆեկցիան առաջ է բերում բջիջների պրոլիֆերացիայի նվազում և բարձրանում է նրանց դիֆերենցիացիան:

## **З.А. Каралян**

### **Эволюция клеток HEp-2 под действием хронической инфекции оральной полиовакцины**

Нами исследованы изменения в клетках HEp-2 под действием хронической инфекции трехвалентной оральной полиомиелитной вакцины (Sabin). В процессе персистенции нами наблюдалось появление безядрышковых клеток и возрастание процента 1 ядрышковых клеток, а процент клеток с 4 ядрышками снижался. Все это происходило при стабилизации количества 2 и 3 ядрышковых клеток. В культуре уменьшалось количество митозов, а количество мертвых клеток возросло. На 12-ом пассаже персистенции в ядрах HEp-2 количество ДНК значительно уменьшилось. Хронически инфицированные клетки имели сниженный индекс плоидности. Количество эуплоидных клеток возросло по сравнению с интактной культурой. На основе полученных данных мы можем предположить, что хроническая вирусная инфекция в клетках HEp-2 вызывает угнетение пролиферации клеток и увеличивает их дифференцировку.

УДК 581.1: 581:45

В.В. Казарян, В.А. Давтян, Л.Н. Оганесян

**О фотосинтезе и водном режиме диких сородичей плодовых в различных почвенно-климатических условиях Армении**

(Представлено академиком К.С. Погосяном 12/VI 2003)

Территория Армении характеризуется многообразием почвенно-климатических зон, заселенных многочисленными дикими сородичами плодовых [1]. Произрастая в разнообразных экологических условиях, они приобрели соответствующие этим условиям ценные свойства (плодовитость, качество плодов, выносливость), изучение внутреннего механизма которых представляет интерес с практической точки зрения. Нами изучены показатели фотосинтетической деятельности и водного режима некоторых диких плодовых, произрастающих в различных почвенно-климатических условиях Армении. Объектами исследования служили: вишня магалевская (*Cerasus mahaleb*), яблоня восточная (*Malus orientalis*), алыча (*Prunus divaricata*), груша иволистная (*Pyrus salicifolia*), растущие в полупустынной (Ереванский бот. сад, 1250 м над ур. м.), мезофильно-лесной (Ванадзорский бот. сад, 1450 м над ур. м.) и умеренно влажной горно-степной (Севанский бот. сад, 2000 м над ур. м.) зонах, почвенно-климатические условия которых описаны в [1].

Исследования проводились в период формирования плодов. Повторность определений 4-6-кратная. Фотосинтетическая деятельность определялась колориметрическим методом [2], при этом вместо колориметрической шкалы использовался прецизионный рН-метр, содержание слабо- и прочносвязанного с липопротеидным комплексом (ЛПК) хлорофилла - по Осиповой [3], показатели водного режима - по Гусеву [4]. Во всех ботанических садах соблюдался соответствующий режим полива.

Как показывают наши данные (табл.1), у всех опытных видов наиболее высокая интенсивность фотосинтеза проявляется в условиях мезофильно-лесной, минимальная - полупустынной зоны. По-видимому, в условиях Ванадзора повышенная интенсивность фотосинтеза объясняется благоприятными эдафическими и климатическими условиями, а на Севане - высоким энергетическим уровнем, способствующим противостоянию растений экстремальным условиям.

Таблица 1

**Содержание слабо- и прочносвязанного с ЛПК хлорофилла и интенсивность фотосинтеза листьев диких сородичей культурных плодовых в различных почвенно-климатических условиях Армении (M±m) (фаза формирования плодов)**

Вид	Хлорофилл, мг/г сухого веса			% прочно-связанного от общего	интенсивность фотосинтеза, мг/CO <sub>2</sub> /дм <sup>2</sup> ·ч
	слабосвязанный с ЛПК	прочносвязанный с ЛПК	сумма		
Полупустынный район					
<i>M.orientalis</i>	1.11±0.04	4.94±0.13	6.05±0.19	81.6	11.8±0.40
<i>P.salicifolia</i>	1.33±0.07	2.85±0.17	4.18±0.28	68.1	9.3±0.43
<i>C.mahaleb</i>	1.18±0.09	3.77±0.26	4.95±0.28	76.2	12.7±0.33
<i>P.divaricata</i>	1.31±0.04	4.26±0.22	5.57±0.39	76.4	11.7±0.42
Мезофильно-лесной район					
<i>M.orientalis</i>	1.87±0.10	5.42±0.18	7.29±0.26	74.3	15.5±0.41
<i>P.salicifolia</i>	1.64±0.11	3.14±0.23	4.78±0.25	65.9	14.7±0.37
<i>C.mahaleb</i>	1.74±0.06	4.19±0.27	5.93±0.28	70.6	16.2±0.31
<i>P.divaricata</i>	1.89±0.08	4.98±0.21	6.87±0.22	72.5	16.8±0.48
Умеренно влажный горно-степной район					
<i>M.orientalis</i>	1.16±0.09	6.77±0.31	7.93±0.34	85.3	14.6±0.48
<i>P.salicifolia</i>	1.27±0.06	3.94±0.14	5.21±0.16	75.6	12.8±0.40
<i>C.mahaleb</i>	1.23±0.09	5.31±0.18	6.54±0.41	81.2	14.1±0.52
<i>P.divaricata</i>	1.40±0.11	6.54±0.27	7.94±0.29	82.3	15.2±0.27

Функциональная деятельность исследуемых растений обеспечивается состоянием структурных элементов клетки, т.е. хлорофилла. Наши данные показывают, что количество хлорофилла увеличивается с возрастанием высоты местности произрастания, наибольшее его содержание обнаружено у растений Севанского ботанического сада. Одновременно происходили и качественные изменения в составе хлорофилла. Наименьшее количество прочносвязанного с ЛПК хлорофилла выявлено в условиях Еревана, максимальное - на Севане, наибольшее количество слабосвязанного хлорофилла - в Ванadzоре.

Повышенная прочность связи хлорофилла с ЛПК является убедительным показателем приспособления растительного организма к условиям существования. В данном случае на Севане прочная связь хлорофилла с ЛПК способствует сохранению молекулы от разрушения в более напряженных климатических условиях высокогорья (большой перепад дневной и ночной температур, высокая инсоляция, УФ излучение и т.п.). Условия мезофильно-лесной зоны более благоприятны для жизни изучаемых видов, поэтому там внутренняя физиологическая напряженность менее выражена. Другим существенным физиологическим показателем, приобретенным растениями в течение продолжительного периода существования в одних и тех же условиях и отражающим процесс приспособления, является

**Показатели водного режима диких сородичей плодовых в различных почвенно-климатических условиях Армении**

Вид	Форма воды, % на сырой вес			Свободная/ связанная	Водоудерживающая способность, %	Водный дефицит, %
	общая	свободная	связанная			
Полупустынный район						
M.orientalis	65.8±0.53	42.2±1.71	23.6±1.28	1.78	65.8	9.7
P.salicifolia	64.5±0.65	40.3±0.65	24.2±0.31	1.66	61.3	8.3
C.mahaleb	71.9±1.05	43.8±1.51	28.1±0.57	1.55	62.4	10.6
P.divaricata	69.4±1.65	44.0±0.47	25.4±0.65	1.73	63.8	11.9
Мезофильно-лесной район						
M.orientalis	71.3±1.28	46.9±1.06	24.4±0.72	1.93	68.9	11.2
P.salicifolia	69.7±0.83	48.6±1.24	21.1±0.56	2.30	66.8	12.4
C.mahaleb	74.6±1.57	48.4±1.90	26.2±0.68	1.84	69.4	13.7
P.divaricata	71.7±2.14	49.8±1.64	21.9±0.81	2.27	67.4	13.8
Умеренно влажный горно-степной район						
M.orientalis	61.8±1.47	37.4±1.03	24.1±0.89	1.55	61.6	8.2
P.salicifolia	60.6±0.55	37.2±0.78	23.4±0.72	1.59	58.4	8.0
C.mahaleb	61.5±1.51	35.1±0.81	26.4±0.82	1.33	57.8	9.8
P.divaricata	63.1±1.28	39.2±1.54	23.9±1.14	1.64	59.1	10.5

Общая и свободная вода листьев исследуемых объектов (табл.2) достигает максимума в Ваназоре и минимума - на Севане. Аналогичная картина выявлена в соотношении свободной и связанной воды, что согласно Ахматову [5] является показателем приспособления растений. Водоудерживающая способность и водный дефицит растений, произрастающих в изученных лесорастительных регионах, согласуются с содержанием форм воды: в высокогорном Севанском ботаническом саду отмечена максимальная водоудерживающая способность и низкий дефицит в отличие от Ваназора, Ереванский ботанический сад занимает среднее положение. Учитывая летние ксерофитные условия Севана и Еревана, можно предположить, что у растений в данных условиях вырабатываются соответствующие структурные и метаболические приспособительные механизмы, удерживающие расход воды. Водоудерживающая способность растений в значительной мере отражает адаптационные

возможности регуляторной системы водообмена в различных почвенно-климатических условиях [6].

Таким образом, ответная реакция организма на неблагоприятное воздействие осуществляется двумя фазами - реакции и реституции [7]. В первой фазе происходят значительные отклонения в метаболизме и физиологических функциях; в фазе реституции восстанавливаются нарушенные процессы, происходит их стабилизация на новом уровне, в результате чего растения нормально переносят новые условия жизни. Это наглядно иллюстрируется на примере диких сородичей плодовых в различных почвенно-климатических условиях Армении.

Институт ботаники НАН РА

### Литература

1. *Казарян В.О., Арутюнян Л.В., Хуршудян П.А., Григорян А.А., Барсегян А.М.* Научные основы облесения и озеленения Армянской ССР. Ереван. Изд-во АН Арм ССР. 1974. 347 с.
2. *Чатский И., Славик Б.* - Biol. plantarum. 1960. V. 2. N2. P. 107-112.
3. *Осипова О.П.* - ДАН СССР. 1947. Т. 8. N8. С. 799-801.
4. *Гусев Н.А.* Некоторые методы исследования водного режима растений. Л. ВБО. 1960. 61 с.
5. *Ахматов К.А.* Адаптация древесных растений к засухе. Фрунзе. Илим. 1976. 199 с.
6. *Чкуасели Т.Я.* Особенности адаптации интродуцированных древесных растений в субаридных условиях Восточной Грузии. Тбилиси. Мецниереба. 1989. 195 с.
7. *Штоккер О.* В сб.: Растение и вода. М. Изд-во АН СССР. 1970. С. 27-38.

**Վ.Վ. Ղազարյան, Վ.Ա. Դավթյան, Լ.Ն.Հովհաննիսյան**

**Հայաստանի տարբեր հողակլիմայական պայմաններում պտղատուների վայրի  
ցեղակիցների ֆոտոսինթեզի և ջրային ռեժիմի մասին**

Հայաստանի կիսաանապատային (Երևան), մեզոֆիլ-անտառային (Վանաձոր) և չափավոր խոնավ լեռնատափաստանային (Մևան) գոտիներում աճող չորս պտղատու տեսակների վայրի ցեղակիցների ֆոտոսինթեզի ինտենսիվությունը բարձր է մեզոֆիլ-անտառային, ցածր՝ կիսաանապատային գոտում: Քլորոֆիլի քանակը և ճարպասպիտակուցային համալիրի հետ նրա կապի ամրությունն աճում է ըստ ուսումնասիրվող գոտիների բարձրության:

Ընդհանուր և ազատ ջրի պարունակությունը տերևներում առավելագույնն է մեզոֆիլ-անտառային, նվազագույն՝ լեռնատափաստանային գոտում: Վերջինում, ի տարբերություն մեզոֆիլ-անտառայինի, ուսումնասիրվող օբյեկտներն աչքի են ընկնում կապված ջրի և ջուր պահելու ունակության բարձր ու ջրային անբավարարության ցածր ցուցանիշներով: Կիսաանապատային գոտում ստացվել են միջին տվյալներ:

Եզրակացություն է արվում այն մասին, որ նկարագրած գոտիներում բույսերի աճման ընթացքում տեղի են ունենում ֆոտոսինթետիկ գործունեության և ջրային ռեժիմի այնպիսի փոփոխություններ, որոնք ի վերջո բերում են կյանքի պայմաններին նրանց հարմարվողականությանը:

УДК 612.57+598.126+615.771.6

К.Р. Арутюнян, А.В. Восканян, Р.А. Арутюнян, М.В. Антонян

**Влияние гепарина на температурный гомеостаз и развитие патологических процессов в организме при действии яда гюрзы**

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л.Р. Манвеляном 29/VIII 2003)

В яде гадюковых (Viperidae) имеются протеолитические ферменты, действующие подобно трипсину, тромбину и каллекреину. В результате действия этих ядов развивается геморрагия, обусловленная как повышением проницаемости сосудистой стенки, так и нарушениями в свёртывающей системе крови. Высвобождение из тканей под действием энзимов ядов таких биологически активных веществ, как гистамин, брадикинин, и образование эндорфинов приводят к падению артериального давления, увеличению сосудистой проницаемости, нарушению трофики тканей из-за расстройств в микроциркуляторном русле и в конечном итоге к развитию взаимосвязанных патологических процессов, характерных для яда гюрзы. Нами было показано, что при системном введении в организм яда гюрзы в "ядре" организма развивается гипертермический эффект с повышением активности симпатической нервной системы [1-4]. Показано, что при действии яда гюрзы происходит перераспределение объема циркулирующей крови, изменение ее свертываемости, развитие тромбогеморрагического синдрома и нарушение микроциркуляторных процессов в жизненно важных органах [5]. Большую роль при этом играет развитие диссеминированного внутрисосудистого свертывания крови (ДВС синдром), приводящего к многочисленным тромбозам, развитию ишемии в тканях и дальнейшему их некрозу, осложненному действием ряда лизирующих ферментов и физиологически активных веществ яда, запускающих простагландин-тромбоксановую систему: брадикинина (с увеличением проницаемости капилляров, дилатация артериол); гистамина (гипотензивное действие и увеличение сосудистой проницаемости) и т.п. Экзогенный гистамин яда приводит к высвобождению субстанции P из C-волокон афферентной сенсорной системы, иннервирующей соединительную ткань, гладкую мускулатуру и кровеносные сосуды, которая высвобождает эндогенный гистамин из перитонеальных мастоцитов и мукозных клеток [6]. По данным некоторых авторов [7,8], активация симпатических сосудорасширяющих нервов скелетной мускулатуры вдвое увеличивает отношение прекапиллярного сопротивления к посткапиллярному, что приводит к абсорбции в сосудистое русло экстравазкулярной жидкости. Это важный компенсаторный механизм при геморрагии, когда проявляется генерализованное увеличение симпатической импульсации.

В настоящей статье исследовано влияние гепарина на терморегуляцию организма при действии змеиного яда. Выбор гепарина обусловлен тем, что он является естественным противосвертывающим фактором крови в организме, тормозящим превращение протромбина в тромбин, фибриногена в фибрин [9-11], и одновременно тем, что литературные данные

относительно роли гепарина в организме при инокуляции геморрагических ядов довольно противоречивы [12-17].

Методом многочасового непрерывного термографирования у опытных крыс в термонеutralных условиях (20-21<sup>0</sup>С) окружающей среды определяли температуру "ядра" в области ободочной кишки и бедренных мышц и "оболочки" организма в области проксимального отдела хвостовой артерии.

Датчиками для регистрации температуры с исследуемых участков тела явились термопары диаметром 100 микрон. Регистрация производилась при помощи 12-канального самопишущего потенциометра. Последний был подключен к выходу фотоэлектрического умножителя типа Ф-116/2 с чувствительностью 0.013<sup>0</sup>С для определения температуры "ядра" и 0.13<sup>0</sup>С - температуры "оболочки" и термокамеры. Рабочие спаи термопар вводили в мякоть бедренных мышц на глубину 1.5-2.0 см; через прямую кишку в ободочную на глубину 6-7 см; закрепляли на хвосте над хвостовой артерией на расстоянии 1.5 см от анального отверстия. Свободные спаи всех термопар помещались в ультратермостат типа У-10, где поддерживалась эталонная температура.

Эксперименты проводились в четырех сериях. В первой серии изучали влияние яда кавказской гюрзы (*Vipera lebetina obtusa*) на изучаемые терморегуляторные показатели организма крыс в дозе 50 мкг/100 г массы животного при ЛД<sub>50</sub> равном 1.8 мг/кг массы при внутривентральном введении. Яд был получен путем механической дойки змей одним из авторов статьи. Яд высушивали в эксикаторе под вакуумом при остаточном давлении -0.9 атм. над силикагелем до полной "кристаллизации" и доводили до постоянного веса. Стандартизация проводилась в соответствии с ТУ РА 37507194.3265-2003 [18]. За час до эксперимента отвешивали 10 мг сухого яда и растворяли в 10 мл физиологического раствора для получения стандартного раствора с концентрацией 1 мкг /мкл. Крысам со средней массой 250 г вводили 125 мкг яда.

Во второй серии изучали влияние гепарина на терморегуляторные показатели экспериментальных животных в дозе 0.1 мл/100 г массы тела. В третьей серии изучали одновременное действие яда и гепарина на исследуемые показатели. Во время первых трех серий экспериментов животные находились в прозрачных камерах с ограниченным объемом, однако при визуальной оценке их гиподинамического состояния не было отмечено девиантного поведения, полипноэ, саливации или какой-либо иной выраженной эмоциональной реакции. Работа выполнена на 16 половозрелых самцах белых беспородных крыс, всего проведено 18 экспериментов. В четвертой серии была определена ЛД<sub>50</sub> по методу Беренса [18] при введении крысам вышеуказанной дозы гепарина (30 половозрелых самцов).

**Динамика изменения температуры различных органов крыс  
при медикации ядом гюрзы и гепарином**

Гепарин							
Орган	Контроль	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин	75 мин	90 мин
	Температура органа в градусах Цельсия						
Кишка	38.21	38.18	38.14	38.06	38.01	38.02	37.89
Мышца	36.13	36.13	36.14	36.11	36.11	35.98	35.69
Артерия	27.36	27.11	27.17	27.09	26.94	27.01	26.93
Гепарин и яд							
Орган	Контроль	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин	75 мин	90 мин
	Температура органа в градусах Цельсия						
Кишка	37.31	37.21	37.21	37.13	37.03	37.02	37.01
Мышца	35.77	35.87	35.99	35.87	35.68	35.56	35.51
Артерия	26.76	26.92	26.92	26.68	26.54	26.42	26.45

Данные первой серии экспериментов показали, что введение яда гюрзы крысам индуцирует гипертермический эффект в "ядре" организма и в течение 60 мин после введения яда температура ободочной кишки повышается в среднем на  $1.0^{\circ}\text{C}$  или с  $37.14 \pm 0.2$  до  $38.22 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , а затем снижается и в течение 90 мин держится выше нормы на  $0.63^{\circ}\text{C}$  (рис.1,а). Температура скелетных мышц под воздействием яда гюрзы снижается. Действительно, из данных рис. 1, а видно, что в первые 90 мин она снижается от нормы

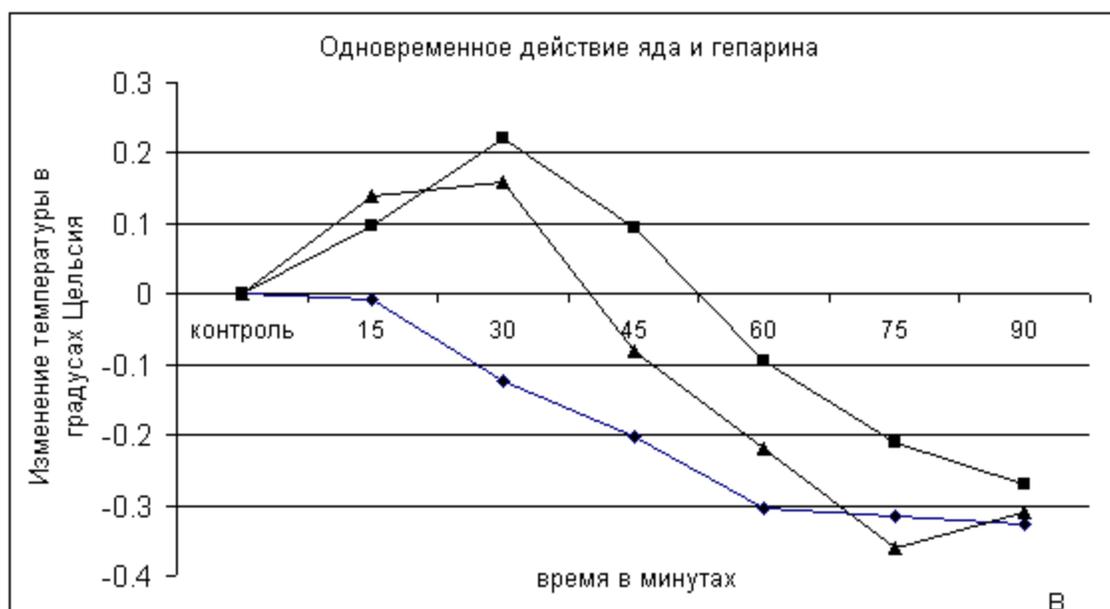
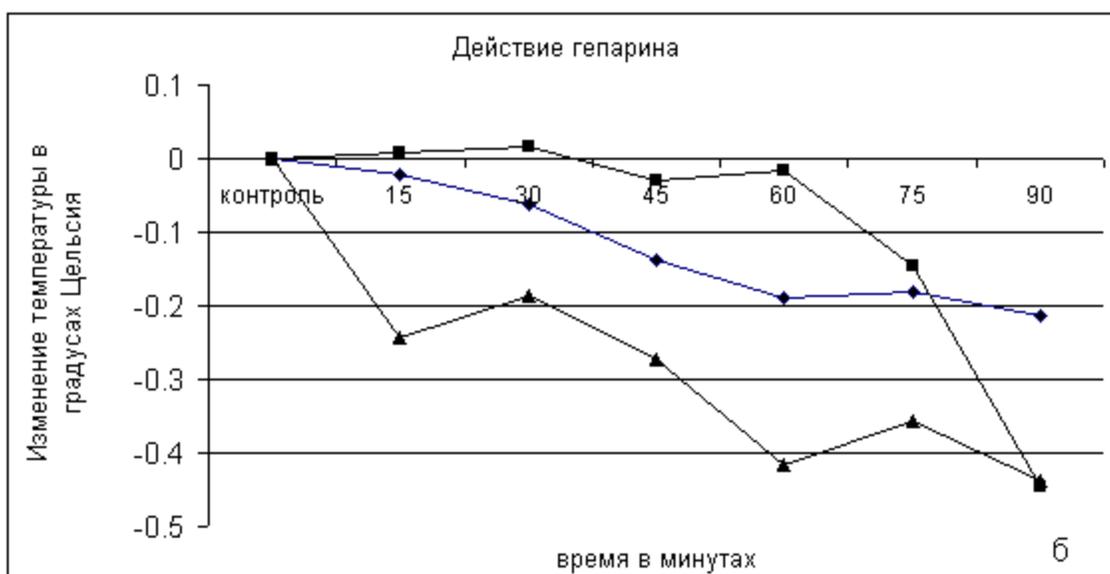
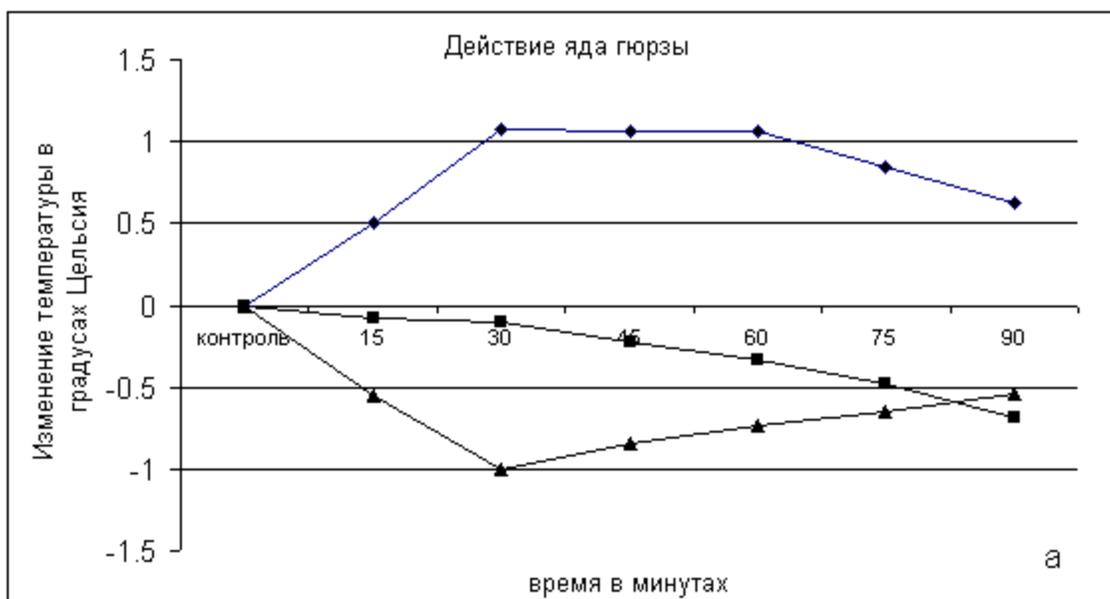


Рис.1. Изменение температуры различных органов: а - при действии яда гюрзы, б - при действии гепарина, в - при одновременном действии яда и гепарина. Ромбом обозначена ободочная кишка; квадратом - бедренная мышца, треугольником - хвостовая артерия.

в пределах  $0.69^{\circ}\text{C}$  или с  $37.48+0.5$  до  $36.79+0.3^{\circ}\text{C}$ . Что касается действия яда на температуру хвостовой артерии, то в первые 30 мин она снижается на  $1.0^{\circ}$  или с  $24.06$  до  $23.06+0.5^{\circ}\text{C}$ , затем наблюдается повышение температуры, однако за время регистрации она не приходит к исходному уровню.

Результаты второй серии экспериментов показывали, что введение крысам гепарина приводит к выраженному гипотермическому эффекту, снижая температуру как "ядра", так и "оболочки" организма. Температура ободочной кишки и скелетных мышц снижалась соответственно на  $0.21$  и  $0.44^{\circ}\text{C}$  или с  $38.2$  до  $37.8^{\circ}\text{C}$  и с  $36.1$  до  $35.6^{\circ}\text{C}$  соответственно, а температура хвостовой артерии снижалась на  $0.43^{\circ}\text{C}$  или с  $27.3$  до  $26.9^{\circ}\text{C}$  (таблица, рис. 1,б).

Особый интерес представляют данные третьей серии экспериментов (таблица, рис. 1,в). При совместном введении в организм яда гюрзы и гепарина (сначала яд, через 1 мин - гепарин) купируется гипертермическое действие яда на висцеральные органы, при этом температура как "ядра", так и "оболочки" тела через 30 мин после введения снижается, в течение 90 мин температура ободочной кишки снижается на  $0.3^{\circ}\text{C}$  или с  $37.3$  до  $37.0^{\circ}\text{C}$ , у поперечно-полосатой мышцы - на  $0.2^{\circ}\text{C}$ , т.е. с  $35.7$  до  $35.5^{\circ}\text{C}$ , у артериальных сосудов - с  $26.7$  до  $26.4^{\circ}\text{C}$ .

Данные четвертой серии дали весьма обнадеживающие результаты - летальная доза яда гюрзы при протекторном действии гепарина изменилась вдвое и стала равной  $3.6$  мг/кг массы крыс вместо  $1.8$  мг/кг (рис. 2).

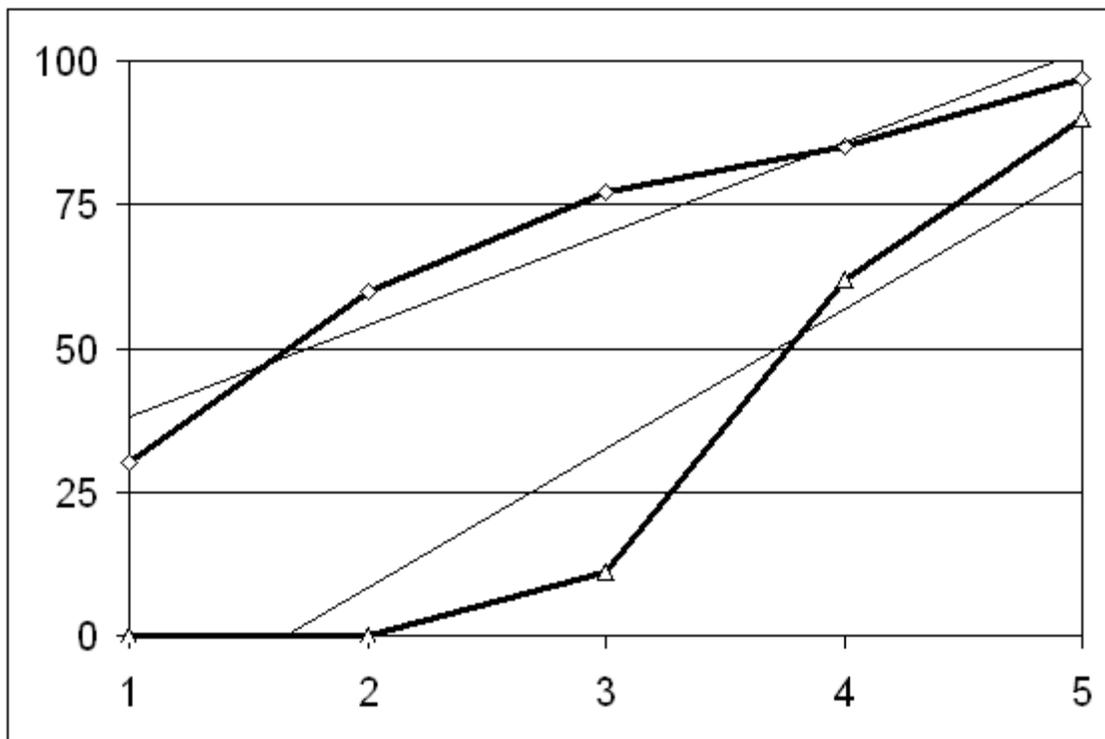


Рис.2. Кривые смертности крыс при действии яда гюрзы (указано ромбами) и одновременном действии яда и гепарина (указано треугольниками). По оси абсцисс отложены единицы введенного яда в мг/кг, по оси ординат отложен процент смертности крыс.

Известно, что температурный гомеостаз организма регулируется химическими и физическими механизмами терморегуляции. Химическая терморегуляция организма осуществляется сократительными и несократительными процессами в организме, а одним из основных механизмов физической терморегуляции является сосудистая реакция периферических артериальных сосудов. Гипертермическое действие яда гюрзы, с одной стороны, является результатом активации механизмов несократительного термогенеза, а с другой, - угнетения механизмов сократительного термогенеза. Эффект яда, по всей видимости, обусловлен снижением теплоотдачи через периферические артериальные сосуды. К такому заключению можно прийти исходя из того, что происходит повышение температуры одного из главных эффекторов несократительного термогенеза - желудочно-кишечного тракта (ободочная кишка) и понижение температуры основного эффектора сократительного термогенеза - поперечно-полосатой мускулатуры (бедренная мышца), а снижение температуры артериальных сосудов происходит из-за ослабления теплоотдачи через механизмы симпатической регуляции сосудистых реакций [11]. Гепарин, являясь ингибитором свертывания крови (инактивация фактора Ха и тромбина) и предотвращая образование тромбов в циркулирующей крови, кардинально влияет на развитие ДВС-синдрома в организме и снимает ишемизацию тканей, тем самым уменьшая патологическое перераспределение больших объемов крови между "ядром" и "оболочкой". Такого развития процессов достаточно, чтобы вдвое уменьшить смертельное действие гемотропных ядов.

Институт физиологии им.Л.А.Орбели НАН РА

### Литература

1. Арутюнян Р.А., Восканян А.В., Арутюнян К.Р., Мартиросян С.Ш. - ДНАН Армении. 1998. Т. 98. N1. С.74-77.
2. Арутюнян Р.А., Восканян А.В., Арутюнян К.Р., Мартиросян С.Ш. - ДНАН Армении. 1998. Т. 98. N2. С.175-178.
3. Арутюнян Р.А., Восканян А.В., Арутюнян К.Р., Мартиросян С.Ш. -Российский физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 2000. Т. 86. N2. С.210-215
4. Восканян А.В. - Журн. теоретич. и клинич. медицины. 1999. Т.2. N7. С. 58-62.
5. Баркаган З.С., Суховеева Э.Я., Шевченко В.И. - В кн.: Вопросы герпетологии. III Всесоюз. герпетол. конф. Л. 1973. С.30-31.
6. Inflammation, Basic principles and clinical correlates. Editors John I. Gallin et al. 1988. 995 p.
7. Mellander S. - Proc.roy.Soc.Med. 1968. V. 61. P. 55-61.
8. Oberg B. - Acta physiol. Scand. 1964. V. 62. Suppl. 229. P.1-98.
9. Орлов Б.Н., Вальцева И.А. - Яды змей. Ташкент. Медицина. 1977. 251 с.

10. *Нагапетян Х.О., Арутюнян Р.А., Матинян Л.А., Арутюнян К.Р.* Медицинская наука Армении. 2001. Т. 41. №3. С. 16-21.
11. *Guieu R., Kopeyan C., Rochat H.* - Life Sci. 1993. V. 53(26). P. 1935-46
12. *Calil-Elias S., Martinez A.M., Melo P.A.* - Histol. Histopathol. 2002. Apr. V. 17(2). P. 463-70.
13. *Marsh N.A.* - Haemostasis. 2001. May-Dec. V. 31(3-6). P. 211-7.
14. *Legnani C., Preda L., Palareti G., Lunghi B., Rossi E., Coccheri S.* - Haematologica. 2002. Feb. V. 87(2). P.182-8.
15. *Sue S.C., Chien K.Y., Huang W.N., Abraham J.K., Chen K.M., Wu W.G.* - J. Biol. Chem. 2002. Jan 25. V. 277(4). P. 2666-73.
16. *Sue S.C., Brisson J.R., Chang S.C., Huang W.N., Lee S.C., Jarrell H.C., Wu W.* - Biochemistry. 2001. Sep. 4. V. 40(35). P.10436-46.
17. *Oshima-Franco Y., Leite G.B., Silva G.H., Cardoso D.F., Hyslop S., Giglio J.R., da Cruz-Hofling M.A., Rodrigues-Simioni L.* *Toxicon*. 2001. Oct. V. 39(10). P.1477-85.
18. *Восканян А.В.* - Ту РА 37507194.3265-2003.

**Ք.Ռ. Հարությունյան, Ա.Վ. Ոսկանյան, Ռ.Ա. Հարությունյան, Մ.Վ. Անտոնյան**

**Հեպարինի ազդեցությունը ջերմաստիճանային հոմեոստազի վրա և  
սխտաբանական գործընթացների զարգացումը օրգանիզմում գյուրգայի թույնի  
ազդեցության ներքո**

Օձի թույնի և հեպարինի համատեղ ներարկման ժամանակ կասեցվում է թույնի հիպերթերմիկ ազդեցությունը առնետների որովայնի օրգանների վրա, դրա հետ մեկտեղ մարմնի «միջուկի» և «կեղևի» ջերմաստիճանը ներարկումից 30 րոպե հետո իջնում է: 90 րոպեի ընթացքում ադու ջերմաստիճանը իջնում է  $0.3^{\circ}\text{C}$  կամ  $37.3$ -ից մինչև  $37.0^{\circ}\text{C}$ , մկանինը՝  $0.2^{\circ}\text{C}$ , այսինքն  $35.7$ -ից մինչև  $35.5^{\circ}\text{C}$ , իսկ պոչի զարկերակը՝  $26.7$ -ից մինչև  $26.4^{\circ}\text{C}$ : Գյուրգայի թույնի 50% մահացու դոզան հեպարինի պաշտպանական ազդեցության ներքո պակասում է երկու անգամ և հավասարվում է  $3.6$  մգ/կգ առնետի զանգվածի  $1.8$  մգ/կգ դիմաց:

УДК 612.886:597.82

Академик В. В. Фанарджян, Е. В. Папоян, И. Г. Саркисян, Э. А. Оганесян

### О генезе фокальных потенциалов вестибулярного ядерного комплекса лягушки

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л.Р. Манвеляном 21/Х 2003)

Комплекс вестибулярных ядер представляет собой центральные структуры, интегрирующие сигналы, поступающие из лабиринта, мозжечка, спинного мозга, ретикулярной формации, и распределяет свое влияние на различные двигательные центры [1]. Волокна вестибулярного нерва берут начало в крупном узле *Ganglion vestibularis scarpae*, где находится первый нейрон (нейроны первого порядка) рефлекторной дуги, образуемой вестибулярным нервом. Периферические отростки нейронов этого узла в составе вестибулярного нерва идут к лабиринту, т.е. к рецепторам полукружных каналов и преддверья. Центральные отростки этих нейронов вместе с улитковым нервом образуют VIII пару черепномозговых нервов, содержащих вестибулярные нейроны второго порядка [2]. Передняя ветвь VIII пары черепномозговых нервов содержит в основном слуховые и частично вестибулярные волокна.

Цель работы - изучение функциональных особенностей нейронов II порядка вестибулярного комплекса ядер для выяснения их роли в формировании целостного рефлекторного акта.

Эксперименты выполнены на перфузируемом препарате озерной лягушки [3]. Животное анестезировалось 0.1% раствором М5-222 (3-aminobenzoic acid ethyl ester) и при необходимости иммобилизовалось внутривенным введением дитилина (0.5 мг/кг). Лягушка перфузировалась транскардиально ледяным солевым оксигенированным раствором, который содержал (в мМ) 75 NaCl, 25 NaHCO<sub>3</sub>, 2 CaCl<sub>2</sub>, 2 KCl, 0.5 MgCl<sub>2</sub>, 11 глюкозы. Раствор предварительно насыщали 95% кислорода и 5% углекислого газа. Скорость потока 1-2 мл/мин. Температура раствора поддерживалась в среднем на уровне не более 10<sup>0</sup>С, рН 7.4.

Для электрического раздражения использовали одиночные удары прямоугольного импульса (0.1-0.2 мс; 0.04-0.05 мА), передаваемые через всасывающие электроды (диаметр 300-350 мкм). Раздражение наносилось с частотой 0.5 Гц, если ход опыта не меняли. Отводящие электроды, заполненные 3М KCl, имели сопротивление 3-7 МОм. Регистрация осуществлялась на усилителе постоянного тока. Применялся компьютерный анализ данных.

Раздражение вестибулярной ветви VIII черепномозгового нерва в вестибулярном ядерном комплексе ипсилатеральной стороны вызывало двухкомпонентный фокальный потенциал. Первый короткий компонент (N<sub>0</sub>), изредка положительно-отрицательной полярности, в основном монофазный - отрицательный, более длительный второй (N<sub>1</sub>) - отрицательной полярности [4]. Характеристические свойства этих ответов следующие: N<sub>0</sub>-компонент регистрировался со скрытым периодом 0.26-0.9 (0.51±0.15) мс, n = 197, фаза восхождения

ответа составляла  $0.19-0.05$  ( $0.36 \pm 0.09$ ) мс,  $n = 80$ , полуспад  $0.12-0.16$  ( $0.32 \pm 0.11$ ) мс,  $n = 32$ , длительность  $0.21-1.3$  ( $0.73 \pm 0.36$ ) мс,  $n = 39$ , амплитуда регистрировалась с величиной  $0.11-3.02$  ( $0.83 \pm 0.54$ ) мВ,  $n = 119$ .  $N_1$ -компонент возникал со скрытым периодом  $1.0-5.73$  ( $2.16 \pm 0.46$ ) мс,  $n = 172$ , фаза восхождения составляла  $1.1-4.58$  ( $2.99 \pm 0.77$ ) мс,  $n = 142$ , длительность полуспада -  $3.29-15.0$  ( $9.12 \pm 4.3$ ) мс,  $n = 26$ , амплитуда отрицательной волны -  $0.5-4.64$  ( $1.78 \pm 0.78$ ) мВ,  $n = 117$ . Синаптическая задержка составляла  $1.66 \pm 0.3$  мс.

$N_0$ -компонент, представляющий быстрое, в основном монофазное отрицательное отклонение, с максимальной амплитудой регистрировался в латеральных областях ствола мозга [5, 6].  $N_1$ -компонент состоял из моносинаптического отрицательного потенциала (рис. 1).

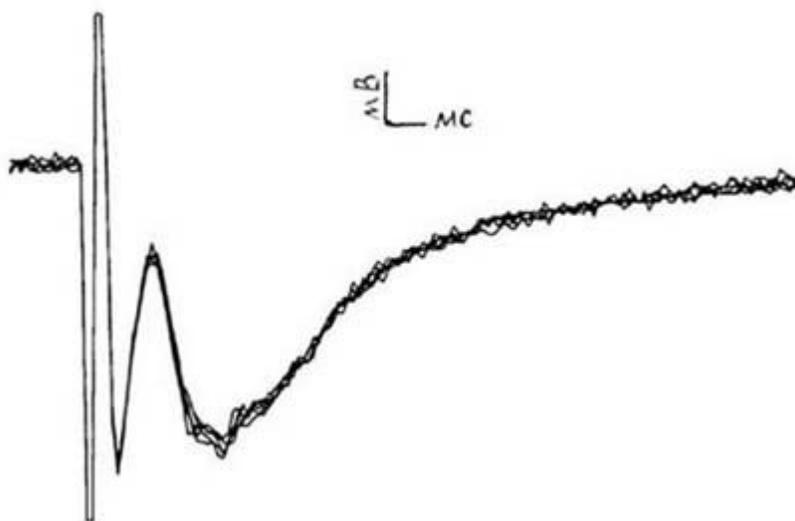


Рис. 1. Фокальный потенциал вестибулярного комплекса ядер на раздражение вестибулярного нерва. Калибровка: 1 мВ; 1 мс.

Для выявления генеза  $N_0$ - и  $N_1$ -компонентов фокального потенциала, регистрируемого в комплексе вестибулярных ядер на раздражение вестибулярного нерва, применялось тестирование парным раздражением. Графические данные амплитуды тестируемого ответа при парном раздражении были соотнесены к интервалам между стимулами. Увеличение амплитуды тестируемого ответа представляло различие между пиком амплитуды тестируемого ответа и остаточной деполяризацией от кондиционирующего ответа [7].

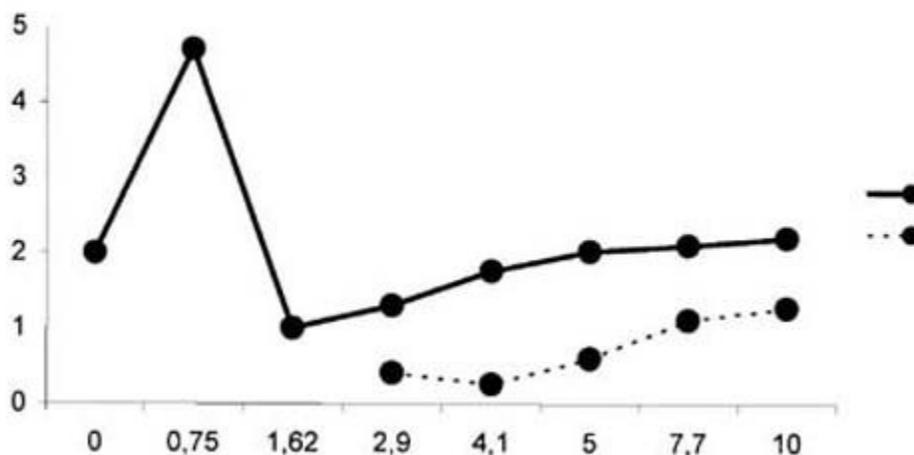


Рис. 2. Влияние парного раздражения на фокальные потенциалы. Отношение амплитуды тестируемого  $N_1$ -компонента потенциала (ось ординат) к интервалу между стимулами (ось абсцисс). На 0 отмечено исходное значение амплитуды  $N_1$ -компонента. Сплошная линия - обуславливающий, пунктирная - тестируемый стимул.

Регистрацию парного раздражения проводили наложением регистрируемого процесса и измеряли величину тестируемого ответа на парную стимуляцию, приложенную с различными интервалами на один и тот же пресинаптический путь. Величину интервала между стимулами изменяли от кратчайшего, который все еще позволяет тестируемому ответу начаться после обуславливающего ответа, до интервала, соответствующего тотальной длительности обуславливающего ответа, при этом пик  $N_1$  волны тест-стимула обычно равнялся обуславливающему ответу и только иногда мог быть незначительно больше него. На очень коротких межстимульных интервалах, в среднем на расстоянии 0.75 мс, амплитуда только одного регистрируемого ответа часто превосходила по величине амплитуду исходного ответа на одиночное раздражение, вероятно, обнаруживая потенциацию тестируемого ответа. В большинстве случаев ответ на II стимул появлялся в среднем на расстоянии между стимулами около 2.5 мс, когда второй стимул совпадал с вершиной восходящей фазы  $N_1$  волны. Если второй стимул наносился на нисходящую фазу  $N_1$ -компонента в среднем при межстимульном интервале 3.5-4.5 мс, ответ тестируемого  $N_1$ -компонента уменьшался в амплитуде от 50 до 20 % обуславливающего ответа (рис. 2).

Таким образом, парное тестирование свидетельствует о четком различии характеристических свойств  $N_0$ - и  $N_1$ -компонентов фокального потенциала вестибулярного ядерного комплекса.  $N_0$ -компонент представляет собой быстрое монофазное отклонение, отражающее синхронизированную активность афферентного залпа, не меняется при парном и частотном раздражении или незначительно уменьшается при коротких межстимульных интервалах, регистрируется с максимальной амплитудой в поле, где нервные волокна вступают в мозг, представляя пресинаптический потенциал.

$N_1$ -компонент - моносинаптический отрицательный потенциал подчиняется технике парного раздражения с изменяющимися межимпульсными расстояниями и представляет собой постсинаптическую деполяризацию нейронов вестибулярного ядерного комплекса.

Институт физиологии им. Л.А. Орбели НАН РА

### Литература

1. *Wilson V.J., Jones G.M.* - Plenum Press. New York, London. 1979. P. 365.
2. *Strake H., Biesdorf S., Dieringer N.* - J. Neurophysiol. 1997. V. 78. P. 1363-1372.
3. *Fanardjian V. V., Manvelyan L. R., Zakarian V. V., Pogossian V. I., Nasoyan A. M.* - Neurosci. 1999. V. 94. P. 845-857
4. *Strake H., Dieringer N.* - J. Neurophysiol. 1999. V. 75. N 5. P. 3087-3101.
5. *Фанарджян В.В., Манвелян Л. Р., Насоян А. М.* - ДАН РАН. 2001. Т. 376. N 4. С. 558-562.
6. *Killackey H.P., Phoades R.W., Bennet-Clarke C.A.* - Trends Neurosci. 1995. V. 18. P. 402-407.
7. *Fadiga E., Brookhart M.* - Neurophysiol. 1962. V. 26. P. 790-805.

**Ակադեմիկոս Վ. Բ. Տանարջյան, Ե. Վ. Պապոյան, Ի. Գ. Սարգսյան,  
Է. Ա. Հովհաննիսյան**

**Գորտի վեատիբուլյար կորիզների համալիրի ֆոկալ պոտենցիալների  
ծագման մասին**

Հետազոտվել է վեատիբուլյար համալիրի կորիզների ֆոկալ պոտենցիալների բաղադրամասերի կազմը: Ուշադրությունը կենտրոնացվել է լճային գորտի վեատիբուլյար կորիզների ֆոկալ պոտենցիալի հետսինապսային բաղադրամասերի վրա: Զույգ գրգռման մեթոդով ուսումնասիրվել են բացասական ֆոկալ երկբաղադրիչները: Վեատիբուլյար կորիզների համալիրի ֆոկալ պոտենցիալների բնութագրերի հստակ տարբերակման հիման վրա, փորձարկված զույգ գրգռումով ցույց է տրվել ֆոկալ պոտենցիալների առաջին և երկրորդ բաղադրամասերի տարբեր ծագումը: Առաջին բացասական բաղադրիչը կարող է դասվել նախասինապսային ծագում ունեցող պատասխաններին, իսկ երկրորդ բացասական ալիքը բնորոշ է հետսինապսային առանձնահատկություններին: