

ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ  
 ДОКЛАДЫ

Том 98 № 4

1998

Խմբագրական խորհուրդ

ԳԱԱՐԶՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. քննաձու (պատ. քարտուղար), Է.Գ.ԱՖՐԻԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Գ.Ե.ԲԱԴԴԱՍՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Է.Ս.ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Վ.Վ.ԴՈՎԼԱՏՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ա.Ա.ԹԱԼԱԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Վ.Յ.ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Վ.Գ.ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Յու.Յ.ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Ֆ.Տ.ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Ղ.Մ.ՍԵՂՈՒԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագիր), Վ.Բ.ՖԱՆԱՐԺՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս

Редакционная коллегия

Գ.Ա.ԱՐՅՄԱՆՅԱՆ, канд. техн. наук (отв. секретарь), Э.Г.АФРИКЯН, академик НАН Армении, Г.Е.БАГДАСАРЯН, академик НАН Армении, Э.С.ГАБРИЭЛЯН, академик НАН Армении, В.В.ДОВЛАТЯН, академик НАН Армении (зам. отв. редактора), В.О.КАЗАРЯН, академик НАН Армении, К.Г.КАРАГЕЗЯН, академик НАН Армении, Ф.Т.САРКИСЯН, академик НАН Армении, Д.М.СЕДРАКЯН, академик НАН Армении (отв. редактор), А.А.ТАЛАЛЯН, академик НАН Армении, Ю.Г.ШУКУРЯН, академик НАН Армении, В.В.ФАНАРДЖЯН, академик НАН Армении

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Վ.Ա.Միրզոյան – Բազմաչափ ծնորդներով կոնեք էյնշտեյնյան տարածությունների վրա . . . . . 265

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Մ.Ա.Չաղոյան – Լարումների կենտրոնացման խնդիրը վերջավոր դիֆորմացիաների ժամանակ . . . . . 269

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Վ.Ս.Տոնոյան, Ս.Ա.Մելքումյան, Ա.Ժ.Գրիգորյան – Ուղղահայաց համառանցք վերջավոր և կիսաանվերջ ճեղքերով թուլացվող օրթոտրոպ առաձգական կիսահարթության համար ոչ համաչափ կոնտակտային խնդիր . . . . . 274

Դ.Յա.Բարձոկաս, Ա.Ի.Չոբնին, [Բ.Ա.Կուտրյավցև] – Առաձգականության տեսության եզրային խնդիրների լուծման ժամանակ օգտագործվող Կոնտորովիչ-Լեբեդևի տիպի ընդհանրացված ինտեգրալ ձևափոխություն . . . . . 280

ԷԼԵԿՏՐԱԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ս.Ա.Մելքումյան – էլեկտրաառաձգականության առանցքահամաչափելի ինդուկցիոն խնդիրը պիեզակերամիկական տարածության համար . . . . . 286

ՖԻԶԻԿԱ

Ռ.Ն.Բալասանյան, Ա.Ս.Հովհաննեսյան, Ա.Ս.Թառումյան –  $\alpha$ -LiIՕ3 բյուրեղների անճեցման համար պատրաստված լուծույթների ուսումնասիրությունը . . . . . 291

Ռ.Ա.Ալանակյան – Հիգսի բոզոնների ծնումը ֆոտոնների հետ  $\mu\mu$  – արագացուցիչներում . . . . . 296

Դ.Մ.Սեդրակյան, Ա.Ժ.Խաչատրյան – Ռեկուրբենտ առնչություններ միաչափ պոտենցիալ դաշտում էլեկտրոնի ցրման խնդրում . . . . . 301

ԱՍՏՂԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Պ.Մ.Հերունի – Նախապատմական էարե աստղադիտարան՝ Քարահունջ – Քարենիշր . . . . . 307

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

Գ.Ա.Կարդաշյան – Ֆեռոմագնիսական նյութերի մագնիսական թափանցելիության որոշումը . . . . . 329

ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱ

Ս.Մ.Ղազարյան, Ս.Ս.Ղազարյան – Ներքին ջրատար շերտից ջրիանման դեպքում բազմաշերտ ֆիլտրացիոն միջավայրի հորատանցքերի գծային շարքի հաշվարկը . . . . . 335

ՄԻԿՐՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

Մ.Ժ.Ղուլինյան – էլեկտրոն-խոռոչային զույգերի գեներացիայի ֆունկցիայի տեսքի ազդեցությունը կրկնակի ներարկման պայմաններում աշխատող վարիզոնային կառուցվածքում գրգռվող ֆոտոլյումինեսցենցիայի վրա . . . . . 340

ԱՎՏՈՄԱՏԻԿԱ

Է.Վ.Ղազարյան, Մ.Զ.Բաղդասարյան – Պետրիի ցանցը տեխնոլոգիական օբյեկտների մոդելավորման խնդրում . . . . . 347

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ

Յու.Ա.Գասպարյան – Ավտոճանապարհների բետոնե ծածկերի տեխնիկական ախտորոշումը ակուստիկ եղանակով . . . . . 352

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

Ռ.Հ.Ռևազյան – Քիմիական տարրերի կենսաերկրաֆիմիական ցիկլայնությունը՝ էկոհամակարգերի կայունության պրոբլեմը . . . . . 357

ԲԺՇԿԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ա.Ս.Աղաբալյան, Մ.Հ.Թումանյան, Ռ.Ս.Չաքարյան, Կ.Գ.Ղարազյոզյան – Վերականգնողական գործընթացների ստիմուլյացիան փորձնական հեպատիտի ժամանակ . . . . . 363

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Վ.Լ.Չաքարյան – Գորտի վեստիբուլյար կորիզների համակարգչային վերակառուցում . . . . . 367

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

- В.А.Мирзоян* – Конусы с многомерными образующими над эйнштейновыми пространствами . . . . . 265

### МЕХАНИКА

- М.А.Задоян* – Задача концентрации напряжений при конечных деформациях . . . . . 269

### ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- В.С.Тоноян, С.А.Мелкумян, А.Ж.Григорян* Несимметричная контактная задача для упругой ортотропной полуплоскости, ослабленной вертикальными соосными конечным и полубесконечным разрезами . . . . . 274

- Д.Я.Бардзокас, А.И.Зобнин, Б.А.Кудрявцев* – Обобщенное интегральное преобразование типа Конторовича-Лебедева, используемое при решении граничных задач теории упругости разрезами . . . . . 280

### ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

- С.А.Мелкумян* – Осесимметричная индукционная задача электроупругости для пьезокерамического полупространства . . . . . 286

### ФИЗИКА

- Р.Н.Баласанян, А.С.Оганесян, А.С.Тарумян* – Исследование растворов, приготовленных для выращивания кристаллов  $\alpha$ -LiIO<sub>3</sub>. . . . . 291

- Р.А.Аланакян* – Рождение хиггсовских бозонов с фотонами в  $\mu^+\mu^-$ -столкновениях. . . . . 296

- Д.М.Седракян, А.Ж.Хачатрян* – Рекуррентные соотношения для задачи рассеяния электрона на одномерном потенциале . . . . . 301

### АСТРОНОМИЯ

- П.М.Геруни* – Доисторическая каменная обсерватория Карахундж-Карениш . . . . . 307

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Г.А.Кардашян* – Определение магнитной проницаемости ферромагнетиков . . . . . 329

### ГИДРАВЛИКА

- С.М.Казарян, С.С.Казарян* – Расчет линейного ряда скважин в многослойной фильтрующей среде при откачке из нижнего водоносного горизонта . . . . . 335

### МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

- М.Ж.Гулинян* – Влияние вида функции генерации электронно-дырочных пар на фотолюминесценцию из варизонной структуры с двойной инжекцией . . . . . 340

### АВТОМАТИКА

- Э.В.Казарян, М.К.Багдасарян* – Сеть Петри в задаче моделирования технологических объектов . . . . . 347

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Ю.А.Гаспарян* – Техническая диагностика бетонных покрытий автодорог с использованием акустического метода . . . . . 352

### ЭКОЛОГИЯ

- Р.Г.Ревазян* – Биогеохимическая цикличность химических элементов и проблема устойчивости экосистем. . . . . 357

### МЕДИЦИНА

- А.С.Агабалян, М.А.Туманян, Р.А.Захарян, К.Г.Карагезян* – Стимуляция восстановительных процессов при экспериментальном гепатите . . . . . 363

### ФИЗИОЛОГИЯ

- В.Л.Закарян* – Компьютерная реконструкция вестибулярных ядер лягушки . . . . . 367

## CONTENTS

|   |     |
|---|-----|
| • MATHEMATICS   |     |
| <i>V.A.Mirzoyan</i> – Cones with multi-dimensional generatrices over Einstein spaces .....  | 265 |
| MECHANICS   |     |
| <i>M.A.Zadoyan</i> – Stress concentration problem for the case of finite strains. ....  | 269 |
| THEORY OF ELASTICITY  |     |
| <i>V.S.Tonoyan, S.A.Melkounmyan, A.Gz.Grigoryan</i> – An asymmetric contact problem for an elastic orthotropic halfplane, weakened by vertical coaxial final and semi-final cuts .....          | 274 |
| <i>D.Y.Bardzokas, A.I.Zobnin, B.A.Kudryavtsev</i> – Generalize integral transformation of Kontorovich-Lebedev type, applied for solution of boundary problems of the theory of elasticity ..... | 280 |
| THEORY OF ELECTROELASTICITY   |     |
| <i>S.A.Melkounmyan</i> – An axisymmetric inductive problem of electroelasticity for a piezoceramic half-space .....   | 286 |
| PHYSICS   |     |
| <i>R.N.Balasaranyan, A.S.Hovhanesyan, A.S.Tarumyan</i> – The investigation of solution prepared for the growth of $\alpha$ -LiIO <sub>3</sub> crystals .....                                    | 291 |
| <i>R.A.Alanakyanyan</i> – Higgs bosons production with photons at $\mu^+ \mu^-$ -colliders .....  | 296 |
| <i>D.M.Sedrakyan, Ash.Zh.Khachatrian</i> – Recurrent connection for the problem of the electron scattering on the one dimensional potential .....   | 301 |
| ASTRONOMY   |     |
| <i>P.M.Gerouni</i> – Prehistoric stone observatory Carahunge–Carenish .....   | 307 |
| ELECTROTECHNICS   |     |
| <i>G.A.Kardashyan</i> – Magnetic permeability measurement for soft magnetic materials .....   | 329 |
| HYDRAULICS  |     |
| <i>S.M.Ghazaryan, S.S. Ghazaryan</i> – Calculation of wells located in a row for the pali-layer filtration area in a case of pumping of water from downstream layers .....                      | 335 |
| MICROELECTRONICS  |     |
| <i>M.Zh.Ghoolinian</i> – The electron-hole pairs generation function's shape's influence on the photoluminescence from graded-gap structure operating in the double injection mode .....        | 340 |
| AUTOMATIZATION  |     |
| <i>E.B.Kazarian, M.K.Baghdasaryan</i> – Network Petri in problem of modeling of technological objects .....   | 347 |
| BUILDING CONSTRUCTIONS  |     |
| <i>Yu.A.Gasparyan</i> – Technical diagnostics of concrete road-transport surfacings by acoustic method .....  | 352 |
| ECOLOGY   |     |
| <i>R.G.Revazyan</i> – Biogeochemical cycle of chemical elements and the problems of ecosystems stability .....  | 357 |
| MEDICINE  |     |
| <i>A.S.Agabalian, M.A.Tumanian, R.A. Zakharian, K.J.Karagezian</i> – Stimulation of restoration proceses during experimental hepatitis .....  | 363 |
| PHYSIOLOGY  |     |
| <i>V.L.Zakarian</i> – Computer reconstruction of the frog vestibular nuclei .....   | 367 |

Отпечатано на копи-принтере Rex Rotary CP1280 фирмы RICOH

Заказ №39. Тираж 200.

Сдано в набор 16.10.98. Подписано к печати 26.11.98.

Печ. л. 7,75. Бумага КУМ-ultra. Цена договорная.

Издательство "Тигран" НАН РА Компьютерная редакционно-издательская служба

375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24-г.

Адр.ред. 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна 24-г, Шэт. к. 13, т.27-36-95

УДК 514.76

В. А. Мирзоян

**Конусы с многомерными образующими над эйнштейновыми пространствами**

(Представлено академиком НАН Армении А.А.Талаляном 14/IV 1998)

Риманово пространство  $M$  называется *Ric*-полусимметрическим, если его тензор Риччи  $R_1$  удовлетворяет условию  $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$ , где  $R(X, Y) = [\nabla_X, \nabla_Y] - \nabla_{[X, Y]}$  – операторы кривизны римановой связности  $\nabla$  на  $M$ . *Ric*-полусимметрические пространства являются естественными обобщениями полусимметрических ( $R(X, Y) \cdot R = 0$ ,  $R$  – тензор кривизны), эйнштейновых и некоторых других классов римановых пространств. В (1) доказано, что классификация *Ric*-полусимметрических пространств сводится к классификации эйнштейновых и полуэйнштейновых пространств. Теория эйнштейновых пространств, характеризуемых условием  $R_1 = \lambda I$  ( $\lambda = \text{const}$ ), как известно, хорошо разработана (2,3). Полуэйнштейновы пространства впервые были выделены в (4). Их простейшими примерами служат конусы с одномерными образующими над пространствами постоянной кривизны и кэлеровы конусы (5). Однако эти конусы удовлетворяют более сильному условию  $R(X, Y) \cdot R = 0$ .

Цель настоящей работы – построить существенные примеры неприводимых полуэйнштейновых пространств, имеющих произвольный индекс дефектности. Эта задача была поставлена перед автором академиком А.Т.Фоменко в апреле 1997г.

Пусть  $M$  – риманово пространство и  $T_x$  – касательное пространство к  $M$  в точке  $x$ . Подпространство  $T_x^0 = \{X \in T_x; R(X, Y) = 0 \forall Y \in T_x\}$  называется пространством дефектности в точке  $x$ , а его размерность – индексом дефектности в этой точке. Распределение  $T^0$  инволютивно и вполне геодезично (6). Для любого  $X \in T_x^0$  имеем  $R_1(X) = 0$ . Ортогональное дополнение  $T_x^1$  к  $T_x^0$  в  $T_x$  инвариантно относительно операторов  $R(X, Y)$  и тензора  $R_1$ . Риманово пространство  $M$  с ненулевым индексом дефектности называется полуэйнштейновым, если его тензор Риччи на каждом инвариантном подпространстве  $T_x^1$

имеет только одно ненулевое собственное значение. Аналогично определяются псевдоримановы полуэйнштейновы пространства.

Пусть  $'R_k$  – псевдоевклидово пространство сигнатуры  $(l, k)$  ( $0 \leq l \leq k$ ) и с координатами  $x^1, \dots, x^k$ . Пусть  $C_1, \dots, C_k$  – ненулевые постоянные,  $C$  – произвольная постоянная и пусть неравенство  $C_i x^i + C > 0$  ( $i = 1, \dots, k$ ) определяет в  $'R_k$  некоторое полупространство  $'R_k^+$ . Если  $N$  –  $m$ -мерное риманово пространство с метрикой  $d\sigma^2(x^{k+1}, \dots, x^n)$  ( $n = k + m$ ), то многообразие  $'R_k^+ \times N$ , наделенное метрикой

$$ds^2 = -\sum_{a=1}^l (dx^a)^2 + \sum_{a=l+1}^k (dx^a)^2 + (C_i x^i + C)^2 d\sigma^2, \quad (1)$$

будем называть конусом с  $k$ -мерными образующими над  $N$ . При  $l=0$  этот конус является римановым пространством, а при  $l=k$  – псевдоримановым пространством сигнатуры  $(l, n)$ . Вершиной конуса является гиперплоскость в  $'R_k$ , определяемая уравнением  $C_i x^i + C = 0$ . Если в  $'R_k$  полупространство определить неравенством  $C_i x^i + C < 0$ , то можем определить конус  $'R_k^- \times N$ , изометричный конусу  $'R_k^+ \times N$ . При  $l=0, k=1$  получаем известное определение конуса над римановым пространством (3,5).

Пусть  $'R_k$  и  $N$ , как и выше. Многообразие  $'R_k \times N$ , наделенное метрикой

$$ds^2 = -\sum_{a=1}^l (dx^a)^2 + \sum_{a=l+1}^k (dx^a)^2 + C^2 d\sigma^2(x^{k+1}, \dots, x^n),$$

где  $C = \text{const} (\neq 0)$ , является приводимым пространством и называется цилиндром с  $k$ -мерными образующими над  $N$ .

**Теорема 1.** Пусть  $G^1(x^1, \dots, x^k), \dots, G^p(x^1, \dots, x^k)$  – положительные функции, определенные в области  $U \subset 'R_k$ , и пусть  $N^1, \dots, N^p$  – римановы пространства с метриками  $d\sigma_1^2, \dots, d\sigma_p^2$  соответственно. Тогда на многообразии  $U \times N^1 \times \dots \times N^p$ , наделенном метрикой

$$ds^2 = -\sum_{a=1}^l (dx^a)^2 + G^u d\sigma_u^2, \quad (2)$$

где  $0 \leq l \leq k$ , направления  $\partial / \partial x^i$  в каждой точке принадлежат пространству дефектности в том и только в том случае, если  $G^u = (C_i x^i + C^u)^2$  для любого  $u = 1, \dots, p$ , т.е., если каждая проекция  $U \times N^u$  произведения является либо конусом или цилиндром над  $N^u$ , либо цилиндром с  $q_u$ -мерными ( $1 \leq q_u < k$ ) образующими над конусом с  $(k - q_u)$ -мерными образующими над  $N^u$ .

В теореме 1 многообразие  $U \times N^1 \times \dots \times N^p$  с метрикой (2) является частным случаем полуприводимого пространства (7). Следуя (3) и (8), будем называть его скрещенным произведением многообразий  $U, N^1, \dots, N^p$  с

базой  $U$  и скрещивающими функциями  $G^1, \dots, G^p$ . Оно является некоторым расслоением с базой  $U$  и слоями  $N^1 \times \dots \times N^p$ .

Пусть  $N$  является или двумерным или эйнштейновым пространством размерности  $m$ . Тогда его тензор Риччи  $R_i^N$  пропорционален метрическому тензору  $g^N$ , т.е.  $R_i^N = \lambda g^N$ . Надеясь многообразие  ${}^l R_k^+ \times N$  метрикой (1) и вычисляя по стандартным формулам римановой геометрии (см.(9)) компоненты тензора Риччи, получим

$$R_{\alpha\beta} = R_{\alpha\alpha} = R_{ab} = R_{\alpha\sigma} = R_{\sigma\alpha} = 0,$$

$$R_{rs} = \left[ \lambda + (1-m) \left( \sum_{a=l+1}^k C_a^2 - \sum_{\alpha=1}^l C_\alpha^2 \right)^2 \right] (C_l x^l + C)^{-2} g_{rs}, \quad (3)$$

где  $r, s = k+1, \dots, n$ , а  $g_{rs}$  — компоненты метрического тензора.

Анализ формулы (3) приводит к следующим теоремам.

**Теорема 2.** *Всякий конус  ${}^l R_k^+ \times N$  ( $0 < l < k$ ) над эйнштейновым пространством  $N$  является либо 1) неприводимым полуэйнштейновым пространством индекса дефектности  $k$ , либо 2) риччи-плоским пространством. Более того, выбором вершины конуса всегда можно добиться как случая 1), так и случая 2).*

**Теорема 3.** *Пусть  $N$  — эйнштейново пространство с эйнштейновой константой  $\lambda$ . Если  $\lambda \leq 0$ , то всякий конус  ${}^0 R_k^+ \times N$  над  $N$  является неприводимым полуэйнштейновым пространством индекса дефектности  $k$ . Если  $\lambda > 0$ , то всякий конус  ${}^0 R_k^+ \times N$  является либо 1) неприводимым полуэйнштейновым пространством индекса дефектности  $k$ , либо 2) риччи-плоским пространством. Более того, выбором вершины конуса всегда можно добиться как случая 1), так и случая 2).*

**Теорема 4.** *Пусть  $N$  — эйнштейново пространство с эйнштейновой константой  $\lambda$ . Если  $\lambda \geq 0$ , то всякий конус  ${}^k R_k^+ \times N$  над  $N$  является неприводимым полуэйнштейновым пространством индекса дефектности  $k$ . Если  $\lambda < 0$ , то всякий конус  ${}^k R_k^+ \times N$  является либо 1) неприводимым полуэйнштейновым пространством индекса дефектности  $k$ , либо 2) риччи-плоским пространством. Более того, выбором вершины конуса всегда можно добиться как случая 1), так и случая 2).*

**Теорема 5.** *Пусть  $N$  — двумерное риманово пространство непостоянной кривизны. Тогда всякий конус  ${}^l R_k^+ \times N$ ,  $0 \leq l \leq k$ , над  $N$  является (по крайней мере локально) неприводимым полуэйнштейновым пространством индекса дефектности  $k$ .*

Описанный в теоремах 2-4 способ построения риччи-плоских конусов путем выбора вершины, допускает следующее обобщение, дающее метод построения риччи-плоских пространств над конечным семейством эйнштейновых пространств.

Теорема 6. Пусть  $N^1, \dots, N^k$  – эйнштейновы пространства размерностей  $m_1, \dots, m_k$  с положительными эйнштейновыми константами  $\lambda_1, \dots, \lambda_k$  и метриками  $ds_1^2, \dots, ds_k^2$  соответственно. Пусть  $\|\tilde{C}_v^u\|$  – ортогональная матрица порядка  $k$  ( $u, v = 1, \dots, k$ ), с вектор-строками  $\tilde{C}^u = (\tilde{C}_1^u, \dots, \tilde{C}_k^u)$ , а  $\|C_v^u\|$  – квадратная матрица порядка  $k$  с вектор-строками  $C^u = (C_1^u, \dots, C_k^u)$ , определяемыми по формуле

$$C^u = \sqrt{\frac{\lambda_u}{m_u - 1}} \tilde{C}^u.$$

Пусть  $R_k$  – евклидово пространство с декартовыми координатами  $x^1, \dots, x^k$ , а  $U$  – такая область в  $R_k$ , на которой при каждом  $u$  либо  $C_v^u x^v + \bar{C}^u > 0$ , либо  $C_v^u x^v + \bar{C}^u < 0$ , где  $\bar{C}^u$  – произвольные постоянные. Тогда многообразие  $U \times N^1 \times \dots \times N^k$ , наделенное метрикой

$$ds^2 = \sum_{v=1}^k (dx^v)^2 + (C_v^u x^v + \bar{C}^u)^2 ds_u^2,$$

является риччи-плоским пространством.

Государственный инженерный университет Армении

#### Վ. Ա. ՄԻՐԶՈՅԱՆ

##### Բազմաչափ ծնորդներով կոներ էյնշտեյնյան տարածությունների վրա

Աշխատանքում սահմանված են բազմաչափ ծնորդներով կոներ կամայական ուրմանյան տարածությունների վրա: Ապացուցված է, որ կամայական ուրմանյան տարածությունների վրա կառուցված էվկլիդեսյան կամ պսևդոէվկլիդեսյան ծնորդներով կոները կամ կհսաէյնշտեյնյան տարածություններ են, կամ էլ գրոյական Բիչչի տենզորով տարածություններ: Այս կոները հանդիսանում են կհսաէյնշտեյնյան տարածությունների առաջին հսական օրինակներ: Աշխատանքում նկարագրված է նաև գրոյական Բիչչի տենզորով տարածությունների կառուցման նոր մեթոդ վերջավոր թվով էյնշտեյնյան տարածությունների վրա:

#### ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> В.А.Мирзоян, Изв. вузов. Математика, №6, с.80-89, 1992. <sup>2</sup> А.З.Петров, Пространства Эйнштейна, М., Физматгиз, 1961. <sup>3</sup> А.Бессе, Многообразия Эйнштейна, т.1,2, М., Мир, 1990. <sup>4</sup> В.А.Мирзоян, Итоги науки и техники, Проблемы геометрии, т.23, с.29-66 (1991). <sup>5</sup> Z.I.Szabo, J.Diff. Geom., v.17, p.531-582 (1982). <sup>6</sup> S.S.Chern, N.Kuiper, Ann.Math., v.56, №3, p.422-430 (1952). <sup>7</sup> Г.И.Кручкович, Тр. семинара по векторному и тензорному анализу, т.11, с.103-128 (1961). <sup>8</sup> R.Bishop, B.O'Neill, Trans.Amer.Math.Soc., v.145, p.1-49 (1969). <sup>9</sup> П.К.Рашевский, Риманова геометрия и тензорный анализ, М., Наука, 1967.

УДК 539.3

Академик НАН Армении М. А. Задоян

### Задача концентрации напряжений при конечных деформациях

(Представлено 28/XI 1997)

Рассматривается задача концентрации напряжений в условиях плоской деформации на угловой точке клиновидного тела при конечных деформациях. Принимается, что материал несжимаемый и упрочняется по степенному закону

$$\sigma_0 = k\varepsilon_0^m,$$

где  $\varepsilon_0$  и  $\sigma_0$  – интенсивности деформации и обобщенных напряжений,  $k$  и  $m$  – механические параметры материала, определяемые из эксперимента. До деформации приведем цилиндрическую систему координат  $r\theta$ : начало помещаем на вершине клина  $r=0$  и  $0 \leq \theta \leq \alpha$ , где  $\alpha$  угол раствора этого клина. Считаем, что окрестность рассматриваемой точки свободна от воздействий внешних сил.

Из трехмерных дифференциальных уравнений равновесия в криволинейных координатах, приведенных в (1), переходя к случаю плоской деформации, в цилиндрических координатах получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial s_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial s_\alpha}{\partial \theta} + \frac{s_r - s_\theta}{r} &= 0, \\ \frac{\partial s_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial s_\theta}{\partial \theta} + \frac{s_{r\theta} + s_\alpha}{r} &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

где введены обозначения:

$$\begin{aligned} s_r &= \sigma_r^* \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \sigma_{r\theta}^* \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v}{r} \right), \\ s_\theta &= \sigma_\theta^* \frac{\partial v}{\partial r} + \sigma_\theta^* \left( 1 + \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right), \\ s_{r\theta} &= \sigma_r^* \frac{\partial v}{\partial r} + \sigma_{r\theta}^* \left( 1 + \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right), \\ s_\alpha &= \sigma_\alpha^* \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \sigma_\theta^* \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v}{r} \right) \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь  $\sigma_{ij}^*$  обобщенные напряжения, выражаемые через истинные напряжения  $\sigma_{ij}$  следующим образом:

$$\sigma_r^* = \sqrt{\frac{1+2\varepsilon_\theta}{1+2\varepsilon_r}} \sigma_r, \quad \sigma_\theta^* = \sqrt{\frac{1+2\varepsilon_r}{1+2\varepsilon_\theta}} \sigma_\theta, \quad \sigma_{r\theta}^* = \sigma_{\theta r}^* = \sigma_{r\theta} = \sigma_{\theta r}.$$

Зависимости компонентов деформации через перемещения в условиях плоской деформации имеют следующую форму:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 \right], \\ \varepsilon_\theta &= \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v}{r} \right)^2 \right], \\ 2\varepsilon_{r\theta} &= \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial u}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v}{r} \right) + \frac{\partial v}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Условие несжимаемости материала сводится к уравнению

$$\varepsilon_r + \varepsilon_\theta + 2\varepsilon_r \varepsilon_\theta - 2\varepsilon_{r\theta}^2 = 0. \quad (4)$$

Соотношения между компонентами обобщенных напряжений и деформаций принимаем согласно деформационной теории Генки

$$\sigma_{ij}^* - \delta_{ij} \sigma^* = 2k\varepsilon_0^{m-1} \varepsilon_{ij}, \quad (5)$$

причем  $\delta_{ij}$  символ Кронекера.

Перемещения ищем в виде

$$u = r^\lambda \psi(\theta, \lambda), \quad v = r^\lambda f(\theta, \lambda), \quad (6)$$

где  $\lambda$  искомый параметр, а  $\psi$  и  $f$  неизвестные функции полярного угла  $\theta$  и параметра  $\lambda$ .

Деформации согласно (3) и (6) будут

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= r^{\lambda-1} (\lambda\psi + r^{\lambda-1} F_r), \\ \varepsilon_\theta &= r^{\lambda-1} (f' + \psi + r^{\lambda-1} F_\theta), \\ 2\varepsilon_{r\theta} &= r^{\lambda-1} (\psi' + (\lambda-1)f + r^{\lambda-1} F_{r\theta}), \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$F_r = \frac{\lambda^2}{2} (\psi^2 + f^2), \quad F_\theta = \frac{1}{2} [(f' + \psi)^2 + (\psi' - f)^2], \quad F_{r\theta} = \lambda(\psi\psi' + ff'). \quad (8)$$

Далее будем рассматривать случай  $\lambda < 1$ . Тогда из (7) находим

$$\varepsilon_{ij} = \mu_{ij} r^{2(\lambda-1)} F_{ij}, \quad (9)$$

причем  $\mu_{11} = \mu_{22} = 1$ , а  $\mu_{12} = 1/2$ .

Из (4) следует уравнение

$$(\psi\psi' + ff')^2 - (\psi^2 + f^2) [(f' + \psi)^2 - (\psi' - f)^2] = 0. \quad (10)$$

Согласно (5) и (9) получаем

$$\begin{aligned}\sigma_r^* &= \sigma_\theta^* + 2kr^{2(\lambda-1)m}(F_r - F_\theta)\chi, \\ \sigma_{r,\theta}^* &= kr^{2(\lambda-1)m}F_{r,\theta}\chi,\end{aligned}\quad (11)$$

где

$$\chi = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{m-1} \left(\sqrt{F_r^2 - F_r F_\theta + F_\theta^2 + 3/4 F_{r,\theta}^2}\right)^{m-1}. \quad (12)$$

Вводя обозначения

$$r^{\lambda-1}\sigma_\theta^*(r,\theta) = T(r,\theta) \quad (13)$$

и используя представления (6), соотношения (11), из (2) находим

$$\begin{aligned}s_r &= \lambda\psi T + kr^{\nu-1}[2\lambda\psi(F_r - F_\theta) + (\psi' - f)F_{r,\theta}]\chi, \\ s_\theta &= (f + \psi)T + \lambda kr^{\nu-1}fF_{r,\theta}\chi, \quad \nu = (\lambda - 1)(2m + 1) + 1, \\ s_{r,\theta} &= \lambda f T + kr^{\nu-1}[2\lambda f(F_r - F_\theta) + (f' + \psi)F_{r,\theta}]\chi, \\ s_\theta &= (\psi' - f)T + \lambda kr^{\nu-1}\psi F_{r,\theta}\chi.\end{aligned}$$

Подставляя эти выражения в уравнения (1), получаем

$$\begin{aligned}\lambda\psi \frac{\partial T}{\partial r} + (\psi' - f)\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \theta} + [\psi'' - 2f' + (\lambda - 1)\psi]\frac{1}{r}T + kr^{\nu-2}R_1 &= 0, \\ \lambda f \frac{\partial T}{\partial r} + (f' + \psi)\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \theta} + [f'' + 2\psi' + (\lambda - 1)f]\frac{1}{r}T + kr^{\nu-2}R_2 &= 0,\end{aligned}\quad (14)$$

где

$$\begin{aligned}R_1 &= \lambda\psi F_{r,\theta}\chi' + [\lambda\psi F_{r,\theta}' + (\lambda + \nu)(\psi' - f)F_{r,\theta} + 2\lambda\nu\psi(F_r - F_\theta)]\chi, \\ R_2 &= \lambda f F_{r,\theta}\chi' + [\lambda f F_{r,\theta}' + (\lambda + \nu)(f' + \psi)F_{r,\theta} + 2\lambda\nu f(F_r - F_\theta)]\chi.\end{aligned}\quad (15)$$

После исключения  $\partial T / \partial r$  из (14) приходим к уравнению

$$\frac{\partial}{\partial \theta}(\Omega T) + k(\lambda + \nu)r^{\nu-1}\Omega F_{r,\theta}\chi = 0, \quad (16)$$

где  $\Omega = \varphi^2 + f^2 + \psi'f - f'\psi$ . Интегрируя и учитывая условие отсутствия нагрузки на крае  $\theta = 0$ , из (16) получаем,

$$T = k \frac{\omega}{\Omega} r^{\nu-1},$$

причем  $\omega(\theta)$  — новая неизвестная функция

$$\omega = -(\lambda + \nu) \int_0^\theta F_{r,\theta} \Omega \chi d\theta. \quad (17)$$

Далее, исключая  $\partial T / \partial \theta$  из системы (14), находим

$$\lambda\Omega \frac{\partial T}{\partial r} + H \frac{T}{r} + \lambda\Omega[(F_{r,\theta}\chi)' + 2\nu(F_r - F_\theta)\chi]kr^{\nu-2} = 0, \quad (18)$$

где

$$H = (f' + \psi)\psi'' + (f - \psi')f''' - 2(\psi'^2 + f'^2) + (\lambda - 1)(\psi^2 + f^2) + (\lambda - 3)(\psi f' - f\psi'). \quad (19)$$

Подставляя (17) в уравнение (18), запишем уравнение

$$\lambda^2 \Omega^2 \left[ F'_{r\theta} + 2\nu(F_r - F_\theta) + F_{r\theta} \frac{\chi'}{\chi} \right] + \frac{\omega}{\chi} [H + \lambda(\nu - 1)\Omega] = 0. \quad (20)$$

Вычислением находим

$$\frac{\chi'}{\chi} = -(1 - m)(aF'_r + bF'_\theta + cF'_{r\theta}), \quad (21)$$

где

$$a = \frac{1}{J}(F_r - \frac{1}{2}F_\theta), \quad b = \frac{1}{J}(F_\theta - \frac{1}{2}F_r), \\ c = \frac{3}{4} \frac{1}{J} F_{r\theta}, \quad J = F_r^2 - F_r F_\theta + F_\theta^2 + \frac{3}{4} F_{r\theta}^2.$$

Подставляя выражения (8), (19) и (21) в (20) и вводя обозначения

$$\psi' = s, \quad f' = \tau \quad (22)$$

приходим к уравнению

$$A_1 s' + B_1 \tau' + C_1 = 0, \quad (23)$$

где

$$A_1 = \lambda^2 \Omega^2 \left[ \psi + (1 - m)b(\psi s + f\tau)(f - s) \right] + \frac{\omega}{\chi} (\tau + \psi),$$

$$B_1 = \lambda^2 \Omega^2 \left[ f - (1 - m)b(\psi s + f\tau)(\psi + \tau) \right] + \frac{\omega}{\chi} (f - \tau),$$

$$C_1 = \lambda \Omega^2 Q + \omega q,$$

$$q = \{ [\lambda - 3 + \lambda(\nu - 1)](\psi\tau - sf) - 2(\tau^2 + s^2) + \lambda\nu(f^2 + \psi^2) \} \frac{1}{\chi},$$

$$Q = \nu(\lambda^2 - 1)(\psi^2 + f^2) + (\lambda - \nu)(\tau^2 + s^2) - 2\nu(\psi\tau - sf) - \\ - \lambda(1 - m)[(a\lambda^2 + b)(\psi s + f\tau)^2 + \lambda c(\psi s + f\tau)(s^2 + \tau^2)],$$

$$F_{r\theta} = \lambda(s\psi + f\tau), \quad F_\theta = \frac{1}{2}[(\psi + \tau)^2 + (s - f)^2].$$

Далее, дифференцируя (10) и учитывая обозначения (22), получим

$$A_2 s' + B_2 \tau' + C_2 = 0, \quad (24)$$

где

$$A_2 = \psi(\psi s + f\tau) + \psi^2 + f^2, \quad B_2 = f(\psi s + f\tau) - \psi^2 - f^2,$$

$$C_2 = (\psi s + f\tau)[s^2 + \tau^2 - (\tau + \psi)^2 + (s - f)^2] - (\psi^2 + f^2)(s + \tau).$$

Из системы уравнений (23), (24) при условии  $A_1 B_2 - A_2 B_1 \neq 0$  приходим к следующим дифференциальным уравнениям:

$$s' = \frac{B_1 C_2 - B_2 C_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1}, \quad \tau' = -\frac{A_1 C_2 - A_2 C_1}{A_2 B_2 - A_2 B_1}, \quad (25)$$

правые части которых содержат пять неизвестных функций  $\psi, f, s, \tau, \omega$ .

Дифференцируя (17), находим

$$\omega' = -\lambda(\lambda + \nu)(\psi s + f\tau)\Omega\chi. \quad (26)$$

Уравнение (10) переписется в виде

$$(\psi s + f\tau)^2 - (\psi^2 + f^2)[(\tau + \psi)^2 - (s - f)^2] = 0. \quad (27)$$

В окрестности краевой точки на гранях  $\theta = 0$  и  $\theta = \alpha$  отсутствуют нагрузки, тогда

$$\omega = 0; \quad \psi s + f\tau = 0 \text{ при } \theta = 0; \quad \theta = \alpha, \quad (28)$$

кроме того из (17) имеем также условие

$$\int_0^\alpha (\psi s + f\tau)\Omega\chi d\theta = 0. \quad (29)$$

Таким образом, в окрестности угловой точки  $r = 0$  мы пришли к системе однородных дифференциальных уравнений (22), (25), (26) и соотношению (27) относительно неизвестных функций  $\psi, f, s, \tau, \omega$  при однородных граничных условиях (28) и интегральным условиям (29). Численное решение этой задачи в принципе определяет  $\lambda$  в зависимости от  $\alpha$  и  $m$ .

Для исследования прочности соединения составного клина система разрешающих уравнений и граничных условий сформулируется аналогично с добавлением условия сопряжения на контактной поверхности.

При малых деформациях задача исследования напряженного состояния в угловых точках клиновидных упрочняющихся тел приведена в (2).

Институт механики НАН Армении

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Խ. Ա. ՉԱԴՈՅԱՆ

### Լարումների կենտրոնացման խնդիրը վերջավոր դեֆորմացիաների ժամանակ

Հարթ դեֆորմացիաների պայմաններում ուսումնասիրվում է լարումների կենտրոնացումների խնդիրը սեպաձև մարմնի անկյունային կետում վերջավոր դեֆորմացիաների դեպքում: Ընդունվում է, որ նյութը անսեղմելի է և ենթարկվում է ամրապնդման աստիճանային օրենքին: Ենթադրվում է, որ քննարկվող կետի շրջակայքը ազատ է արտաքին ուժերի ազդեցությունից: Վերջին հաշվով հետազոտությունը հանգում է 4 սովորական առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարումներից կազմված համակարգի համար սեփական արժեքների խնդրի ուսումնասիրմանը՝ համապատասխան համասեռ եզրային պայմաններով:

### ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՈՒՆ

<sup>1</sup> В.В.Новожилов, Теория упругости, М.-Л., Судпромгиз, 1958. <sup>2</sup> М.А.Задоян, Пространственные задачи теории пластичности, М., Наука, 1992.

УДК 539.3

В.С. Тоноян, С.А. Мелкумян, А.Ж. Григорян

**Несимметричная контактная задача для упругой ортотропной полуплоскости, ослабленной вертикальными соосными конечным и полубесконечным разрезами**

(Представлено академиком НАН Армении Б.Л. Абрамяном 9/IV 1998)

В работе рассматривается плоская контактная задача для упругой ортотропной полуплоскости ( $z \geq 0; |x| < \infty$ ), ослабленной вертикальными соосными конечным ( $0 < z < a$ ) и внутренним полубесконечным ( $b < z < \infty$ ) разрезами, когда на полуплоскости ( $z = 0$ ) действует жесткий штамп ( $-a_2 \leq x \leq a_1$ ) с основанием произвольной гладкой формы, расположенный несимметрично относительно оси разрезов. Предполагается, что трение между штампом и полуплоскостью отсутствует. На горизонтальной границе вне штампа и на кромках разреза действует нормальное давление.

Решение задачи представлено как сумма решений смешанных задач для двух квадрантов, разделенных осью разреза ( $i = 1$  – для правого квадранта,  $i = 2$  – для левого квадранта). Задача решается методом Фурье в перемещениях. Решение представлено в виде сумм интегралов Фурье:

$$U_x^{(i)}(x, z) = \frac{(-1)^{i+1}}{C_{11}} \int_0^\infty \alpha \bar{U}^{(i)}(\alpha, z) \cos \alpha x d\alpha + \frac{(-1)^{i+1}}{C_{11}} \int_0^\infty \beta \bar{U}^{(i)}(\beta, x) \cos \beta z d\beta;$$

$$U_z^{(i)}(x, z) = \frac{(-1)^i}{C_{44}} \int_0^\infty \alpha \bar{W}^{(i)}(\alpha, z) \sin \alpha x d\alpha + \frac{1}{C_{44}} \int_0^\infty \beta \bar{W}^{(i)}(\beta, x) \sin \beta z d\beta;$$
(1)

где

$$\begin{cases} \bar{U}^{(1)}(\alpha, z) \\ \bar{U}^{(2)}(\alpha, z) \end{cases} = \sum_{j=1}^2 \Delta_1(t_j) \begin{cases} A_j(\alpha) \\ B_j(\alpha) \end{cases} e^{-\alpha_j z};$$

$$\begin{cases} \bar{U}^{(1)}(\beta, x) \\ \bar{U}^{(2)}(\beta, x) \end{cases} = \sum_{k=1}^2 \frac{\Delta_1(t_k)}{t_k^2} \begin{cases} C_k(\beta) \\ D_k(\beta) \end{cases} e^{(-1)^k \frac{\beta}{t_k} x};$$

$$\begin{cases} \overline{W}^{(1)}(\alpha, z) \\ \overline{W}^{(2)}(\alpha, z) \end{cases} = \sum_{j=1}^2 \Delta_2(t_j) \begin{cases} A_j(\alpha) \\ B_j(\alpha) \end{cases} e^{-\alpha_j z};$$

$$\begin{cases} \overline{W}^{(1)}(\beta, x) \\ \overline{W}^{(2)}(\beta, x) \end{cases} = \sum_{k=1}^2 \Delta_2(t_k) \begin{cases} C_k(\beta) \\ D_k(\beta) \end{cases} e^{(-1)^k \frac{\beta}{t_k} x};$$

$$\Delta_1(t_j) = \left( \frac{C_{13}}{C_{44}} + 1 \right) t_j, \quad \Delta_2(t_j) = 1 - \frac{C_{44}}{C_{11}} t_j^2; \quad (3)$$

$t_j$  определяются из следующего биквадратного уравнения:

$$\frac{C_{33}}{C_{11}} t^4 + \left( \frac{C_{13} C_{13}}{C_{44} C_{11}} + 2 \frac{C_{13}}{C_{11}} - \frac{C_{33}}{C_{44}} \right) t^2 + 1 = 0.$$

Здесь  $C_{11}, C_{13}, C_{33}, C_{44}$  – модули упругости ортотропного материала.

Неизвестные функции интегрирования  $A_j(\alpha); B_j(\alpha); C_k(\beta); D_k(\beta)$  определяются, используя граничные условия и условия полного контакта квадрантов:

$$\begin{aligned} U_z^{(1)}(x, 0) &= f_1(x); \quad 0 \leq x \leq a_1; \quad U_z^{(2)}(x, 0) = f_2(x); \quad -a_2 \leq x \leq 0; \\ \sigma_x^{(1)}(x, 0) &= f_3(x); \quad a_1 < x < \infty; \quad \sigma_x^{(2)}(x, 0) = f_4(x); \quad -\infty < x < -a_2; \\ \tau_{xz}^{(1)}(x, 0) &= 0; \quad 0 < x < a_1; \quad \tau_{xz}^{(2)}(x, 0) = 0; \quad -a_2 < x < 0; \\ \tau_{xz}^{(1)}(x, 0) &= f_5(x); \quad a_1 < x < \infty; \quad \tau_{xz}^{(2)}(x, 0) = f_6(x); \quad -\infty < x < -a_2; \\ \sigma_x^{(1)}(0, z) &= f_7(z); \quad 0 < z < a; \quad \sigma_x^{(2)}(0, z) = f_7(z); \quad 0 < z < a; \\ \tau_{xz}^{(1)}(0, z) &= 0; \quad 0 < z < a; \quad \tau_{xz}^{(2)}(0, z) = 0; \quad 0 < z < a; \\ \sigma_x^{(1)}(0, z) &= \sigma_x^{(2)}(0, z); \quad \tau_{xz}^{(1)}(0, z) = \tau_{xz}^{(2)}(0, z); \quad a < z < b; \\ U_x^{(1)}(0, z) &= U_x^{(2)}(0, z); \quad U_z^{(1)}(0, z) = U_z^{(2)}(0, z); \quad a \leq z \leq b; \\ \sigma_x^{(1)}(0, z) &= 0; \quad b < z < \infty; \quad \sigma_x^{(2)}(0, z) = 0; \quad b < z < \infty; \\ \tau_{xz}^{(1)}(0, z) &= 0; \quad b < z < \infty; \quad \tau_{xz}^{(2)}(0, z) = 0; \quad b < z < \infty. \end{aligned} \quad (4)$$

Пользуясь основными соотношениями теории упругости <sup>(1)</sup> и из (1), (2), можно все компоненты упругого поля выразить через неизвестные функции интегрирования. Удовлетворяя условиям (4), получены:

$$A_j(\alpha) = a_j A_1(\alpha) + d_j \Psi_5(\alpha); \quad B_j(\alpha) = a_j B_1(\alpha) + d_j \Psi_6(\alpha); \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^2 b_{3k} [C_k(\beta) - D_k(\beta)] = 0; \quad \sum_{k=1}^2 b_{1k} [C_k(\beta) + D_k(\beta)] = -\Phi(\beta); \quad (6)$$

$$\Phi(\beta) = \frac{2}{\pi\beta} \sum_{j=1}^2 a_{1j} a_j \int_0^{\infty} \frac{\alpha^2 [A_1(\alpha) + B_1(\alpha)]}{\beta^2 + \alpha^2 t_j^2} d\alpha + \frac{2}{\pi\beta} \Psi^*(\beta); \quad (7)$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} \alpha A_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = -\frac{C_{41}}{c_1} f_1(x) - \frac{c_2}{c_1} \Psi_5^*(x); & 0 \leq x \leq a_1 \\ \int_0^{\infty} \alpha^2 A_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = \sum_{k=1}^2 \frac{b_{2k}}{c_3} \int_0^{\infty} \beta^2 C_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} d\beta - \frac{1}{c_3} [f_3(x) + \Psi_5^{**}(x)]; & a_1 < x < \infty \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} \alpha B_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = -\frac{C_{41}}{c_1} f_2(-x) - \frac{c_2}{c_1} \Psi_6^*(x); & 0 \leq x \leq a_2 \\ \int_0^{\infty} \alpha^2 B_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = \sum_{k=1}^2 \frac{b_{2k}}{c_3} \int_0^{\infty} \beta^2 D_k(\beta) e^{-\frac{\beta}{t_k} x} d\beta - \frac{1}{c_3} [f_4(-x) + \Psi_6^{**}(x)]; & a_2 < x < \infty \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} \beta^2 C^*(\beta) \cos \beta z d\beta = f_7(z); & 0 < z < a \\ \int_0^{\infty} \beta C^*(\beta) \cos \beta z d\beta = \Phi_1(z); & a \leq z \leq b \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} \beta^2 C^*(\beta) \cos \beta z d\beta = 0; & b < z < \infty \\ \int_0^{\infty} \beta^2 D^*(\beta) \sin \beta z d\beta = \Phi_2(z); & 0 < z < a \\ \int_0^{\infty} \beta D^*(\beta) \sin \beta z d\beta = \Phi_3(z); & a \leq z \leq b \\ \int_0^{\infty} \beta^2 D^*(\beta) \sin \beta z d\beta = 0; & b < z < \infty \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} C^*(\beta) &= \sum_{k=1}^2 b_{3k} C_k(\beta); \\ D^*(\beta) &= \sum_{k=1}^2 b_{1k} D_k(\beta) + \Phi^*(\beta); \end{aligned} \quad (12)$$

$\Phi_1(z)$  и  $\Phi^*(\beta)$  выражены через  $A_1(\alpha)$ ;  $B_1(\alpha)$  и известными функциями.

Подобные "парные" (8,9) и "тройные" (10,11) интегральные уравнения рассматривались в работах (2-7).

Используя результаты работ (2-4), из (8) и (9) получим (8).

$$\begin{aligned} \alpha A_1(\alpha) &= \frac{2}{\pi} \left\{ \int_0^{a_1} [\varphi_1(r) - \varphi_5^*(r)] J_0(\alpha r) dr + \int_{a_1}^{\infty} r [\varphi_3(r) + \right. \\ &\quad \left. + \varphi_5^{**}(r)] J_0(\alpha r) dr + \int_{a_1}^{\infty} r F_1(r) J_0(\alpha r) dr \right\}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \alpha B_1(\alpha) &= \frac{2}{\pi} \left\{ \int_0^{a_2} [\varphi_2(r) - \varphi_6^*(r)] J_0(\alpha r) dr + \int_{a_2}^{\infty} r [\varphi_4(r) + \right. \\ &\quad \left. + \varphi_6^{**}(r)] J_0(\alpha r) dr + \int_{a_2}^{\infty} r F_2(r) J_0(\alpha r) dr \right\}; \end{aligned} \quad (14)$$

где введены следующие обозначения:

$$F_1(r) = \sum_{k=1}^2 \frac{b_{2k}}{c_3} \int_0^{\infty} \beta^2 C_k(\beta) K_0\left(\frac{\beta r}{t_k}\right) d\beta;$$

$$F_2(r) = \sum_{k=1}^2 \frac{b_{2k}}{c_3} \int_0^{\infty} \beta^2 D_k(\beta) K_0\left(\frac{\beta r}{t_k}\right) d\beta; \quad (15)$$

$J_\nu(z)$  – функция Бесселя первого рода с действительным аргументом;  
 $K_\nu(z)$  – функция Макдональда;

$\Psi_i; \Psi_i^*; \Psi_i^{**}; \varphi_i; \varphi_i^*; \varphi_i^{**}$  выражаются через известные функции.

Следуя (5-7), в (10) и (11)  $C^*(\beta); D^*(\beta)$  ищем соответственно в виде

$$C^*(\beta) = \frac{1}{\beta^2} \sum_{m=1}^{\infty} C_m J_{2m}(b\beta); \quad (16)$$

$$D^*(\beta) = \frac{1}{\beta^2} \sum_{n=0}^{\infty} D_n J_{2n+1}(b\beta). \quad (17)$$

В этом случае, соответственно в (10) и (11), третье уравнение приводится в тождество, а первое и второе – в систему уравнений "парных" рядов (8):

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^{\infty} C_m \cos\left[2m \arcsin \frac{z}{b}\right] = f_7(z) \sqrt{b^2 - z^2}; & 0 < z < a \\ \sum_{m=1}^{\infty} \frac{C_m}{2m} \cos\left[2m \arcsin \frac{z}{b}\right] = \Phi_1(z); & a \leq z \leq b \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} \sum_{n=0}^{\infty} D_n \sin\left[2m \arcsin \frac{z}{b}\right] = \Phi_2(z) \sqrt{b^2 - z^2}; & 0 < z < a \\ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D_n}{2n+1} \sin\left[(2n+1) \arcsin \frac{z}{b}\right] = \Phi_3(z); & a \leq z \leq b \end{cases} \quad (19)$$

Используя результаты работ (5-7) и обозначая, соответственно, в (18) и (19)  $z = b \sin \frac{\theta}{2}$  и  $z = b \cos \frac{\tau}{2}$ , после некоторых преобразований получим (8)

$$C_m = \frac{m\pi}{2} \int_0^{\pi} F_3(\varphi) \{P_{m-1}(\cos \varphi) + P_m(\cos \varphi)\} \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right) d\varphi; \quad (20)$$

$$D_n = -\frac{(-1)^n (2n+1)^2}{\pi \sqrt{2}} \int_0^{\pi} F_4(t) P_n(\cos t) \sin t dt. \quad (21)$$

Здесь

$$F_3(\varphi) = \begin{cases} \frac{2\sqrt{2}}{\pi} b \int_0^{\varphi} \frac{f_7\left(b \sin \frac{\theta}{2}\right) \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\sqrt{\cos \theta - \cos \varphi}} d\theta; & 0 < \varphi < \lambda \\ -\frac{4\sqrt{2}}{\pi} \int_{\varphi}^{\pi} \frac{\Phi_1'\left(b \sin \frac{\theta}{2}\right) \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\sqrt{\cos \theta - \cos \varphi}} d\theta; & \lambda < \varphi < \pi \end{cases} \quad (22)$$

$$F_4(t) = \begin{cases} \int_0^t \frac{\Phi_2\left(b \cos \frac{\tau}{2}\right)}{\sqrt{\cos \tau - \cos t}} d\tau; & 0 < t < \mu \\ \int_t^\pi \frac{G\left(b \cos \frac{\tau}{2}\right)}{\sqrt{\cos \tau - \cos t}} d\tau; & \mu < t < \pi \end{cases} \quad (23)$$

$$G\left(b \cos \frac{\tau}{2}\right) = S^* - b \int_t^\pi \Phi_2\left(b \cos \frac{\tau}{2}\right) \sin\left(\frac{\tau}{2}\right) d\tau; \quad (24)$$

$$S^* = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D_n}{2n+1}; \quad (25)$$

$P_m(\cos \varphi)$  и  $P_n(\cos t)$  – полиномы Лежандра.

Подставляя (20) в формулу (25) и решая относительно  $S^*$ , можно найти его значение.

Имея в виду (12, 15-17, 20, 21), исключая  $C_k(\beta)$  и  $D_k(\beta)$  из (13), (14), для определения  $A_1^*(Y)$  и  $B_1^*(Y)$  получена система интегральных уравнений типа Фредгольма второго рода:

$$\begin{aligned} A_1^*(Y) &= \Omega_1(Y) + \int_0^\infty K_1(Y, \alpha) A_1^*(\alpha) d\alpha + \int_0^\infty K_2(Y, \alpha) B_1^*(\alpha) d\alpha; \\ B_1^*(Y) &= \Omega_2(Y) + \int_0^\infty K_3(Y, \alpha) A_1^*(\alpha) d\alpha + \int_0^\infty K_4(Y, \alpha) B_1^*(\alpha) d\alpha, \end{aligned} \quad (26)$$

где

$$A_1^*(\alpha) = \alpha A_1(\alpha); \quad B_1^*(\alpha) = \alpha B_1(\alpha). \quad (27)$$

Из-за объемности  $\Omega_i(Y)$  и  $K_i(Y, \alpha)$ , их выражения в настоящей статье не представляются. Систему (26) можно решить методом последовательных приближений, при условии, что для ядер системы интегральных уравнений выполняются оценки:

$$\begin{aligned} \int_0^\infty K_1(Y, \alpha) d\alpha + \int_0^\infty K_2(Y, \alpha) d\alpha &< 1; \\ \int_0^\infty K_3(Y, \alpha) d\alpha + \int_0^\infty K_4(Y, \alpha) d\alpha &< 1, \end{aligned}$$

а функции  $\Omega_i(Y)$  ограничены сверху и стремятся к нулю, когда  $Y \rightarrow \infty$ .

После этого, решая систему (26), методом последовательных приближений определяются  $A_1^*(Y)$  и  $B_1^*(Y)$ . По формулам (5-7, 12, 15-17), (20-25) последовательно можно определить все искомые функции.

Далее, используя основные соотношения теории упругости <sup>(1)</sup>, можно определить все компоненты упругого поля в любой точке полуплоскости.

Институт механики НАН Армении  
Ереванский архитектурно-строительный институт

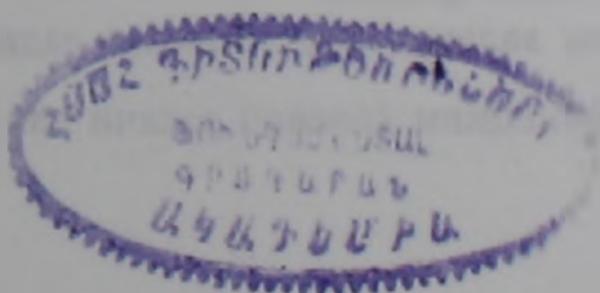
Վ. Ս. ՏՈՆՈՅԱՆ, Ս. Ա. ՄԵԼԻՔՈՒՄՅԱՆ, Ա. Ժ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**Ուղղահայաց համառանցք վերջավոր և կիսաանվերջ ճեղքերով թուլացվող օրթոտրոպ առածգական կիսահարթության համար ոչ համաչափ կոնտակտային խնդիր**

Աշխատանքում դիտարկված է ուղղահայաց համառանցք վերջավոր և ներքին կիսաանվերջ ճեղքերով թուլացված օրթոտրոպ կիսահարթության համար հարթ կոնտակտային խնդիր, երբ կիսահարթության եզրի վրա կիրառված է ճեղքերի առանցքի նկատմամբ ոչ համաչափ դասավորված կամայական հիմքով կոչտ դրոշմ: Հորիզոնական եզրի վրա դրոշմից դուրս և ճեղքերի ավերին ազդում են նորմալ ճնշում: Ենթադրվում է, որ շփումը դրոշմի և կիսահարթության միջև բացակայում է: Խնդիրը լուծված է տեղափոխումներով Ֆուլրյեի մեթոդով: Լուծումը փնտրված է Ֆուլրյեի ինտեգրալների գումարի տեսքով: Ինտեգրման անհայտ ֆունկցիաների որոշումը սկզբում բերվել է դույզ և եռակի ինտեգրալ հավասարումների, իսկ հետագայում Ֆրեդհոլմի տիպի երկրորդ սեռի ուղղակի հավասարումների համակարգի լուծմանը:

**ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՈՒՆ**

<sup>1</sup> P.Крестенсен, Введение в механику композитов, М., Мир, 1982. <sup>2</sup> В.С.Тоноян, Изв.АН АрмССР, Механика, т.21, №3, с.3-18 (1968). <sup>3</sup> В.С.Тоноян, С.А.Мелкумян, Изв.АН АрмССР, т.24, №4, с.3-17 (1971). <sup>4</sup> С.А.Мелкумян, ДАН АрмССР, т.55, №2, с.87-93 (1972). <sup>5</sup> В.С.Тоноян, С.А.Мелкумян, ДАН АрмССР, т.70, №5, с.282-288 (1973). <sup>6</sup> А.А.Баблоян, ДАН АрмССР, т.39, №3, с.149-157 (1964). <sup>7</sup> А.А.Баблоян, ПММ, т.31, №4, с.678-689 (1967). <sup>8</sup> И.С.Градштейн, И.М.Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, М., Физматгиз, 1962.



УДК 539.3

Д. Я. Бардзокас, А. И. Зобнин, **Б. А. Кудрявцев**

**Обобщенное интегральное преобразование  
типа Конторовича-Лебедева, используемое  
при решении граничных задач теории упругости**

(Представлено академиком НАН Армении Б.Л.Абрамяном 21/IV 1998)

Интегральное преобразование Конторовича-Лебедева <sup>(1)</sup> используется для решения многих краевых задач математической физики и теории упругости.

Указанные в работе <sup>(2)</sup> интегральные преобразования, родственные преобразованию Конторовича-Лебедева, удобны для решения смешанных краевых задач для клиновидных и конических областей.

В работах <sup>(1-3)</sup> одновременно предлагается вывод новых интегральных преобразований, которые можно использовать при решении некоторых краевых задач для слоистых сред периодической структуры. Для вывода соответствующих формул обращения различных интегральных преобразований в этих работах применялся единый подход, развитый в <sup>(4)</sup>, а также метод асимптотического интегрирования самосопряженных дифференциальных уравнений второго порядка с быстроосциллирующими периодическими коэффициентами <sup>(5)</sup>. В результате были получены формулы, обобщающие синус- и косинус-преобразование Фурье <sup>(1)</sup>, преобразование Меллина <sup>(2)</sup>, а также преобразования типа Фурье-Бесселя, Ханкеля и Вебера-Орра <sup>(3)</sup>. В частности, в этих работах показано, что данные преобразования можно эффективно использовать при решении краевых задач стационарной теплопроводности слоистой полуплоскости <sup>(1)</sup>, многослойного клина, состоящего из отдельных слоев одинаковой толщины <sup>(2)</sup>, многослойного цилиндра и плоского слоя с цилиндрическими слоями <sup>(3)</sup>. Очевидно, что введение новых типов интегральных преобразований, используемых при решении краевых задач для периодически-неоднородных сред, значительно расширяет возможности традиционных методов математической физики.

Рассмотрим задачу о разложении заданной функции  $f(r)$  ( $0 \leq r < \infty$ ) по собственным функциям краевой задачи для уравнения

$$\frac{d}{dr} \left( A(\rho) r \frac{du}{dr} \right) - \left( rD(\rho) - \frac{\tau^2}{r} B(\rho) \right) u = 0. \quad (1)$$

Здесь  $A(\rho), B(\rho), D(\rho)$  – заданные I-периодические функции "быстрой" переменной  $\rho = r / \varepsilon$ ,  $\varepsilon$  – малый параметр, а краевые условия имеют вид

$$u(0) < \infty, \quad u(\infty) = 0. \quad (2)$$

Следуя (6), рассмотрим уравнение в частных производных для функции  $u(r, t)$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left( A(\rho) r \frac{\partial u(r, t)}{\partial \tau} \right) - rD(\rho) u(r, t) = \frac{B(\rho)}{r} \frac{\partial u(r, t)}{\partial \tau} \quad (3)$$

и найдем его решение при граничных условиях (2) и начальном условии

$$u(r, 0) = f(r). \quad (4)$$

После применения преобразования Лапласа к уравнению (3) получим с помощью начального условия (4) следующее равенство:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left( A(\rho) r \frac{\partial \bar{u}(r, \rho)}{\partial \tau} \right) - \left( rD(\rho) + p \frac{B(\rho)}{r} \right) \bar{u} = - \frac{B(\rho)}{r} f(r). \quad (5)$$

Здесь

$$\bar{u}(r, \rho) = \int_0^{\infty} u(r, t) e^{-\rho t} dt.$$

Решение неоднородного уравнения (5) можно записать так (6)

$$\bar{u}(r, \rho) = - \frac{1}{\omega(\rho)} \int_0^{\infty} G(r, \xi, \rho) B\left(\frac{\xi}{\varepsilon}\right) f(\xi) \frac{d\xi}{\xi}, \quad (6)$$

где

$$G(r, \xi, \rho) = \begin{cases} \bar{u}_1(r, \rho) \bar{u}_2(\xi, \rho), & r \leq \varepsilon, \\ \bar{u}_1(\xi, \rho) \bar{u}_2(r, \rho), & r > \varepsilon, \end{cases} \quad (7)$$

$$\omega(\rho) = A(\rho) W(\bar{u}_1, \bar{u}_2), \quad (8)$$

$\bar{u}_1(r, \rho), \bar{u}_2(r, \rho)$  – линейно-независимые решения однородного уравнения (5).  $W(\bar{u}_1, \bar{u}_2)$  – вронскиан решений  $\bar{u}_1, \bar{u}_2$ . Учитывая наличие быстроизменяющихся I-периодических коэффициентов  $A(\rho), B(\rho), D(\rho)$  в однородном уравнении (5), найдем его решение с помощью метода асимптотических разложений в виде ряда по степеням малого параметра  $\varepsilon$ . Используя известную процедуру построения двухмасштабного разложения решения уравнения (5) с I-периодическими коэффициентами (7) и сохраняя в этом разложении три первых члена, получим представление

$$\bar{u}(r, p) = u_0(r, p) + \varepsilon N_1(\rho) \frac{du_0(r, p)}{dr} +$$

$$+ \varepsilon^2 \left[ N_2^{(1)}(\rho) \frac{d^2 u_0(r, p)}{dr^2} + N_2^{(2)}(\rho) \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{du_0(r, p)}{dr} \right) + N_2^{(3)}(\rho) u_0(r, p) \right] + \dots \quad (9)$$

где локальные функции  $N_1(\rho)$ ,  $N_2^{(i)}(\rho)$ ,  $i=1,2,3$ ,  $\rho=r/\varepsilon$  являются I-периодическими по переменной  $\rho$  и в пределах ячейки  $0 \leq \rho \leq 1$  удовлетворяют следующим уравнениям:

$$\frac{dN_1(\rho)}{d\rho} = \frac{C_1}{A(\rho)^{-1}}, \quad C_1 = \langle A^{-1} \rangle^{-1}, \quad (10)$$

$$\frac{dN_2^{(1)}(\rho)}{d\rho} = -N_1(\rho), \quad (11)$$

$$\frac{d}{d\rho} \left( A(\rho) \frac{dN_2^{(2)}(\rho)}{d\rho} \right) + C_1 \left( 1 - \frac{B(\rho)}{\langle B \rangle} \right) = 0, \quad (12)$$

$$\frac{d}{d\rho} \left( A(\rho) \frac{dN_2^{(3)}(\rho)}{d\rho} \right) = D(\rho) - \frac{\langle D \rangle}{\langle B \rangle} B(\rho). \quad (13)$$

Здесь символ  $\langle \dots \rangle$  означает операцию осреднения по ячейке периодичности, например

$$\langle D \rangle = \int_0^1 D(\rho) d\rho.$$

Функция  $u_0(r, p)$  в (9) является решением обыкновенного дифференциального уравнения

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{du_0(r, p)}{dr} \right) - \left( \gamma^2 + p \frac{\chi^2}{r^2} \right) u_0(r, p) = 0, \quad (14)$$

$$\gamma^2 = \langle D \rangle / C_1, \quad \chi^2 = \langle B \rangle / C_1, \quad C_1 = \langle A^{-1} \rangle^{-1}.$$

Два линейно-независимых решения уравнения (14) можно выразить через модифицированные функции Бесселя

$$u_{01} = I_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r), \quad u_{02} = K_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r). \quad (15)$$

Подставив (15) в (9), получим искомые линейно-независимые решения однородного уравнения (5) с точностью до членов порядка  $\varepsilon^2$

$$\bar{u}_1(r, p) = I_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) + \varepsilon N_1(\rho) \left( \gamma I_{\chi\sqrt{p+1}}(\gamma r) + \frac{\chi\sqrt{p}}{r} I_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) \right) +$$

$$+ \varepsilon^2 \left\{ N_2^{(1)}(\rho) \left[ \left( \gamma^2 + \frac{\chi\sqrt{p}}{r^2} (\chi\sqrt{p} - 1) \right) I_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) - \frac{\gamma}{r} I_{\chi\sqrt{p+1}}(\gamma r) \right] + \right. \quad (16)$$

$$\left. + N_2^{(2)}(\rho) \left( \gamma^2 + \frac{\chi^2 p}{r^2} \right) I_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) + N_2^{(3)}(\rho) I_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) \right\} + \dots$$

$$\begin{aligned} \bar{u}_2(r, p) = & K_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) + \varepsilon N_1(\rho) \left( -\gamma K_{\chi\sqrt{p+1}}(\gamma r) + \frac{\chi\sqrt{p}}{r} K_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) \right) + \\ & + \varepsilon^2 \left\{ N_2^{(1)}(\rho) \left[ \left( \gamma^2 + \frac{\chi\sqrt{p}}{r^2} (\chi\sqrt{p} - 1) \right) K_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) + \frac{\gamma}{r} K_{\chi\sqrt{p+1}}(\gamma r) \right] + \right. \\ & \left. + N_2^{(2)}(\rho) \left( \gamma^2 + \frac{\chi^2 p}{r^2} \right) K_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) + N_2^{(3)}(\rho) K_{\chi\sqrt{p}}(\gamma r) \right\} + \dots \end{aligned} \quad (17)$$

Можно показать, что вронскиан для  $\bar{u}_1, \bar{u}_2$  имеет вид

$$\overline{W}(\bar{u}_1, \bar{u}_2) = -\frac{C_1}{A(\rho)r},$$

и, следовательно

$$\omega(p) = -C_1$$

Обратимся теперь к решению неоднородного уравнения (5) в форме (6). Переходя в (6) к оригиналам, получим

$$u(r, t) = \frac{1}{c_1} \int_0^\infty J(r, \xi, t) B\left(\frac{\xi}{\varepsilon}\right) f(\xi) \frac{d\xi}{\xi}, \quad (18)$$

где

$$J(r, \xi, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} G(r, \xi, p) e^{pt} dp. \quad (19)$$

Подынтегральная функция в (19) имеет точку ветвления  $p=0$  и поэтому, проводя разрез вдоль отрицательной части вещественной оси, представим (19) при  $r \leq \xi$  в виде

$$\begin{aligned} J(r, \xi, t) \Big|_{r \leq \xi} = & -\frac{1}{2\pi i} \left\{ \int_0^\infty \bar{u}_1(r, \eta e^{i\pi}) \bar{u}_2(\xi, \eta e^{i\pi}) e^{-\eta t} d\eta - \right. \\ & \left. - \int_0^\infty \bar{u}_1(r, \eta e^{-i\pi}) \bar{u}_2(\xi, \eta e^{-i\pi}) e^{-\eta t} d\eta \right\}. \end{aligned} \quad (20)$$

Подставляя в (20) выражения для  $\bar{u}_1, \bar{u}_2$  в соответствии с (16), (17) и выполняя ряд преобразований, получим следующее представление интеграла (19), справедливое также и при  $r > \xi$ :

$$J(r, \xi, t) = \frac{2}{\pi^2 \chi} \int_0^\infty \text{sh}(\pi\tau) R(\tau, r) R(\tau, \xi) e^{-\frac{\tau^2 t}{\chi^2}} \tau d\tau, \quad (21)$$

где

$$\begin{aligned}
R(\tau, r) = & K_{i\tau}(\gamma r) + \varepsilon N_1\left(\frac{r}{\varepsilon}\right) \left( -\gamma K_{i\tau+1}(\gamma r) + \frac{i\tau}{r} K_{i\tau}(\gamma r) \right) + \\
& + \varepsilon^2 \left\{ N_2^{(1)}\left(\frac{r}{\varepsilon}\right) \left[ \left( \gamma^2 - \frac{\tau^2}{r^2} - \frac{i\tau}{r^2} \right) K_{i\tau}(\gamma r) + \frac{\gamma}{r} K_{i\tau+1}(\gamma r) \right] + \right. \\
& \left. + N_2^{(2)}\left(\frac{r}{\varepsilon}\right) \left( \gamma^2 - \frac{\tau^2}{r^2} \right) K_{i\tau}(\gamma r) + N_2^{(3)}\left(\frac{r}{\varepsilon}\right) K_{i\tau}(\gamma r) \right\} + \dots
\end{aligned} \tag{22}$$

Заметим, что при выводе (21) использовалась известная формула для модифицированных функций Бесселя (8)

$$\frac{2}{\pi} \sin \pi \nu K_\nu(z) = I_{-\nu}(z) - I_\nu(z).$$

Теперь на основании (18) и (21) можно найти

$$u(r, t) = \frac{2}{\pi^2 C_1 \chi} \int_0^\infty \int_0^\infty R(\tau, r) R(\tau, \xi) e^{-\frac{r^2 t}{\chi^2}} \operatorname{sh}(\pi \tau) B\left(\frac{\xi}{\varepsilon}\right) f(\xi) d\tau d\xi,$$

откуда с учетом начального условия (4) получается искомое представление

$$f(r) = \frac{2}{\pi^2 C_1 \chi} \int_0^\infty \operatorname{sh}(\pi \tau) R(\tau, r) \tau d\tau \int_0^\infty R(\tau, \xi) B\left(\frac{\xi}{\varepsilon}\right) f(\xi) \frac{d\xi}{\xi}. \tag{23}$$

Определяя преобразование функции  $f(r)$  интегралом

$$\bar{f}(\tau) = \int_0^\infty f(\xi) R(\tau, \xi) B\left(\frac{\xi}{\varepsilon}\right) \frac{d\xi}{\xi}, \tag{24}$$

найдем, исходя из (23), соответствующую формулу обращения обобщенного преобразования Конторовича-Лебедева

$$f(r) = \frac{2}{\pi^2 \langle B \rangle} \int_0^\infty \operatorname{sh}(\pi \tau) \bar{f}(\tau) R(\tau, r) \tau d\tau, \tag{25}$$

Следует отметить, что функция  $R(\tau, r)$  удовлетворяет уравнению с быстроизменяющимися  $l$ -периодическими коэффициентами

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( A(\rho) r \frac{dR(\tau, r)}{dr} \right) - \left( D(\rho) - \frac{\tau^2}{r^2 \chi^2} B(\rho) \right) R(\tau, r) = 0, ,$$

а при  $A(\rho) = \text{const}$ ,  $B(\rho) = \text{const}$ ,  $D(\rho) = \text{const}$  эта функция принимает вид

$$R(\tau, r) = K_{i\tau}(\gamma r),$$

т.е. совпадает с ядром обычного преобразования Конторовича-Лебедева.

Изложенные результаты получены в рамках программы научного сотрудничества между Афинским национальным техническим университетом и Институтом механики НАН Армении и будут использованы в дальнейших совместных научных исследованиях.

Афинский национальный технический университет  
Московский институт химического машиностроения

Առաձգականության տեսության եզրային խնդիրների լուծման ժամանակ  
օգտագործվող Կոնտորովիչ-Լեբեդևի տիպի ընդհանրացված  
ինտեգրալ ձևափոխություն

Առաձգականության տեսության և մաթեմատիկական ֆիզիկայի բազմաթիվ բնագավառներում հանդիպող սեպաձև համասեռ մարմինների համար եզրային խնդիրների լուծման ժամանակ հաճախ օգտագործվող Կոնտորովիչ-Լեբեդևի հայտնի ինտեգրալ ձևափոխությունը սույն աշխատության մեջ ընդհանրացվում է փոքր պարամետրերով բնութագրվող պարբերական-անհամասեռ մարմինների համար: Այդ նպատակով դիտարկվում է բավականաչափ լայն դասին պատկանող և  $(0, \infty)$  միջակայքում որոշված ֆունկցիայի վերլուծությունը փոքր պարամետր պարունակող փոփոխական գործակիցներով երկրորդ կարգի սովորական դիֆերենցիալ հավասարման համար եզրային խնդրի սեփական ֆունկցիաներով: Վերլուծությունը ստանալու ճանապարհին օգտագործվում է Լապլասի ինտեգրալ ձևափոխությունը, դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման ասիմպտոտիկ մեթոդները և ինտեգրալների հաշվման կոմպլեքս փոփոխականի ֆունկցիաների տեսության հայտնի մեթոդները:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՈՒՆ

- <sup>1</sup> М.И.Которович, Н.Н.Лебедев, ЖЭТФ, т.88, (1938) №10-11, 1192-1206.
- <sup>2</sup> Н.Н.Лебедев, И.П.Скальская, Вопр.мат. физики. Сб. к 75-летию чл.-корр. АН СССР Гринберга Г.А., Л., Наука, с.68-79 (1976).
- <sup>3</sup> А.Л.Каламкаров, Б.А.Кудрявцев, В.З.Партон, ПММ, т.55, вып.6, с.964-971 (1991).
- <sup>4</sup> А.Л.Каламкаров, Б.А.Кудрявцев, О.Б.Рудаков, Инж.-физический журн., т.54, №4, с.487-491 (1993).
- <sup>5</sup> А.Л.Каламкаров, Б.А.Кудрявцев, Д.Я.Бардзокас, Механика комп. материалов, №6, с.1005-1014, (1991).
- <sup>6</sup> Я.С.Уфлянд, Вопр.мат. физики. Сб. к 75-летию чл.-корр. АН СССР Гринберга Г.А., Л., Наука, с.93-105, (1976).
- <sup>7</sup> Э.Санчес-Паленсия, Неоднородные среды и теория колебаний, М., мир, 1984.
- <sup>8</sup> Г.Бейтмен, А.Эрдейи, Высшие трансцендентные функции. Функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены, М., Наука, 1966.

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

УДК 539.3:534.1

С. А. Мелкумян

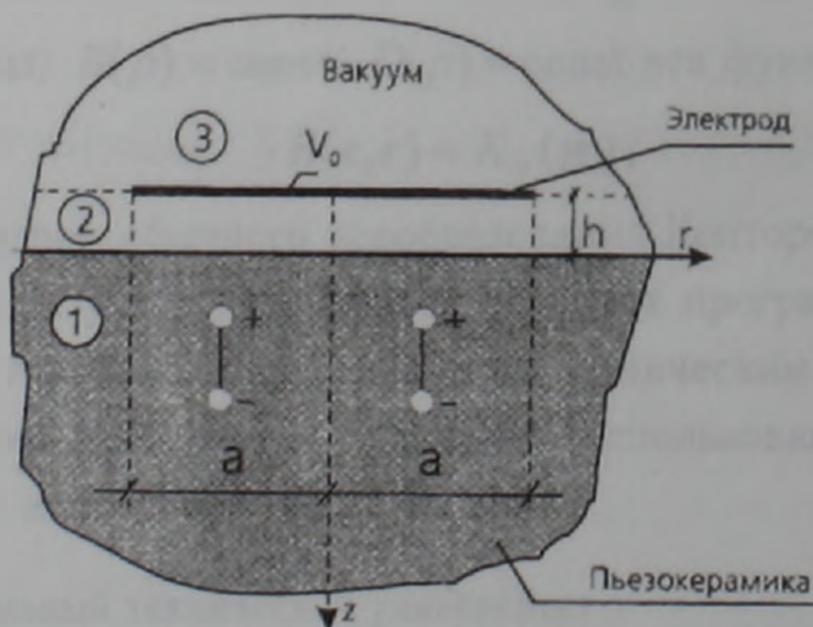
Осесимметричная индукционная задача электроупругости для пьезокерамического полупространства

(Представлено академиком НАН Армении Г.Е.Багдасаряном 8/IV 1998)

В теории пьезоэлектрических преобразователей энергии важное значение имеет анализ взаимодействия поверхностных электродов с пьезоэлектрическим материалом (<sup>1</sup>). Эта проблема станет еще актуальней, если между пьезоэлектриком и заряженным электродом есть зазор. Такие так называемые индукционные задачи электроупругости имеют особый практический и научный интерес.

В настоящей работе рассматривается осесимметричная индукционная задача электроупругости для пьезоэлектрического полупространства ( $z \geq 0$ ,  $r \geq 0$ ).

Пусть в вакууме на конечном расстоянии ( $h$ ) от пьезокерамики приложен заряженный тонкий, гибкий, круглый ( $0 \leq r \leq a$ ) электрод (рисунок). Предполагается, что направление предварительной поляризации пьезокерамики перпендикулярно к границе полупространства ( $z = 0$ ) и совпадает с положительным направлением оси  $oz$ . Для простоты принимается также, что на границе полупространства отсутствуют внешние механические напряжения воздействия.



Решение задачи в области пьезокерамики (область 1,  $z \geq 0, r \geq 0$ ), затухающее в глубь полупространства, ищем в виде интегралов Ханкеля (2):

$$U_r(r, z) = \frac{1}{C_{11}^E} \int_0^\infty \lambda \bar{U}(\lambda, z) J_1(\lambda, r) d\lambda, \quad U_z(r, z) = \frac{1}{C_{44}^E} \int_0^\infty \lambda \bar{W}(\lambda, z) J_0(\lambda, r) d\lambda, \quad (1)$$

$$\Psi^{(1)}(r, z) = -\frac{1}{e_{15}} \int_0^\infty \lambda \bar{\Psi}^{(1)}(\lambda, z) J_0(\lambda, r) d\lambda, \quad (z \geq 0, r \geq 0),$$

где  $J_\nu(\lambda, r)$  – функции Бесселя первого рода от действительного аргумента,

$$\bar{U}(\lambda, z) = \sum_{k=1}^3 \Delta_1(t_k) t_k A_k(\lambda) e^{-\lambda_k z}, \quad \bar{W}(\lambda, z) = \sum_{k=1}^3 \Delta_2(t_k) A_k(\lambda) e^{-\lambda_k z}, \quad (2)$$

$$\bar{\Psi}^{(1)}(\lambda, z) = \sum_{k=1}^3 \Delta_3(t_k) A_k(\lambda) e^{-\lambda_k z}.$$

Определение  $t_k$  и  $\Delta_p(t_k)$  ( $p = 1, 2, 3$ ) дано в работе (2). Для областей 2 ( $h \leq z \leq 0, r \geq 0$ ) и 3 ( $-\infty \leq z \leq -h, r \geq 0$ ) решение задачи ищем соответственно в виде:

$$\Psi^{(2)}(r, z) = -\frac{1}{e_{15}} \int_0^\infty \lambda [B(\lambda) ch(\lambda, z) - C(\lambda) sh(\lambda, z)] J_0(\lambda, r) d\lambda, \quad (3)$$

$$\Psi^{(3)}(r, z) = -\frac{1}{e_{15}} \int_0^\infty \lambda D(\lambda) e^{\lambda(h+z)} J_0(\lambda, r) d\lambda, \quad (4)$$

В (1)-(4)  $U_r(r, z), U_z(r, z)$  – упругие перемещения,  $\Psi^{(i)}(r, z)$ , ( $i = 1, 2, 3$ ) – электростатический потенциал, а  $A_k(\lambda), B(\lambda), C(\lambda)$  и  $D(\lambda)$  – произвольные функции интегрирования, которые необходимо определить из граничных условий задачи (3):

$$\tau_r(r, 0) = 0, \quad \sigma_z(r, 0) = 0, \quad \Psi^{(1)}(r, 0) = \Psi^{(2)}(r, 0), \quad D_z^{(1)}(r, 0) = D_z^{(2)}(r, 0) \quad (0 < r < \infty),$$

$$\Psi^{(2)}(r, -h) = \Psi^{(3)}(r, -h) \quad (0 < r < \infty), \quad (5)$$

$$\Psi^{(2)}(r, -h) = V_0 \quad (0 \leq r \leq a), \quad D_z^{(2)}(r, -h) = D_z^{(3)}(r, -h) \quad (a < r < \infty).$$

Используя основные соотношения электроупругости (3), электричества (4) и учитывая (1)-(4), можно все компоненты электроупругого и электрического поля выразить через  $A_k(\lambda), B_k(\lambda), C_k(\lambda)$  и  $D_k(\lambda)$ . Удовлетворяя граничным условиям (5), получаем следующие соотношения:

$$A_k(\lambda) = C_k A_1(\lambda), \quad B(\lambda) = m_1 A_1(\lambda), \quad C(\lambda) = m_2 A_1(\lambda), \quad (6)$$

$$D(\lambda) = [m_1 ch(\lambda h) + m_2 sh(\lambda h)] A_1(\lambda)$$

и “парное” интегральное уравнение

$$\begin{cases} \int_0^\infty [1 + q(\lambda)] A_1^*(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda = q_0, & (0 \leq r \leq a) \\ \int_0^\infty \lambda A_1^*(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda = 0, & (a < r < \infty) \end{cases} \quad (7)$$

где

$$A_1^*(\lambda) = \lambda e^{h\lambda} A_1(\lambda) \quad (8)$$

$$q(\lambda) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} e^{-2h\lambda}; \quad q_0 = -\frac{2e_{15}V_0}{m_1 + m_2}, \quad (9)$$

а  $C_k$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  выражается через  $t_k$ ,  $\Delta_p(t_k)$  и физикомеханические постоянные материала. Решение поставленной задачи сведено к решению "парного" интегрированного уравнения (7).

Для решения (7) введем неизвестную функцию  $\varphi(t)$  по формуле

$$A_1^*(\lambda) = \int_0^a \varphi(t) \cos \lambda t dt = \frac{\varphi(a) \sin \lambda a}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \int_0^a \varphi'(t) \sin \lambda t dt \dots \quad (10)$$

Подставляя (10) в (7) и используя значения интегралов Сонина (5):

$$\int_0^\infty J_0(\lambda, r) \sin \lambda t d\lambda = H_0(t-r)(t^2 - r^2)^{-1/2}, \quad (11)$$

$$\int_0^\infty J_0(\lambda, r) \cos \lambda t d\lambda = H_0(t-r)(r^2 - t^2)^{-1/2},$$

где  $H_0(x)$  — функция Хевисайда, нетрудно убедиться, что второе уравнение (7) удовлетворяется тождественно, а первое уравнение сводится к виду:

$$\int_0^r \frac{\varphi(t)}{\sqrt{r^2 - t^2}} dt + \int_0^a \varphi(t) dt \int_0^\infty q(\lambda) J_0(\lambda, r) \cos \lambda t d\lambda = q_0 \quad (0 \leq r \leq a). \quad (12)$$

Обращая (12) по Абелю, получим

$$\varphi(t) + \int_0^a \varphi(x) K(t, x) dx = \frac{2q_0}{\pi}, \quad (0 \leq t \leq a), \quad (13)$$

где

$$K(t, x) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty q(\lambda) \cos \lambda x \cos \lambda t d\lambda, \quad (14)$$

которое в силу (8) можно представить в виде

$$K(t, x) = \frac{2h}{\pi} \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \left[ \frac{1}{4h^2 + (t-x)^2} + \frac{1}{4h^2 + (t+x)^2} \right]. \quad (15)$$

В частном случае, когда  $h = 0$ , из (9)  $q(\lambda) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = \text{const}$ , а из (14)

$$K(t, x) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \delta(t - x), \quad \text{где } \delta(z) \text{ — функция Дирака.}$$

Тогда из (13) и (9) получаем  $\varphi(t) = -\frac{2}{\pi} \frac{e_{15}V_0}{m_1}$ , а из (10)

$$A_1^*(\lambda) = -\frac{2}{\pi} \frac{e_{15}V_0}{m_1 \lambda} \sin \lambda a \quad \text{и задача решается в замкнутом виде (6).}$$

В общем случае  $h \neq 0$  для сведения интегрального уравнения (13) к решению бесконечной системы алгебраических уравнений представим его решение в виде ряда по полиномам Лежандра с четными индексами (7.8)

$$\varphi(t) = \sum_{n=0}^{\infty} X_n P_{2n}\left(\frac{t}{a}\right) \quad (0 < t < a). \quad (16)$$

Подставляя (16) в (13), после ряда преобразований для определения коэффициентов  $X_n$  получаем следующую бесконечную систему алгебраических уравнений:

$$X_n + \sum_{m=0}^{\infty} C_{nm} X_m = \frac{2q_0}{\pi} \delta_{0,n} \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad (17)$$

где

$$C_{nm} = (-1)^{n+m} \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} (4n + 1) \int_0^{\infty} e^{-\frac{2h\lambda}{a}} J_{\frac{1}{2}+2n}(\lambda) J_{\frac{1}{2}+2m}(\lambda) \frac{d\lambda}{\lambda}. \quad (18)$$

При получении (17) и (18) были использованы значения следующих интегралов (5):

$$\begin{aligned} \int_0^a P_{2n}\left(\frac{t}{a}\right) \cos \lambda t dt &= (-1)^n \sqrt{\frac{\pi a}{2\lambda}} J_{\frac{1}{2}+2n}(a\lambda), \\ \int_0^a P_{2n}\left(\frac{t}{a}\right) P_{2m}\left(\frac{t}{a}\right) dt &= \frac{a\delta_{n,m}}{4n+1} \quad (n, m = 0, 1, 2), \end{aligned} \quad (19)$$

где  $\delta_{n,m}$  – символ Кронекера,  $P_k(x)$  – полином Лежандра.

Коэффициенты  $C_{nm}$  выражаются интегралами, содержащими функции Бесселя первого рода. Пользуясь асимптотическими формулами функций Бесселя при больших значениях индексов, легко доказать, что имеет место

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{m=0}^{\infty} |C_{nm}| = 0 \quad (7.8), \text{ следовательно, система (17) всегда квази-вполне регу-}$$

лярна. Свободные члены системы (17) равны нулю, кроме первого, следовательно, система (17) имеет единственное решение, которое можно определить либо методом последовательных приближений, либо же методом редукции.

После решения уравнений (17) можно определить все искомые функции по формулам (16), (10), (8) и (6). Используя (1)-(4) и основные соотношения электроупругости (3), электричества (4), можно определить все компоненты электроупругости электрического поля в любой точке пространства. Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую признательность А.Ф.Улитко за постановку задачи и ценные советы.

Ереванский архитектурно-строительный институт

**Էլեկտրաառաձգականության առանցքահամաչափելի ինդուկցիոն խնդիրը պիեզակերամիկական տարածության համար**

Աշխատանքում դիտարկվում է էլեկտրաառաձգականության տեսության առանցքահամաչափելի ինդուկցիոն խնդիրը պիեզակերամիկական կիսատարածության համար, երբ վակուումում պիեզակերամիկայից վերջավոր  $h$  հեռավորության վրա տեղադրված է բարակ, ճկուն, շրջանային տեսքով լիցքավորված էլեկտրոդ: Ենթադրվում է, որ պիեզակերամիկայի նախնական բևեռացման ուղղությունը ուղղահայաց է կիսատարածության եզրին: Պարզության համար ընդունված է նաև, որ կիսատարածության եզրը ազատ է արտաքին մեխանիկական ազդեցություններից: Որպես հիմնական անհայտներ ընդունված են մեխանիկական տեղափոխման բաղադրիչները և էլեկտրաստատիկ պոտենցիալները: Խնդրի լուծումը փնտրված է Հանկելի ինտեգրալների տեսքով: Անհայտ ֆունկցիաների որոշումը բերվել է զույգ ինտեգրալ հավասարումների լուծման, որն, իր հերթին, բերվել է քվադր-լիովին ռեգուլյար հանրահաշվական հավասարումների անվերջ համակարգի լուծման: Հանրահաշվական հավասարումների համակարգի լուծումից հետո հեշտությամբ որոշվում են փոխկապակցված էլեկտրաառաձգական դաշտի բոլոր բաղադրիչները պիեզակերամիկական կիսատարածության ցանկացած կետում:

Մասնավոր դեպքում, երբ էլեկտրոդը գտնվում է կիսատարածության վրա ( $h=0$ ), խնդրի լուծումը ստացվում է ճշգրիտ:

**ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՈՒՆ**

<sup>1</sup> В.З.Партон, Б.А.Кудрявцев, Электромагнитоупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел, М., Наука, 1988. <sup>2</sup> С.А.Мелкумян, А.Ф.Улитко, Прикладная механика. т.22, №9, с.44-51 (1987). <sup>3</sup> В.Т.Гринченко, А.Ф.Улитко, Н.А.Шульга, Электроупругость, Киев, Наукова Думка, с.276 (1989). <sup>4</sup> И.Е.Тамм, Основы теории электричества, М., Наука, (1976). <sup>5</sup> И.С.Градштейн, И.М.Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, М., Физматгиз, 1971. <sup>6</sup> С.А.Мелкумян, В кн.: Инженерные проблемы строительной механики, Ереван, с.39-48 (1985). <sup>7</sup> В.М.Александров, С.М.Мхитарян, Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками, М., Наука, 1983. <sup>8</sup> А.А.Баблоян, В.С.Макарян, Изв. НАН Армении. Механика, т.49, №2, с.8-18 (1996).

УДК 621.373.029.71/73

Р. Н. Баласанян, А. С. Оганесян, А. С. Тарумян

### Исследование растворов, приготовленных для выращивания кристаллов $\alpha$ -LiIO<sub>3</sub>

(Представлено академиком НАН Армении Р.А.Казаряном 30/IV 1998)

В работе (1) показано, что причиной уменьшения эффективности внутривибрационной генерации второй гармоники (ВРГВГ) непрерывного лазерного излучения на YAG Nd<sup>3+</sup> является уменьшение эффективного объема нелинейной среды, где выполняется условие синхронизма. Это обусловлено неравномерным нагревом кристалла из-за поглощения основного лазерного излучения маточным раствором, захваченным кристаллом в процессе роста. Как один из методов устранения уменьшения эффективности преобразования предложен поиск условий выращивания, исключающих вхождение маточного раствора в кристаллы (1).

Решение поставленной задачи требует выяснения причин, повышающих вхождение маточного раствора в растущий кристалл. С этой целью были исследованы растворы, приготовленные для выращивания качественных кристаллов. Проводились измерения спектров пропускания и плотности растворов в зависимости от изменения концентрации компонентов кислого раствора йодата лития. Проводились также измерения характеристик насыщенных растворов до и после роста кристаллов. Исследования показали, что кристаллы, полученные из растворов с минимальным изменением кислотности раствора (<0,2) в течение процесса выращивания, как правило, имели высокую эффективность преобразования во вторую гармонику непрерывного лазерного излучения с длиной волны 1,064 мкм. Результат очевиден, ибо одним из параметров, характеризующих условия выращивания кристаллов  $\alpha$ -LiIO<sub>3</sub>, является рН раствора, а постоянство условий выращивания является необходимым для выращивания качественных кристаллов.

Результаты исследования фундаментального края поглощения кислых растворов также показали, что состав раствора в процессе выращивания кристаллов меняется, и это выражается в смещении УФ края поглощения растворов. Вели-

чина этого смещения в некоторых случаях достигает 20 нм. На рис.1 показано существование некоторой корреляции между УФ краем поглощения насыщенных кислых растворов йодата лития и изменением кислотности растворов к концу процесса выращивания кристаллов.

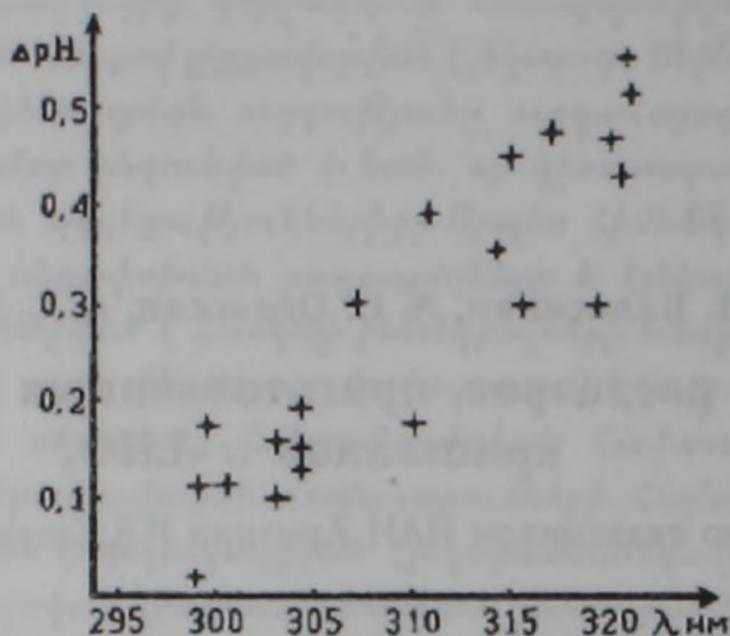


Рис.1. Зависимость изменения кислотности (рН) к концу роста кристаллов от УФ края пропускания растворов

Из рис.1 следует, что при выращивании кристаллов методом изотермического испарения растворителя наиболее стабильных условий роста можно достичь при использовании растворов с УФ краем поглощения меньше 305 нм. Кроме того, из приведенных фактов можно предположить, что причиной ухудшения качества кристаллов, возможно, является повышение концентрации в растворе йодноватой кислоты. Спектрограммы пропускания йодата лития, представленные на рис.2, свидетельствуют, что УФ край поглощения кислых растворов йодата лития в основном обусловлен наличием в растворе йодноватой кислоты ( $\text{HIO}_3$ ).

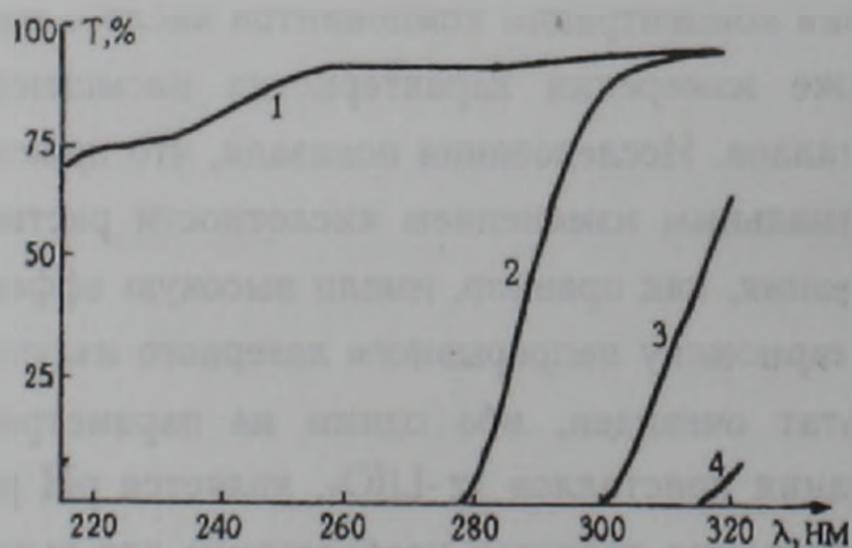


Рис.2. Спектрограмма растворов в УФ области спектра: 1 – вода, 2 – насыщенный нейтральный раствор йодата лития, 3 – насыщенный кислый раствор йодата лития, 4 – насыщенный раствор  $\text{HIO}_3$

Как следует из графиков, наиболее прозрачным из компонентов раствора является вода (1), а наихудшим – насыщенный раствор  $\text{HIO}_3$  (4), 10%-ный раствор которого смещает УФ край нейтрального насыщенного раствора  $\text{LiIO}_3$  (2) в длинноволновую область спектра (выше 300 нм) (3).

Для выяснения характера воздействия кислоты на УФ край поглощения растворов проводилось исследование спектра пропускания растворов в зависимости от концентрации  $\text{HIO}_3$ . С этой целью в насыщенный нейтральный раствор йодата лития порциями добавлялся сухой порошок перекристаллизованной кислоты, и после двухнедельного перемешивания раствора проводились измерения спектров УФ края поглощения растворов. Во всех банках, независимо от концентрации кислоты, присутствовал осадок выпавшей соли  $\text{LiIO}_3$ . Результаты этих измерений в виде зависимости УФ края поглощения от концентрации  $\text{HIO}_3$  представлены на рис.3. Как следует из графика, в областях концентрации кислоты  $\approx 4,3$  и  $\approx 10\%$  наблюдаются значительные изломы, меняющие характер указанной зависимости. В областях концентрации  $\text{HIO}_3$  0–4,3% и 4,3–10% зависимость линейна с различными углами наклона, а выше 10% наблюдается нелинейный ход этой зависимости.

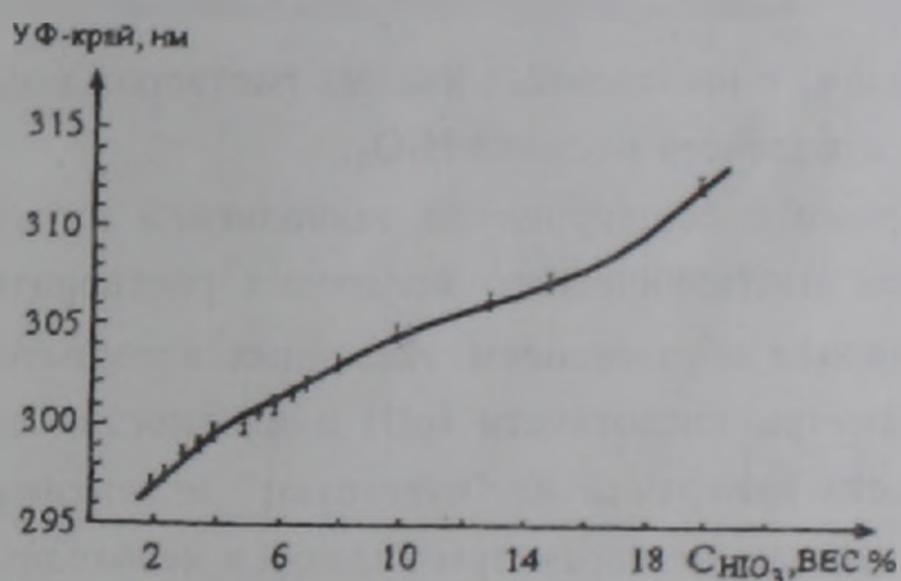


Рис.3. Зависимость УФ края поглощения насыщенного кислого раствора йодата лития от концентрации  $\text{HIO}_3$

Так как исследуемые водные растворы содержат соль  $\text{LiIO}_3$  и кислоту  $\text{HIO}_3$ , то очевидна необходимость выявления причин возникновения особенностей в спектре пропускания кислых растворов  $\text{LiIO}_3$  при достижении концентрации кислоты  $\approx 4,3$  и 10%. С этой целью проводились аналогичные измерения без соли  $\text{LiIO}_3$ . Исследовалась также плотность раствора кислоты в зависимости от концентрации. Результаты этих измерений приведены на рис.4. На графике видно повторение указанных особенностей, откуда следует, что причиной этого является кислота. Однако зависимость плотности от концентрации кислоты остается линейной в пределах точности измерений. Следовательно, несмотря на столь сложную зависимость УФ края поглощения от концентрации  $\text{HIO}_3$ , можно сделать вывод об отсутствии в растворе сложных хи-

мических превращений. По всей вероятности, приведенные экспериментальные факты (рис.3 и 4) можно объяснить образованием в растворах ассоциатов молекул кислоты в виде димеров  $(\text{HIO}_3)_2$  и тримеров  $(\text{HIO}_3)_3$ . Этот вывод тем более вероятен потому, что молекула  $\text{HIO}_3$  является полярной молекулой.

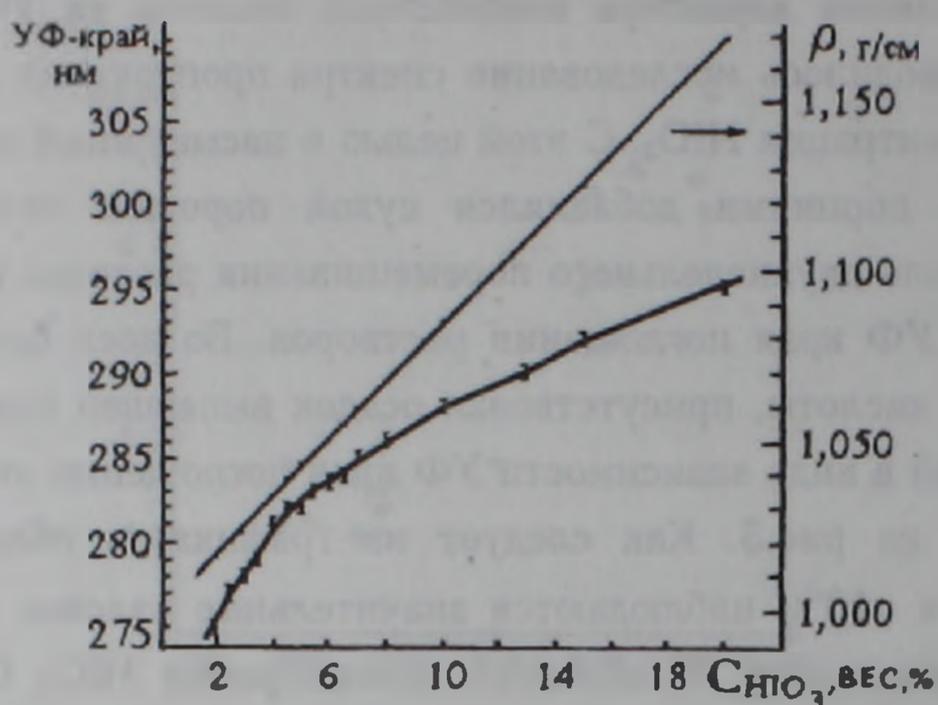


Рис.4. Зависимость плотности и УФ края поглощения водного раствора  $\text{HIO}_3$  от ее концентрации

Таким образом, в насыщенных кислых растворах йодата лития возможно существование комплексов молекул  $\text{HIO}_3$ .

В соответствии с общепринятой технологией выращивания кристаллов  $\alpha\text{-LiIO}_3$  методом изотермического испарения растворителя какой-либо контроль за возможным образованием указанных ассоциатов молекул  $\text{HIO}_3$  отсутствует. Параметры кислотности (рН) и плотности, как видно из рис.4, в пределах точности измерений не "чувствуют" изменения состава растворов. Следовательно, указанные параметры являются необходимыми, но недостаточными для отождествления растворов. По этой причине растворы могут отличаться друг от друга концентрацией комплексных молекул, что в конечном итоге может привести к невоспроизводимости условий выращивания, следовательно, и к разбросу параметров выращенных кристаллов, приведенных в работе (1). Из представленных фактов следует, что, вероятно, образование комплексных молекул кислоты в растворе может привести к повышению вхождения раствора в кристалл, что, как доказано в работе (1), является причиной уменьшения эффективности внутрирезонаторного преобразования во вторую гармонику непрерывного лазерного излучения.

Следовательно, для роста качественных кристаллов  $\alpha\text{-LiIO}_3$  необходимо использование кислых растворов, максимально прозрачных в УФ области спектра. В этой связи представляется весьма перспективным выращивание кристаллов из нейтральных растворов (рис.1).

Таким образом, исходя из вышеизложенного можно сделать следующие заключения: в кислых насыщенных растворах йодата лития возможно образование ассоциатов молекул кислоты, которые по традиционной методике выращивания кристаллов не поддаются контролю. Для их обнаружения необходимы измерения УФ края поглощения растворов; наличие ассоциатов молекул  $\text{HIO}_3$  способствует вхождению маточного раствора в кристалл в процессе их выращивания; для эффективной ВРГВГ весьма перспективно использование кристаллов  $\alpha\text{-LiIO}_3$ , выращенных из нейтральных растворов.

Инженерный центр НАН Армении

**Ռ. Ն. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ, Ա. Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԵՍՅԱՆ, Ա. Ս. ԹԱՌՈՒՄՅԱՆ**

**$\alpha\text{-LiIO}_3$  բյուրեղների աճեցման համար պատրաստված լուծույթների ուսումնասիրությունը**

Լիթիումի յոդատի բյուրեղների աճեցման համար օգտագործվող հազեցած թթվային լուծույթների ուսումնասիրությունը ցույց տվեց, որ թթվի խտությունից կախված հնարավոր է յոդաթթվի մոլեկուլների ասոցիատների առաջացումը դիմերների և տրիմերների տեսքով, որոնք էլ կարող են նպաստել որոշ քանակությամբ լուծույթի ներգրավմանը նրա աճեցման ընթացքում: Ասոցիատների առկայության պատճառով լուծույթների կլանման սպեկտրի ուտրամանուշակագույն եզրը շեղվում է դեպի ավելի երկար ալիքային տիրույթ: Դա ուղեկցվում է բյուրեղներում լազերային ճառագայթման երկրորդ հարմոնիկի փոխակերպման էֆեկտիվության անկումով: Այդ կապակցությամբ հիմնավորված է  $\alpha\text{-LiIO}_3$  բյուրեղների աճեցման համար չեզոք լուծույթների օգտագործումը:

**ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱԿԱՆՈՒԹՈՒՆ**

<sup>1</sup> Р.Н.Баласанян, А.С.Оганесян, Изв.АН Армении, Физика, т.25, №6, с.337 (1990).

УДК 467

Академик НАН Армении Д. М. Седракян, А. Ж. Хачатрян

## Рекуррентные соотношения для задачи рассеяния электрона на одномерном потенциале

(Представлено 2/XI 1998)

1. Как известно, задача рассеяния электрона на произвольном одномерном потенциале  $V(x)$  сводится к решению волнового уравнения Шредингера

$$\left(-\frac{d^2}{dx^2} + V(x)\right)\psi(x) = E\psi(x), \quad (1)$$

где приняты  $\hbar^2 = 2m = 1$

Пусть заданный потенциал  $V(x)$  отличен от нуля между точками  $x_1$  и  $x_2$ . Тогда очевидно, что наиболее общее решение уравнения (1) вне области потенциала имеет вид

$$\psi(x) = \begin{cases} A_1 e^{ikx} + B_1 e^{-ikx} & \text{при } x < x_1 \\ A_2 e^{ikx} + B_2 e^{-ikx} & \text{при } x > x_2, \end{cases} \quad (2)$$

где  $k^2 = E$  – энергия электрона, и следовательно,  $k > 0$ .

Хорошо известно также, что между коэффициентами общего решения (2) имеет место линейная связь, которую можно записать в следующем виде (1,2):

$$\begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{11} & U_{12} \\ U_{21} & U_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

где матрица  $\hat{U}$  вследствие сохранения плотности тока

$$|A_2|^2 - |B_2|^2 = |A_1|^2 - |B_1|^2 \quad (4)$$

должна иметь вид

$$\hat{U} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \alpha^* & \beta^* \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad \alpha^* \alpha - \beta^* \beta = 1. \quad (5)$$

Здесь  $\alpha$  и  $\beta$  некоторые комплексные числа. Матрица  $\hat{U}$ , связывающая коэффициенты решения (2) по обе стороны заданного потенциала  $V(x)$ , называется трансфер матрицей или матрицей монодромии. Задание трансфер матрицы однозначно определяется заданием потенциала рассеяния, следовательно элементы матрицы  $\hat{U}$  зависят только от вида потенциала  $V(x)$ . Вследствие этого любые

линейно-независимые решения уравнения Шредингера, нормированные одинаковым образом, приводят к одинаковому значению плотности тока:

$$\psi_1^* \frac{d\psi_1}{dx} - \psi_1 \frac{d\psi_1^*}{dx} = \psi_2^* \frac{d\psi_2}{dx} - \psi_2 \frac{d\psi_2^*}{dx}, \quad (6)$$

где  $\psi_1$  и  $\psi_2$  - два произвольных линейно-независимых решения уравнения (1).

Пусть  $\psi_1$  и  $\psi_2$  два линейно-независимых, нормированных на  $\delta$ -функцию решения уравнения (1), соответствующие задачам падения электрона на потенциал  $V(x)$  слева и справа. Тогда в области, где потенциал равен нулю, для  $\psi_1$  и  $\psi_2$  имеют место следующие решения:

$$\psi_1 = \begin{cases} e^{ikx} + \bar{r}e^{-ikx} & \text{при } x < x_1 \\ \bar{t}e^{ikx} & \text{при } x > x_2 \end{cases} \quad (7)$$

и

$$\psi_2 = \begin{cases} \bar{t}e^{-ikx} & \text{при } x < x_1 \\ e^{-ikx} + \bar{r}e^{ikx} & \text{при } x > x_2 \end{cases}, \quad (8)$$

где  $\bar{t}$  и  $\bar{r}$  - коэффициенты прохождения и отражения для задачи падения электрона слева, а  $\bar{t}$  и  $\bar{r}$  - соответствующие коэффициенты для задачи падения электрона справа. Условие сохранения плотности тока для каждой задачи и условие (6) приводят к уравнениям

$$1 - |\bar{r}|^2 = |\bar{t}|^2, \quad 1 - |\bar{r}|^2 = |\bar{t}|^2 \quad \text{и} \quad |\bar{t}|^2 = |\bar{t}|^2, \quad |\bar{r}|^2 = |\bar{r}|^2. \quad (9)$$

Из сравнения решений (7) и (8) с (2) мы видим, что в первом случае  $A_1 = 1$ ,  $B_1 = \bar{r}$ ,  $A_2 = \bar{t}$  и  $B_2 = 0$  тогда как во втором случае  $A_1 = 0$ ,  $B_1 = \bar{t}$ ,  $A_2 = \bar{r}$  и  $B_2 = 1$ . Переписав соотношения (3) к обоим решениям  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , с учетом (5) получим

$$\begin{pmatrix} \bar{t} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta^* & \alpha^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \bar{r} \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad \begin{pmatrix} \bar{r} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta^* & \alpha^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{t} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Из (10), в частности, следует

$$\bar{t} = \bar{t}, \quad \bar{r} = -\frac{\bar{r}^* \bar{t}}{\bar{t}^*}, \quad \alpha = \frac{1}{\bar{t}^*} \quad \text{и} \quad \beta = -\frac{\bar{r}^*}{\bar{t}^*}. \quad (11)$$

Как видно из (11), коэффициенты прохождения частицы при падении электрона на произвольный барьер слева и справа совпадают, а коэффициенты отражения отличаются по фазе. Введя обозначения  $\bar{t} = t$  и  $\bar{r} = r$  для трансфер матрицы (5), с учетом (11) получим

$$\hat{U} = \begin{pmatrix} 1 & r^* \\ t^* & t^* \\ -r & 1 \\ t & t \end{pmatrix}, \quad \text{где} \quad |r|^2 + |t|^2 = 1. \quad (12)$$

2. Пусть потенциал  $V(x)$  имеет вид

$$V(x) = \sum_{n=1}^N V_n(x - x_n). \quad (13)$$

Здесь  $x_n$  — координата середины области определения, отличное от нуля  $V_n(x - x_n)$ , а  $2d_n$  — ширина этой области. Мы предполагаем, что  $x_n - x_{n-1} > 2(d_n - d_{n-1})$ . Тогда если каждый потенциал цепочки характеризовать своей трансфер матрицей, то для системы  $N$  потенциалов можно записать следующее соотношение (2):

$$\begin{pmatrix} T_N \\ 0 \end{pmatrix} = \hat{U}_N \hat{U}_{N-1} \cdots \hat{U}_1 \begin{pmatrix} 1 \\ R_N \end{pmatrix}, \quad (14)$$

где  $T_N, R_N$  — амплитуды прохождения и отражения частицы для потенциала  $V(x)$ . Матрицы  $\hat{U}_n$  являются трансфер матрицами одиночных потенциалов цепочки  $V_n(x - x_n)$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) и согласно (12) имеют вид:

$$\hat{U}_n = \begin{pmatrix} \frac{1}{t_n} & \frac{r_n^*}{t_n} \\ -\frac{r_n}{t_n} & \frac{1}{t_n} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где  $t_n$  и  $r_n$  — амплитуды прохождения и отражения частицы для потенциала  $V_n(x - x_n)$ . Например, в случае, когда  $V_n(x - x_n)$  является одиночным  $\delta$ -потенциалом, т.е.  $V_n(x - x_n) = V_n \delta(x - x_n)$ , для  $t_n$  и  $r_n$  имеем следующие выражения (2):

$$t_n = \frac{1}{1 + \frac{iV_n}{2k}} \quad \text{и} \quad r_n = \frac{-\frac{iV_n}{2k} e^{2ikx_n}}{1 + \frac{iV_n}{2k}}. \quad (16)$$

Рассмотрим трансфер матрицу потенциала  $V(x)$ :

$$\hat{U}_N = \prod_{n=1}^N \hat{U}_n = \begin{pmatrix} \frac{1}{T_N} & -\frac{R_N^*}{T_N} \\ -\frac{R_N}{T_N} & \frac{1}{T_N} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Тогда матрица  $\hat{U}_{N-1}$  характеризует рассеяние частицы только при наличии первых  $N-1$  потенциалов поля  $V(x)$ , т.е. когда  $V_N(x - x_N) = 0$ . Как следует из (14), (15) и (17),

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{T_N} & -\frac{R_N^*}{T_N} \\ -\frac{R_N}{T_N} & \frac{1}{T_N} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{t_N} & -\frac{r_N^*}{t_N} \\ -\frac{r_N}{t_N} & \frac{1}{t_N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{T_{N-1}} & -\frac{R_{N-1}^*}{T_{N-1}} \\ -\frac{R_{N-1}}{T_{N-1}} & \frac{1}{T_{N-1}} \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Введем обозначения  $D_N = \frac{1}{T_N}$  и  $\bar{D}_N = \frac{R_N^*}{T_N^*}$ . Тогда из (18) получим линейную

систему конечно-разностных уравнений для комплексных величин  $D_N$  и  $\bar{D}_N$ :

$$D_N = \frac{r_N}{t_N} \bar{D}_{N-1} + \frac{1}{t_N} D_{N-1}, \quad (19a)$$

$$\bar{D}_N = \frac{r_N^*}{t_N^*} D_{N-1} + \frac{1}{t_N^*} \bar{D}_{N-1}. \quad (19b)$$

Исключив из уравнения (19a)  $\bar{D}_{N-1}$  и из уравнения (19b)  $D_{N-1}$ , полученную нами систему уравнений (19) можно записать в более удобной форме:

$$D_N = A_N D_{N-1} - B_N D_{N-2}, \quad (20a)$$

$$\bar{D}_N = A_N^* \bar{D}_{N-1} - B_N^* \bar{D}_{N-2}, \quad (20b)$$

где

$$A_N = \frac{1}{t_N} + \frac{1}{t_{N-1}^*} B_N \quad \text{и} \quad B_N = \frac{r_N t_{N-1}}{t_N r_{N-1}}. \quad (20v)$$

Как видно из (20), система уравнений (19) распадается на две независимые системы для комплексных величин  $D_N$  и  $\bar{D}_N$ . Отметим также, что уравнения (19) и (20) верны для любого потенциала, имеющего вид (13).

3. Рассмотрим частный, на наш взгляд важный, вид потенциала  $V(x)$ , когда одиночные потенциалы суммы (13) имеют вид прямоугольных барьеров, характеризующихся произвольными высотой  $V_n$ , шириной  $2d_n$  и расположением  $x_n$  ( $x_n$  — координата середины прямоугольного барьера). Коэффициенты прохождения и отражения для прямоугольного барьера с параметрами  $V_n$ ,  $2d_n$  и  $x_n$  хорошо известны в квантовой механике и задаются в виде (2)

$$\frac{1}{t_n} = e^{2ik_0 d_n} \left[ \cos 2k_n d_n - i \frac{k_n^2 + k_0^2}{2k_0 k_n} \sin 2k_n d_n \right], \quad (21)$$

$$\frac{r_n}{t_n} = i \frac{e^{2ik_0 x_n}}{2k_0 k_n} (k_n^2 - k_0^2) \sin 2k_n d_n,$$

где  $k_0 = \sqrt{E}$ ,  $k_n = \sqrt{E - V_n}$ . Коэффициенты  $A_N$  и  $B_N$ , входящие в уравнение (20a) и (20b), определяются из (20v) и (21). В частности, для  $B_N$  получаем следующее выражение:

$$B_N = \frac{k_N^2 - k_0^2}{k_{N-1}^2 - k_0^2} \cdot \frac{k_{N-1}}{k_N} \cdot \frac{\sin 2k_N d_N}{\sin 2k_{N-1} d_{N-1}} \cdot e^{2ik_0(x_N - x_{N-1})}. \quad (22)$$

Если высота барьера  $V_N \rightarrow \infty$ , а ширина  $2d_N \rightarrow \infty$ , так чтобы  $2V_N d_N \rightarrow \bar{V}_N$ , тогда прямоугольные барьеры переходят в  $\delta$ -функции с

амплитудой  $\bar{V}_N$ . Нетрудно проверить, что при таком переходе формулы в (21), определяющие  $t_N$  и  $r_N$ , перейдут в формулы (15), следовательно и выражения для  $A_N$  и  $B_N$  совпадут с соответствующими выражениями работы (3), полученными для  $\delta$ -потенциалов методом последовательного решения уравнений Дайсона для функции Грина.

Таким образом, мы получили рекуррентное уравнение (20) для коэффициента прохождения электрона через систему  $N$  произвольных одномерных потенциалов. Коэффициенты  $A_N$  и  $B_N$  для системы произвольных прямоугольных барьеров выражаются формулами (20в), (21) и (22). Данные формулы могут быть использованы для получения дифференциального уравнения для функции  $D(x) = 1/T(x)$ , где  $T(x)$  — коэффициент прохождения для потенциала

$$V = V(y)\theta(y-x), \quad (23)$$

где  $V(y)$  — произвольный барьер, а  $\theta$  — функция Хевисайда.

Если обозначим  $D_{N-1} = D(x)$ , тогда  $D_N = D(x + \Delta x)$  есть величина, обратная коэффициенту прохождения при добавлении прямоугольного барьера высотой  $V(x + \Delta x)$  и шириной  $\Delta x$ , а  $D_{N-2} = D(x)$  соответствующая величина для барьера высотой  $V(x - \Delta x)$  и шириной  $\Delta x$ . Тогда разностное уравнение (20а) можно записать в следующем виде:

$$D(x + \Delta x) = A(V(x), \Delta x)D(x) - B(V(x), \Delta x)DV(x - \Delta x). \quad (24)$$

Разлагая функцию  $D$  по малой величине  $\Delta x$ , уравнение (24) можно записать в виде

$$\frac{1}{2}(1+B)\frac{d^2 D}{dx^2}(\Delta x)^2 + (1-B)\frac{dD}{dx}\Delta x - (A-B-1)D(x) + \theta((\Delta x)^3) = 0. \quad (25)$$

Используя формулы (21), (22) и (20в) и принимая  $V_{N-1} = V(x)$  и  $V_N = V(x + \Delta x)$ , для коэффициентов уравнения (25) получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} B-1 &= 2ik_0\Delta x + \theta(\Delta x^2), \\ A-B-1 &= V \cdot (\Delta x)^2 + \theta((\Delta x)^3). \end{aligned} \quad (26)$$

Подставляя (26) в уравнение (25) и устремляя  $\Delta x \rightarrow 0$ , получим искомое дифференциальное уравнение для функции  $D(x)$

$$\frac{d^2 D}{dx^2} - 2ik_0 \frac{dD}{dx} - VD = 0. \quad (27)$$

Для нахождения коэффициента прохождения электрона через произвольный барьер  $V(x)$  шириной  $L$  необходимо решить уравнение (27) с начальными условиями

$$D(0) = 1 \quad \text{и} \quad \left. \frac{dD}{dx} \right|_{x=0} = \frac{iV(0)}{2k_0}. \quad (28)$$

Значение  $D(x)$  в точке  $x = L$  и определяет искомый коэффициент прохождения.

Отметим, что задача рассеяния электрона на произвольном барьере сводится к задаче Коши для комплексного уравнения (27). В случае конечно-прямоугольного барьера высотой  $V$  и шириной  $L$  уравнение (27) с начальными условиями (28) легко решается, и для  $D(L)$  получаем следующее выражение:

$$D(L) = e^{ik_0L} \left( \cos kL - i \frac{k_N^2 + k_0^2}{2kk_0} \sin kL \right), \quad (29)$$

которое, как и ожидалось, совпадает с первой формулой (21) для  $L = 2d$ .

В конце отметим, что уравнение (27) может играть важную роль в задачах переноса электромагнитных и упругих волн в одномерных и неоднородных линейных средах (4).

Авторы выражают благодарность профессору Д.А.Бадалян за обсуждение полученных результатов.

Ереванский государственный университет  
Государственный инженерный университет Армении

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Գ. Մ. ՍԵՂԻՐԱԿՅԱՆ, Ա. Ժ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

**Ռեկուրենտ առնչություններ միաչափ պոտենցիալ դաշտում  
էլեկտրոնի ցրման խնդրում**

Աշխատանքում ստացված են ռեկուրենտ առնչություններ էլեկտրոնի անցման գործակցի համար կամայական միաչափ պոտենցիալ դաշտում: Հաշվված է այդ առնչությունների գործակիցները ուղղանկյուն արգելքների համար: Գտնված է դիֆերենցիալ հավասարում, որի լուծումը որոշում է անցման գործակիցը կամայական պոտենցիալ արգելքի համար:

#### ЛИТЕРАТУРА – ՎՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> В.И.Арнольд, Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М., Наука, 1978. <sup>2</sup> P.Erdos, R.C.Herdon, Adv. in Phys., v.31, p.65 (1982). <sup>3</sup> V.M.Gasparian, B.L.Altshuler, A.C.Aronov, Z.H.Kasamian, Phys. Lett., A132 p.201, (1988). <sup>4</sup> Д.М.Седракян, Д.А.Бадалян, В.М.Гаспарян и др., ЖЭТФ, т.111, с.575 (1997).

АСТРОНОМИЯ

УДК 521(091)"-5500"(479.25)

Академик НАН Армении П. М. Геруни

Доисторическая каменная обсерватория  
Карахундж-Карениш

(Представлено 15/V 1998)

"Ex oriente lux!"

("Свет с Востока!")

В двухстах километрах от Еревана, у города Сисиан, находится доисторический памятник, состоящий из сотен вертикально поставленных больших камней (фото 1). Многие из них в своей верхней части имеют сквозные отверстия (фото 2).



Фото 1. Карахундж. Общий вид. Южная ветвь



Фото 2 Камни с отверстиями

Ранее высказывались предположения о возможном его культовом (1,2) или астрономическом (3-6) назначении. Археологами велись раскопки расположенных рядом гробниц (7) и древнего поселения (3), которое было датировано III-II тысячелетием до н.э. Но сам каменный памятник не исследовался.

В целях его исследования автором были предприняты (за свой счет) четыре научные экспедиции (по 7-8 человек и по 4 дня) в 1994, 1995, 1996 и 1997 годах в дни равноденствий и солнцестояний. Были измерены размеры памятника, произведена детальная топографическая съемка, измерены широта, долгота и магнитное склонение места, высота над горизонтом отдаленных гребней гор, ограничивающих горизонт, азимуты и углы места направлений отверстий в камнях и др. Было пронумеровано (белой эмалевой краской) и обмерено 222 камня (базальт), составлен их каталог. Были произведены многочисленные наблюдения и видеосъемки через соответствующие отверстия в камнях в момент восхода, захода и кульминации Солнца и Луны в дни равноденствий и солнцестояний, составлены таблицы сравнения измеренных значений с предварительно рассчитанными значениями, определена точность работы доисторических астрономических каменных инструментов, проведен большой объем расчетных работ по обработке результатов измерений и др. Первые сведения были опубликованы в Ереване (8-10), Москве (11) и Италии (12,13), направлена статья в "Scientific American" (14).

Основные выводы наших исследований поразительны. Памятник представлял собой: 1) храм АР-а (Солнца) – главного бога древних армян и его "секретаря"; бога Тира – покровителя наук и письменности; 2) обширную и высокоразвитую обсерваторию, оснащенную многочисленными каменными инструментами, имеющими точность до 30 сек дуги (2 сек времени) и 3) университет. Построен армянами, аборигенами этих мест, более 7500 лет тому назад (т.е. более чем на 3500 лет ранее знаменитого Стоунхенджа в Англии (15)) и действовал более 5500 лет. Нам стало очевидно, что памятник должен исследоваться гораздо более тщательно и разными специалистами, на что потребуются многие годы.

Памятник расположен на сев. широте  $39^{\circ}34'$  и вост. долготе  $46^{\circ}01'$  на горном плато на высоте 1770 м над уровнем моря, в 3 км от г.Сисиан и занимает площадь более 7 га на левом берегу ущелья речки Дар, притока реки Воротан. Неподалеку выходит на поверхность подземная река, образующая в 4 км известный водопад (выс. ок. 22 м) у села Шаки. Горизонт памятника с востока, севера и запада окаймлен горными хребтами, высота которых не превышает  $7^{\circ}$  по углу места. Южный горизонт открыт.

В 29 км (по прямой) на восток от памятника находится село Карахундж. В 98 км на С-В, в Нагорном Карабахе (Арцахе), расположено другое село с таким же названием Карахундж, рядом с которым находится другая каменная обсерватория (пока не обследованная). В 85 км на восток в Арцахе же нахо-

дится третье село с название Карахундж. В 24 км на Ю-В находится село Татев, а в 62 км на запад – село Гладзор с известными средневековыми университетами при христианских монастырях. В 8 км на С-З, у села Ангехакот также имеются мегалиты. В 28 км на Ю-В находится горная вершина (3400 м) Арамазд (бог Солнца), а в 14 км на С-В – вершина (3500 м) Ишханасар (Князь-гора).

Памятник состоит из центрального круга, северного, южного и северо-восточного рукавов (ветвей), пересекающей круг хорды и отдельно стоящих камней (см. карту на рис.1). Камень (базальт) добывали в соседнем ущелье.

В обработанном и установленном виде камни имеют высоту от 0,5 до 2,8 м и массу до 8,5 т. Отверстия в камнях имеют диаметр около 4-5 см с коническими расширениями на концах. Они проделаны на расстоянии 10-20 см ниже их верхней кромки. Внутренняя поверхность отверстий чистая и гладкая, а круглая их форма хорошо выдержана по всей длине. Большинство отверстий направлено на линию горизонта. Наличие отверстий – явление уникальное для памятников этого рода (каменных обсерваторий).

**Центральный круг** памятника имеет вытянутую к западу яйцеобразную форму с размерами 45 и 36 м и образован из 39 (40) камней. Примерно в середине круга находятся развалины культового (по-видимому) сооружения с размерами в плане 7×5 м (пропорции храма Гарни!). В камнях центрального круга, а также северо-восточного рукава (аллеи) отверстий не имеется.\* По-видимому они служили для торжественных церемоний в честь АР-а. Северо-восточная аллея (шириной 8 м) направлена в сторону восхода Солнца в день летнего солнцестояния и при соединении с кругом образует "ворота" шириной 8 м. Бог солнца АР был добрым к людям, он дарил жизнь щедро и бескорыстно, поэтому никаких жертвоприношений и жертвенных алтарей в то время не было. Это порождение более поздних и жестоких времен.

На север от центрального круга идет **северный рукав**, образованный из 80 камней, из которых 49 имеют отверстия. Он вытянут на 136 м и имеет на северном конце восточную и западную аллеи длиной по 40 м и шириной примерно по 8 м (рис.1).

На юг от центрального круга идет **южный рукав**, включающий 69 камней, 26 из которых имеют отверстия. Он тянется на 75 м, загибается к западу и продолжается еще на 46 м. Его продолжением являются круглые гробницы диаметром от 3 до 8 м.

Северный и южный рукава имели вдоль камней мощенные плитами дорожки шириной около 1,5 м и каменные "сидения" для наблюдателей, которые, по-видимому, имели деревянные надстройки для фиксации головы.

---

\* Здесь я вспоминаю слова английского археолога А.Бюрла: "Будь основной целью доисторического человека создание астрономического монумента, он не стал бы проектировать круг. Камни, стоящие по прямой линии ... были бы более подходящими" (16). Однако я верю в астрономическое назначение Стоунхенджа.

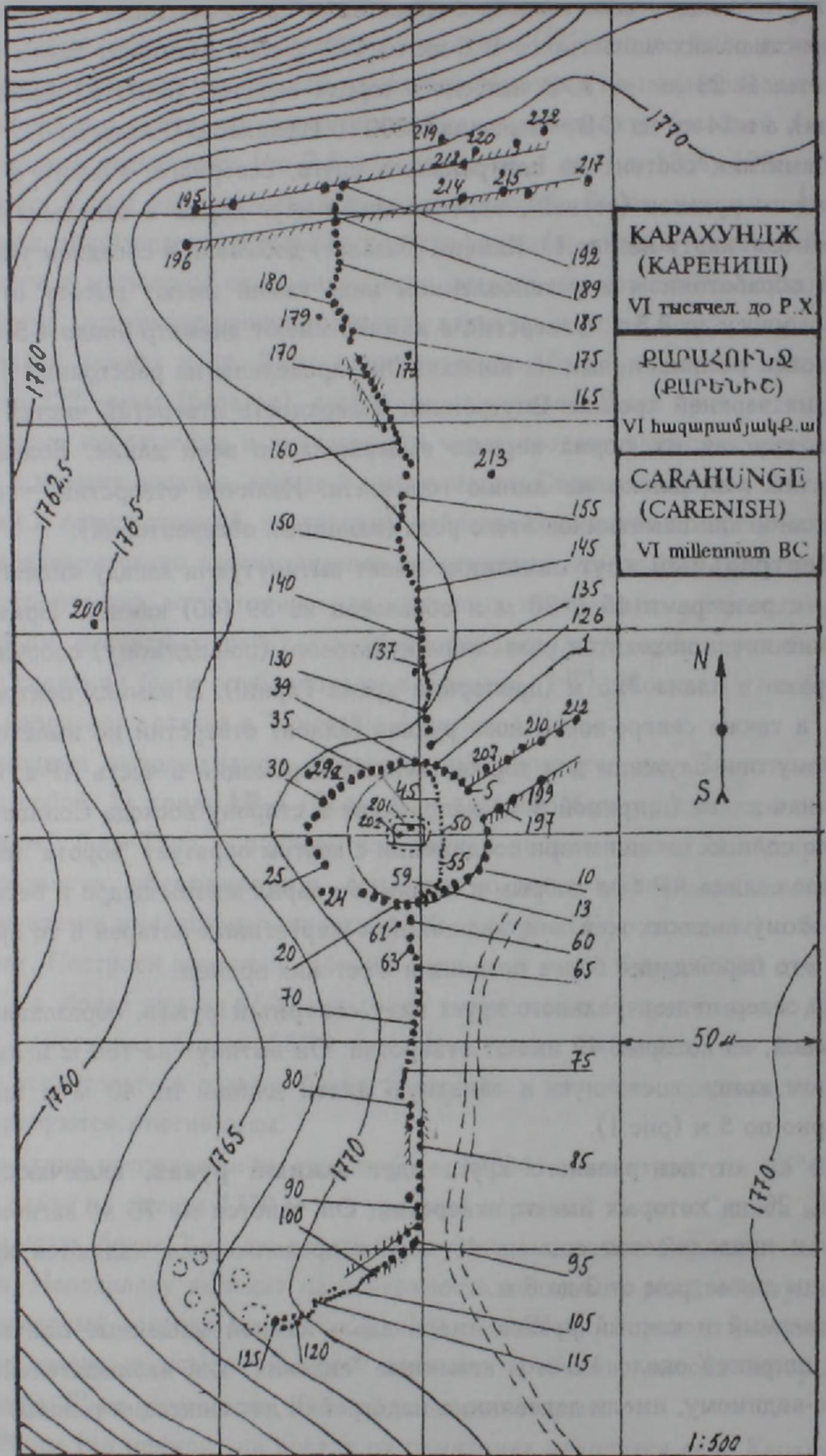


Рис. 1.

Северо-восточная аллея включает 8 камней и имеет в длину (от центрального круга) более 20 м и ширину 8 м. Отверстия имеются в 2-х лежащих камнях.

Хорда, пересекающая центральный круг, является как бы продолжением северной ветви и соединяет ее с южной. Включает 20 камней, 5 из которых имеют отверстия.

Отдельно стоящие камни находятся как к востоку, так и к западу от ветвей на удалении от них до 90 м и более. Имеется по крайней мере 5 таких камней, в одном из которых есть отверстие.

Камни изъедены временем и покрыты толстым слоем мха всех цветов. Основные сведения о количестве и состоянии камней сведены в табл. 1.

Камни №50,71,85 имеют по два отверстия. Камни (лежащие) №90,92, 125 имеют не до конца просверленные отверстия (и не столь замшелые). Это означает, что работа по развитию обсерватории продолжалась длительное время и была прервана неожиданно.

Таблица 1

|                  | Номера камней  | Общее количество | С отверстиями | Стоячие | Стоячие с отверстием | Наклонные | Лежащие | Лежащие с отверстием | Разбитые |
|------------------|----------------|------------------|---------------|---------|----------------------|-----------|---------|----------------------|----------|
| Центральный круг | 1-39           | 40               | —             | 15      | —                    | 10        | 9       | 1                    | 2        |
|                  | +29а           |                  |               |         |                      |           |         |                      |          |
| Хорда            | 40-59          | 20               | 6             | 8       | 3                    | 3         | 1       | —                    | 6        |
| Южный рукав      | 60-125         | 69               | 26            | 25      | 16                   | 2         | 31      | 9                    | 17       |
|                  | +62а, 64а, 65а |                  |               |         |                      |           |         |                      |          |
| Северный рукав   | 126-196        | 80               | 49            | 28      | 18                   | 3         | 35      | 30                   | 21       |
|                  | 216-222        |                  |               |         |                      |           |         |                      |          |
| С-В аллея        | 197-199        | 8                | 2             | 2       | —                    | 2         | 4       | 2                    | 3        |
|                  | 208-212        |                  |               |         |                      |           |         |                      |          |
| Отдельные камни  | 200, 202       | 5                | 1             | 1       | —                    | —         | 2       | 1                    | —        |
|                  | 207, 213       |                  |               |         |                      |           |         |                      |          |
| ВСЕГО:           | 1-222          | 222              | 84            | 79      | 37                   | 20        | 82      | 43                   | 49       |

Специалист из Швейцарии Х.П.Клейнер, участвовавший в работах II экспедиции, обратил внимание на камень №68 с широкой выемкой с водой, отраженный от поверхности которой луч составляет определенный угол с вершиной соседнего камня №69, а также на отдельно стоящий камень №200, который мог служить аналогом "пяточного" камня Стоунхенджа. Он же нашел небольшой наконечник из обсидиана, заточенный в виде резака (фото 3). На камни №207-222 первым обратил внимание член наших экспедиций историк П.Г.Сафян.

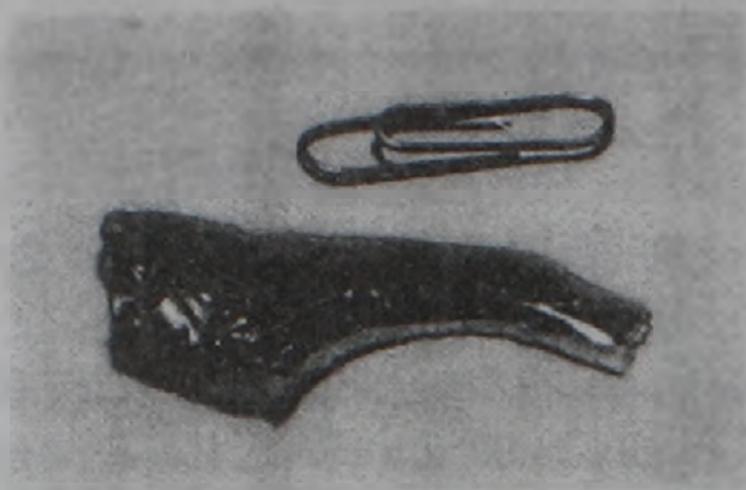


Фото 3. Резак из обсидиана

Отдельные камни с отверстиями или группы по 2-3 камня представляют собой астрономические инструменты для наблюдения за Солнцем, Луной и звездами. Мы сразу же обнаружили по нескольку камней, отверстия которых направлены на точки восхода и захода Солнца и Луны в дни равноденствий и солнцестояний. Через эти отверстия мы проводили наблюдения моментов восхода и захода Солнца и Луны, а также их фото и видеосъемки (фото 4).

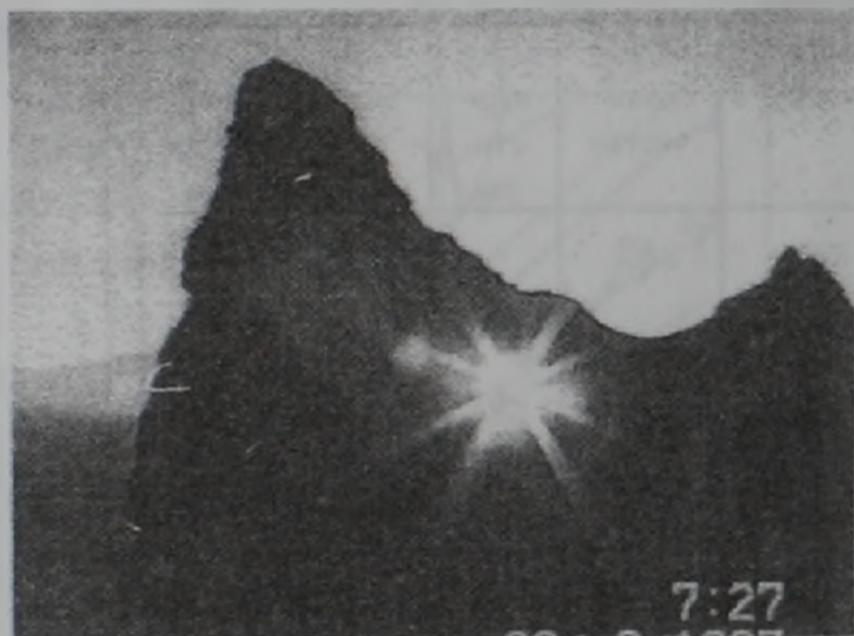


Фото 4. Восход Солнца 22 сентября 1997 года через отверстие в камне №63

В основном отверстия имеют профиль и размеры, показанные на рис.2. Если глаз наблюдателя находится на расстоянии 1 м от внешнего края цилиндрической части отверстия, то горизонт виден в пределах  $2,86'' = 172'$ . Считая, что Солнце (Луну) можно завизировать глазом в центре отверстия с ошибкой, равной их угловому диаметру, получим точность наблюдения (фиксации) положения Солнца (Луны), равную  $(172' - 32') : 2 : 2 = 35'$  (или 2,3 мин времени). Наличие отверстий в камнях является одним из веских доказательств астрономического назначения Памятника.

Мы предполагаем, что эта точность могла быть повышена более 50 раз, если наблюдать через вставленную в отверстие и закрепленную в нем трубку (например, из камыша) с внутренним диаметром около 10 мм (рис.3).

Такую трубку легко закрепить в отверстии с помощью сырой глины. В нужный момент (например, восхода Солнца) наводку трубки нужно вручную скорректировать в мягкой глине и более не трогать. Через сутки, после доста-

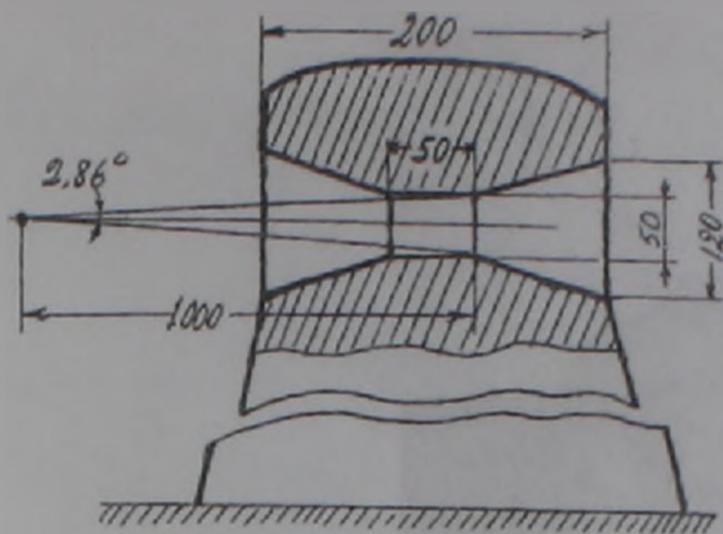


Рис 2

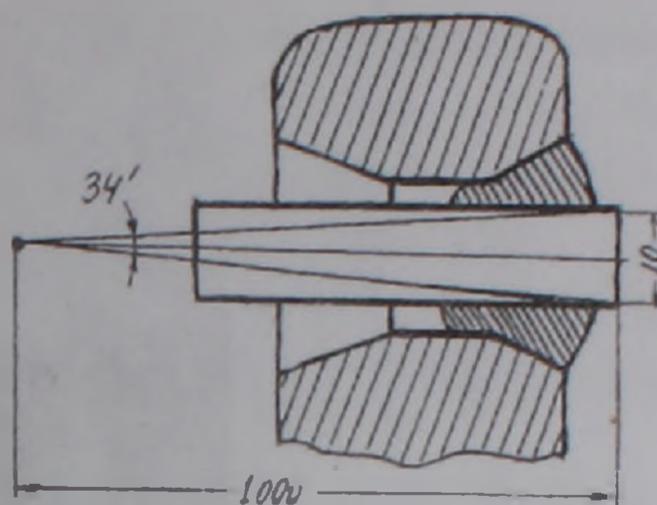


Рис 3

таточного затвердения глины, все это устройство можно снять и сохранить для того же момента следующего года (лет). Точность наблюдения при том же расстоянии в 1 м будет равна примерно  $(34' - 32') : 2 \cdot 2 = 30''$  (или 2 сек времени). Во время IV экспедиции мы провели эксперимент с трубками (фото 5, 6) и наблюдали через них моменты восхода и заход Солнца и Луны (фото 7, 8).

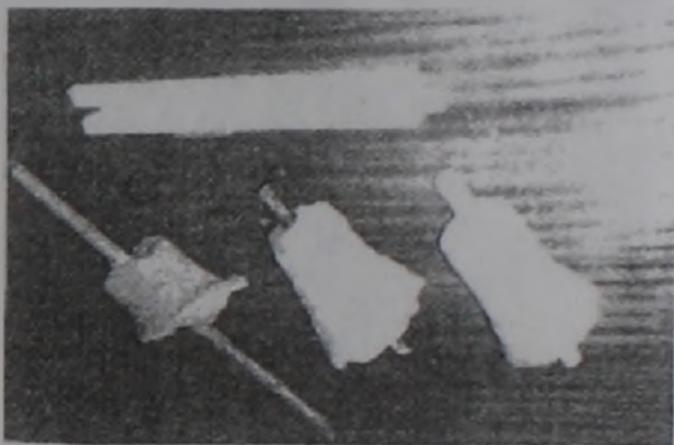


Фото 5. Трубки в глине, извлеченные из отверстий



Фото 6 Трубка в отверстии камня №66 (Орел)



Фото 7. Восход Солнца 22 сентября 1997 года через отверстие в камне №67

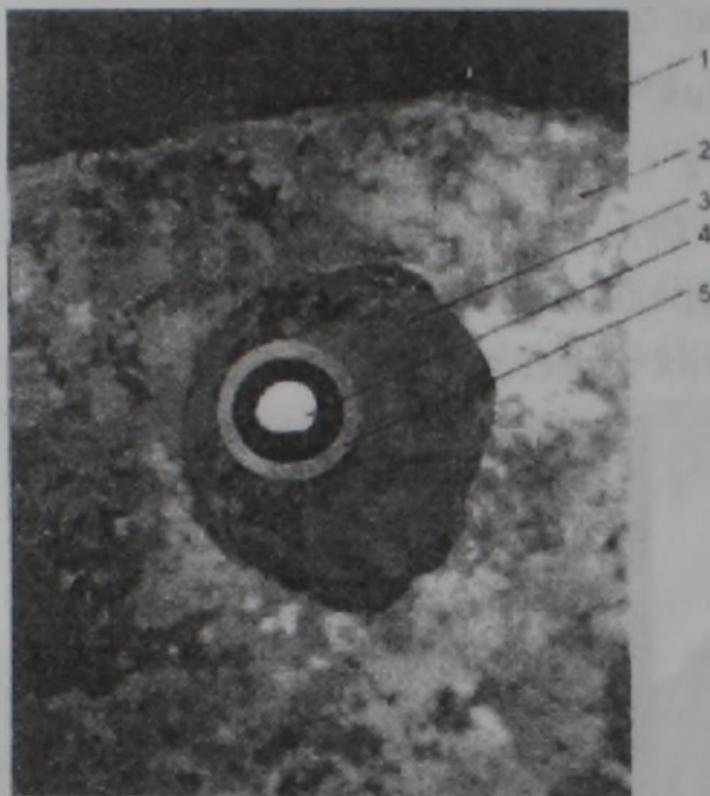


Фото 8. Восход Луны 21 сентября 1997 года через трубку в отверстии камня №79 (1 – небо; 2 – камень; 3 – глина; 4 – Луна; 5 – трубка)

Древние астрономы могли пользоваться и солнечными фильтрами из полупрозрачных пластин обсидиана. Имея небольшое поле зрения, трубки могут использовать все поле обзора отверстия, т.к. необязательно, чтобы они были соосны с отверстием, а конические расширения на концах последнего лишь способствуют этой возможности.

Древние наблюдатели, зафиксировав азимут (положение) точки восхода (захода) Солнца в какой-либо день, могли определить (даже без трубок), что эта точка перемещается вдоль горизонта изо дня в день (на величину до 30' в дни, близкие к равноденствию) и возвращается в исходное положение через 365 дней. Это легло в основу составления календаря (так наз. "подвижного"). Но многолетние наблюдения показали бы, что точное возвращение в исходное положение происходит раз в 4 года плюс 1 день, т.е. год содержит 365,25 дней (точнее 365,242)

Следовательно, чтобы "остановить" имевшее место движение праздников по всему году, необходимо было добавлять к календарю один день раз в 4 года. Так возник "неподвижный" календарь. Армяне тысячелетиями использова-

ли оба календаря параллельно (вплоть до позднего средневековья). Накапливаясь, эти четверть дня давали в "подвижном" календаре сдвиг на целый год за 1461 год. Этот период назывался "Айоц (или Айкя) шрджан" (Армянский цикл) и был известен под этим названием и древним египтянам<sup>(17)</sup>.

Зная азимуты точек восхода Солнца в дни солнцестояний и широту места (см. ниже), древние астрономы могли определить угол склонения Солнца в дни кульминаций, т.е. **наклонение эклиптики**.<sup>\*\*</sup>

Производя из года в год измерения сдвига во времени моментов восхода Солнца в той же точке, древние наблюдатели должны были заметить также **предварение равноденствий** (около 83' за 100 лет), т.е. открыть явление **прецессии земной оси**. Используя же трубки, они могли зафиксировать и вековое смещение азимутов точек восхода Солнца в дни солнцестояний (на величину до 8,6' за 100 лет), т.е. определить **вековое изменение угла наклонения эклиптики** (0,8' до 5,6' за 100 лет).

**Уникальный инструмент** представляет собой ансамбль из трех камней №60, 62 и 63, расположенных в начале южной ветви (в направлении север-юг). Камни №60 и 62 имеют отверстия, направленные выше горизонта, через которые видна вершина камня №63 (рис.4). При этом направление отверстия в камне №62 на вершину камня №63 составляет по отношению к вертикали угол около 40°, т.е. **равен широте места!**

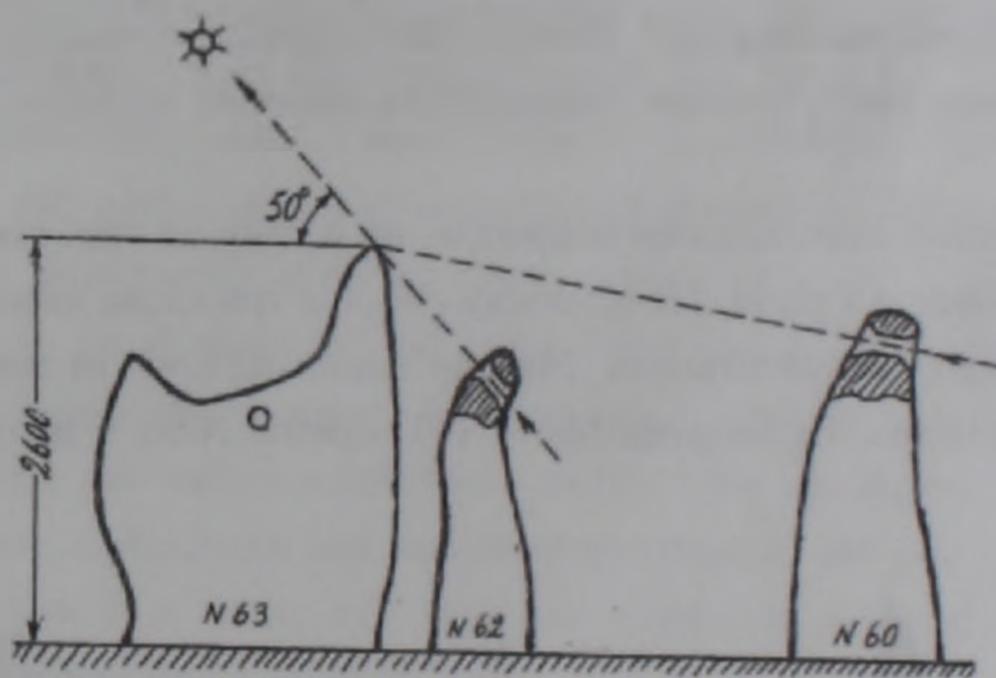


Рис. 4.

\* Позже (до середины III тыс. до н.э.) был обнаружен также период, который назывался Сотис (Сириус). Он всего на 12 с лишним дней длиннее Армянского цикла, так как год по Сириусу (по его предсолнечным восходам) равен точно 365,25 дня, т.е. на 12 минут больше солнечного года. Сотис означает по-армянски "Любимое существо в доме святого человека". Здесь под святым человеком подразумевался бог-царь Гайк-Орион-Осирис, а под существом — его жена Сириус-Исида ("друг моей жизни"), мать Гора ("Красивой и большой души"). Название Сотис также было известно древним египтянам, а от них — грекам. Добавлю здесь, что Сириус это  $\alpha$  Canis Major (Большого Пса). Canis остался от армянского "шан'с" (моего пса).

\*\* Этот угол (равный сейчас около 23,44°) составлял 7000 лет тому назад около 24,35°. Здесь интересно отметить, что армянский автор XVII века для угла наклонения эклиптики дает значение 23,5°<sup>(18)</sup>. Довольно высокая точность (должно было быть около 23,445°).

Мы наблюдали через отверстие камня №62 (еще при первой экспедиции), как в полдень, в день равноденствия, Солнце оказывается на вершине камня №63, который, кстати, похож на тело Овна (или Козерога). Таким образом, фиксировалось начало года (21 марта), измерялась широта места и кульминация Солнца. Эти обстоятельства вкупе с другими (см. ниже) свидетельствуют о том, что древние ученые этой обсерватории знали, что Земля имеет форму шара.



Фото 9. Отражение Солнца от зеркала в отверстии камня №63 (Овен)

В другом эксперименте (фото 9), проведенном членами IV экспедиции фотокорреспондентом Г.Н. Багдасаряном, в отверстии на спине Овна был прикреплен кусочек зеркала (с помощью той же глины), и солнечный "зайчик" от него перемещался более, чем на 4 см в минуту на экране, установленном в 10 м от камня. Так могли измерять движение Солнца по прямому восхождению и склонению (в то же время это – солнечные часы-календарь\*. Камень №60 служил, по-видимому, для контроля положения камня №63, вековая стабильность которого являлась важным фактором.

Овен – не только зодиакальное созвездие, но и один из трех главных символов АР-а наряду со Львом и Орлом. По-армянски все эти три слова начинаются на "ар": Арис, Арюц и Арцив соответственно. Многие камни похожи на животных, например, камень №16 похож на медведя (фото 10), камень №66 – на орла (фото 6) и т.д.



Фото 10. Камень №16 (Медведь)

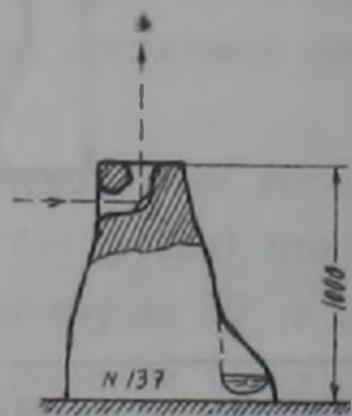


Рис. 5

Другим уникальным инструментом является камень №137, высотой в 1.2 м. Его отверстие не прямое, а на полпути сворачивает вверх и выходит на верхнюю торцевую площадку (рис.5 и фото 11).

\* Гитцох – Ствсрачап (Знаток – Тенемстр) на древнем армянском.



Фото 11 Камень №137 (перископ)

Если на месте изгиба поставить кусочек зеркала (из черного обсидиана) – получится **перископ**, очень удобный для наблюдения точки зенита (сидя). Что же смотрели в зените, если ни Солнце, ни Луна на этой широте никогда (по крайней мере за последние 10 тыс. лет) не проходили через зенит? Очевидно, что звезды. Причем яркие, т.к. зеркало было не очень совершенным и наблюдали невооруженным глазом. Мы с программистом Л.А.Татевосяном и астрономом Р.Г.Мнацаканян рассмотрели возможность прохождения 21 наиболее яркой звезды нашего неба через точку зенита в какое-либо время в прошлом, используя законы прецессии Земной оси и учитывая собственные движения звезд<sup>(19,20)</sup>. Оказалось, что 4 из них проходили через зенит в этом месте! Первое событие произошло **7630 лет** тому назад ( $\pm 40$  лет) и искомой звездой был **Денеб** ( $\alpha$  Лебеда). Затем проходили: **Арктур** ( $\alpha$  Возничего) 3480 лет тому назад, **Вега** ( $\alpha$  Лиры) 3000 лет тому назад и **Капелла** ( $\alpha$  Возничего) 2330 лет тому назад (см. табл. 2). В указанное время они проходили точку зенита и удалялись от нее на пол градуса за 100–300 лет, т.е. времени для наблюдений было достаточно. Добавим, что камень №137 (перископ) имеет с обратной для наблюдений стороны выемку с водой диаметром около 20 см (рис. 5 и фото 11), которая служила уровнем (ватерпасом) для контроля вертикальной оси визирования.

Сказанное позволяет датировать памятник. Даты менее 4500 лет мы не принимаем, так как известно, что в это время у армян уже существовал точный солнечный календарь. Более того, именно в это время, в **2492г. до н.э.**, произошла реформа календаря и начался **Бун Айоц Томар** (Коренной Армянский Календарь)<sup>(17)</sup>.\*

---

\* По этому календарю год делится на 12 месяцев по 30 дней, плюс 5 дней (Авеляц) предновогодних праздников. Каждый месяц, каждый день, как и каждый час дня и ночи имеют свои (армянские) названия в отличие от всех других календарей. Сутки начинаются в 6 часов утра. Сейчас по Бун Айоц Томар идет 4491 год. Через 9 лет следует широко отмечать 4500-летие этого древнейшего точного солнечного календаря.

Таблица 2

| Перископ       |                    |                       |                 |                 |              |
|----------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Названия звезд | Созвездия          | Доисторический период |                 |                 | Камень номер |
|                |                    | Лет назад             | Склонение       | Угол места      |              |
| Денеб          | $\alpha$ Лебедя    | 7630                  | $39^{\circ}34'$ | $90^{\circ}00'$ | 137          |
| Арктур         | $\alpha$ Волопаса  | 3480                  | $39^{\circ}35'$ | $90^{\circ}00'$ | 137          |
| Вега           | $\alpha$ Лиры      | 3000                  | $39^{\circ}35'$ | $90^{\circ}01'$ | 137          |
| Капелла        | $\alpha$ Возничего | 2330                  | $39^{\circ}35'$ | $90^{\circ}00'$ | 137          |

В этом году армянский кесар<sup>\*</sup> Гайк повелел отныне праздновать ежегодно день своей победы<sup>\*\*</sup> над царем Вавилона Бэлом (Немродом) и переименовать месяцы года по именам своих сыновей и дочерей<sup>(22)</sup>. Известно, что по предыдущему календарю новый год начинался со дня весеннего равноденствия (21 марта), но когда был введен это предыдущий календарь – неизвестно. Теперь мы знаем, что это было более **7500 лет тому назад**, поскольку в это время уже действовала исследуемая обсерватория (см. ниже).

При обработке азимутов и углов наклона (УМ) осей 47 отверстий, измеренных повторно во время IV экспедиции, мы обнаружили, что направления на точки восходов и заходов Солнца в дни солнцестояний ( $\delta = \pm 23,4^{\circ}$ ) и Луны в дни ее кульминаций ( $\delta = \pm 18,7^{\circ}$  и  $\pm 29^{\circ}$ ) для 30 отверстий смещены от нынешних (измеренных и расчетных) азимутов этих точек влево или вправо на величину от  $3^{\circ}$  до  $14^{\circ}$ .

Дж.Хоукинс отмечает<sup>(5)</sup>, что из-за уменьшения наклона эклиптики азимут восхода Солнца в дни солнцестояний возрастает со скоростью в  $0,2^{\circ}$  за 100 лет (для широты Стоунхенджа,  $51^{\circ}$ ), по крайней мере за последние 9000 лет. Исходя из этой цифры, получаем для нашей широты  $1,44^{\circ}$  за 1000 лет.

Имея вышеприведенные данные по сдвигу азимутов, мы можем датировать<sup>\*\*\*</sup> Памятник (и даже каждый его камень) независимо от датировки по камню №137 (перископ).

В табл.3 приведены (строка 2,  $\text{Az.}^{\circ}$ ) расчетные значения азимутов восходов и заходов Солнца и Луны в Карахундже в настоящее время, с учетом поправок на реальную высоту горизонта, рефракцию и лунный параллакс. По-

\* В те времена царь являлся и главным жрецом - полубогом. "Кес" по армянски означает "половина", т.е. Кес-АР (полубог) и был царем. Отсюда: "кесар", "цезарь", "царь" и др. Мовсес Хоренаци называет Гайка "нахараром"<sup>(21)</sup>, т.е. "созданным (быть) первым" или царем.

\*\* Это сражение произошло после возвращения Гайка в Армению из Вавилона, где он строил знаменитую библейскую Вавилонскую башню. Она имела ступенчатую структуру, как и первые египетские пирамиды.

\*\*\* Метод датировки по "сдвигу азимутов" был впервые применен известным английским астрономом Н.Локьером в 1901г. для определения возраста Стоунхенджа<sup>(23)</sup>. Его результат был очень неплохим: между 1880 и 1480 г. до н.э. (должно быть около 1850г. до н.э.<sup>(15)</sup>).

Таблица 3

|   |  | Солнце                          |     |                   |                      |    |                   |                                 |    |             |                      |     |                   |                      |     |                   |                                 |    |                   |     |     |               |     |    |
|---|--|---------------------------------|-----|-------------------|----------------------|----|-------------------|---------------------------------|----|-------------|----------------------|-----|-------------------|----------------------|-----|-------------------|---------------------------------|----|-------------------|-----|-----|---------------|-----|----|
|   |  | Восход                          |     |                   |                      |    |                   |                                 |    |             | Заход                |     |                   |                      |     |                   |                                 |    |                   |     |     |               |     |    |
|   |  | Летнее солнцестояние            |     |                   | Зимнее солнцестояние |    |                   | Весеннее, Осеннее равноденствия |    |             | Летнее солнцестояние |     |                   | Зимнее солнцестояние |     |                   | Весеннее, Осеннее равноденствия |    |                   |     |     |               |     |    |
| 1 | Сей-час  | скло-<br>ние, $\delta^a$        |     | + 23,44           |                      |    | - 23,44           |                                 |    | 0           |                      |     | + 23,44           |                      |     | - 23,44           |                                 |    | 0                 |     |     |               |     |    |
| 2 |  | Аз. <sup>a</sup>                |     | 59 + 5 = 64       |                      |    | 121 + 1 = 122     |                                 |    | 90 + 3 = 93 |                      |     | 301 - 1 = 300     |                      |     | 239 - 2,5 = 236,5 |                                 |    | 270 - 2,5 = 267,5 |     |     |               |     |    |
| 3 |  | Древний<br>Аз. <sup>a</sup> был |     | < 64              |                      |    | > 122             |                                 |    | = 93        |                      |     | > 300             |                      |     | < 236,5           |                                 |    | = 267,5           |     |     |               |     |    |
| 4 | а) Камень №<br>б) Аз. <sup>a</sup> тверст<br>в) $\Delta$ Аз. <sup>a</sup> сдвиг) |                                 | а   | б                 | в                    | а  | б                 | в                               | а  | б           | в                    | а   | б                 | в                    | а   | б                 | в                               | а  | б                 | в   | а   | б             | в   |    |
|   |  |                                 | 161 | 59                | 5                    | 97 | 134               | 12                              | 40 | 90          | - 3                  | 99  | 314               | 14                   | 108 | 229               | 7,5                             | 64 | 264               | 3,5 |     |               |     |    |
|   |  |                                 | 187 | 60,5              | 3,5                  | 98 | 134               | 12                              | 63 | 99          | + 6                  | 52  | 309               | 9                    | 169 | 229               | 7,5                             | 55 | 260               | 7,5 |     |               |     |    |
|   |  |                                 | 100 | 134               | 12                   | 67 | 90                | - 3                             |    |             |                      | 177 | 224               | 12,5                 |     |                   |                                 |    |                   |     |     |               |     |    |
|   |  |                                 |     |                   |                      | 79 | 90                | - 3                             |    |             |                      |     |                   |                      |     |                   |                                 |    |                   |     |     |               |     |    |
|   |  | Луна                            |     |                   |                      |    |                   |                                 |    |             |                      |     |                   |                      |     |                   |                                 |    |                   |     |     |               |     |    |
|   |  | Восход                          |     |                   |                      |    |                   |                                 |    |             | Заход                |     |                   |                      |     |                   |                                 |    |                   |     |     |               |     |    |
| 1 | + 18,7   |                                 |     | - 18,7            |                      |    | + 29              |                                 |    | - 29        |                      |     | + 18,7            |                      |     | - 18,7            |                                 |    | + 29              |     |     | - 29          |     |    |
| 2 | 65,4 + 6,5 = 72  |                                 |     | 114,6 + 2,5 = 117 |                      |    | 129 + 2,5 = 131,5 |                                 |    | 51 + 6 = 57 |                      |     | 194,6 - 2,6 = 292 |                      |     | 245,4 - 3,4 = 242 |                                 |    | 309 - 2,2 = 307   |     |     | 231 - 4 = 227 |     |    |
| 3 | < 72   |                                 |     | > 117             |                      |    | > 131,5           |                                 |    | < 57        |                      |     | > 292             |                      |     | < 242             |                                 |    | > 307             |     |     | < 227         |     |    |
| 4 | а  | б                               | в   | а                 | б                    | в  | а                 | б                               | в  | а           | б                    | в   | а                 | б                    | в   | а                 | б                               | в  | а                 | б   | в   | а             | б   | в  |
|   | 161  | 595                             | 13  | 76                | 124                  | 7  | 147               | 144                             | 12 | -           | -                    | -   | 138               | 299                  | 7   | 108               | 229                             | 13 | 44                | 319 | 1   | 146           | 214 | 13 |
|   | 18   | 9                               | 13  |                   |                      |    |                   |                                 |    |             |                      |     |                   |                      |     | 163               | 229                             | 13 | 51                | 310 | 2   | 151           | 214 | 13 |
|   |  |                                 |     |                   |                      |    |                   |                                 |    |             |                      |     |                   |                      |     |                   |                                 | 99 | 314               | 3   | 162 | 219           | 8   |    |
|   |  |                                 |     |                   |                      |    |                   |                                 |    |             |                      |     |                   |                      |     |                   |                                 |    |                   | 7   | 164 | 214           | 13  |    |

правка на магнитную девиацию (ок.  $1^\circ$ ) включена в значения азимутов отверстий в камнях (строка 4б). Результирующая ошибка составляет около  $\pm 0,7^\circ$  или  $0,7:1,44$ , т.е. около  $\pm 500$  лет.

В табл.3 включены лишь камни со сдвигом азимутов отверстий ( $\Delta\text{Аз}$ ), не превышающим  $15^\circ$ . Тогда мы имеем 16 камней для Солнца (или 10, исключая равноденствия) и 14 камней для Луны. Имеются две основные причины, вызвавшие различный сдвиг азимутов (от  $3$  до  $14^\circ$ , см. строку 4в). Одна из них в том, что Обсерватория (ее отдельные камни) строилась в разное (и длительное время). Чтобы исключить самые "молодые" камни, мы берем сдвиг азимутов более  $5^\circ$ . Вторая причина в том, что определенный сдвиг азимутов мог произойти по естественным причинам (землетрясения, оползни и т.п.). Для учета этого мы усредняем значения сдвигов азимутов. Принимая все это во внимание, мы имеем 8 солнечных камней (со сдвигом азимутов от  $5$  до  $14^\circ$ ) средний сдвиг  $\Delta\text{Аз}=86,5:8=10,8^\circ$ . Тогда возраст Памятника равен  $10,8:1,44=7500$  лет. Для 13 лунных камней имеем:  $144:13=11,08:1,44=7692$  года. Таким образом, возраст Карахунджа равен 7700 годам  $\pm 500$  лет, т.е. он был в действии в середине VI тысячелетия до н.э.

Два наиболее "молодых" камня №187 (Солнце) и №51 (Луна) имеют отверстия со сдвигом азимутов в  $3,5$  и  $3^\circ$ , т.е. их средний возраст составляет около  $6,5:2=3,25:1,44=(2250\pm 500)$  лет. Это означает, что Обсерватория действовала около 5500 лет.

В Карахундже велись систематические наблюдения и за звездами в моменты их восходов, заходов и кульминаций. Это давало дополнительные возможности для составления точного календаря и определения прецессии земной оси. Нам же это дает возможность новой независимой датировки Обсерватории.

В табл.4 приведены азимуты восходов и заходов 9 ярких звезд на небе Карахунджа 4500, 6000 и 7500 лет тому назад и номера камней с отверстиями, направленными на эти точки в те времена. В таблицу включены 29 камней (включая 8 камней возраста 7500 лет), направленных на соответствующие азимуты с отклонением не более  $\pm 2^\circ$  (т.е. около  $\pm 200$  лет).

В табл.5 приведена другая группа из 11 ярких звезд, которые пересекали местный меридиан в доисторическое время под определенным углом места при кульминации. Мы видим, что наблюдения велись в период от 2000 до 7500 лет тому назад (4 камня для 7500 лет тому назад). Точность направления осей отверстий этих камней в заданные (расчетные) точки по углу места составляет  $\pm 1^\circ$  (что эквивалентно  $\pm 150$  годам).

Табл. 4 и 5 показывают, что возраст Обсерватории превышает 7500 лет и она действовала до примерно 2000 лет тому назад.

| Звезды                        |                       |                         |                        |              |          |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------|----------|
| Названия звезд<br>и созвездий | Доисторический период |                         |                        | Камень номер |          |
|                               | Лет назад             | Аз <sup>о</sup> восхода | Аз <sup>о</sup> захода | Восход       | Заход    |
| Сириус<br>α Большого<br>Пса   | 4500                  | 117,5                   | 242,5                  | 183          | —        |
|                               | 6000                  | 125,2                   | 234,8                  | —            | 108      |
|                               | 7500                  | 135,7                   | 224,3                  | 98, 110      | 162      |
| Капелла<br>α Возничего        | 4500                  | 51,5                    | 308,5                  | —            | 51       |
|                               | 6000                  | 63,2                    | 296,8                  | 161, 187     | —        |
|                               | 7500                  | 73,7                    | 286,3                  | 66, 85       | 71       |
| Ригель<br>β Ориона            | 4500                  | 120,7                   | 239,3                  | —            | —        |
|                               | 6000                  | 132,3                   | 227,7                  | 98           | —        |
|                               | 7500                  | 146,2                   | 213,8                  | 147          | 151      |
| Бетельгейзе<br>α Ориона       | 4500                  | 96,6                    | 263,4                  | 40           | 78       |
|                               | 6000                  | 107,0                   | 253,0                  | —            | 160      |
|                               | 7500                  | 118,4                   | 241,6                  | 183          | —        |
| Денеб<br>α Лебедя             | 4500                  | 39,9                    | 320,1                  | 126          | —        |
|                               | 6000                  | 38,9                    | 321,1                  | 126          | 44, 99   |
|                               | 7500                  | 34,8                    | 325,2                  | —            | 84, 122  |
| Беллатрикс<br>γ Ориона        | 4500                  | 101,1                   | 258,9                  | —            | 55, 160  |
|                               | 6000                  | 112,0                   | 248,0                  | —            | 139      |
|                               | 7500                  | 123,6                   | 236,4                  | 76           | 163      |
| Альнилам<br>ε Ориона          | 4500                  | 109,3                   | 250,7                  | 129          | —        |
|                               | 6000                  | 120,1                   | 239,9                  | —            | —        |
|                               | 7500                  | 132,3                   | 227,7                  | 98, 110      | 177      |
| Альнитак<br>ξ Ориона          | 4500                  | 109,7                   | 250,3                  | —            | —        |
|                               | 6000                  | 120,4                   | 239,6                  | —            | —        |
|                               | 7500                  | 132,6                   | 227,4                  | 98, 110      | 177      |
| Мирзам<br>β Большого<br>Пса   | 4500                  | 124,5                   | 235,5                  | 76           | —        |
|                               | 6000                  | 134,1                   | 225,9                  | 98, 110      | 177      |
|                               | 7500                  | 147,0                   | 213,0                  | 147          | 151, 164 |

Мы рассмотрели **четыре** независимых друг от друга метода датировки Памятника: прохождение звезд через точку зенита (табл.2), сдвиг азимутов восходов и заходов Солнца и Луны (табл.3), азимуты восходов и заходов звезд (табл.4) и углы места звезд при их кульминациях (табл.5). Интересно, что все 4 метода датировки дают **одинаковый результат: Карахунджская обсерватория была построена и действовала (с точностью около ±300лет) более 7500 лет тому назад, т.е. от середины VI тысячелетия до н.э. до, возможно, 301 года н.э.,** когда христианство было принято в Армении как государственная религия.

| Звезды                        |                       |             |                 |                         |                 |
|-------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Названия звезд<br>и созвездий | Доисторический период |             |                 |                         | Камень<br>номер |
|                               | Лет назад             | Кульминация | Аз <sup>o</sup> | Угол места <sup>o</sup> |                 |
| Арктур, α Вол.                | 7500                  | Нижняя      | 0               | 8,6                     | 128             |
| Ригель, β Ори                 | 7500                  | Верхняя     | 180             | 10,6                    | 60              |
| Алиот, ε Б.Мед                | 7500                  | Нижняя      | 0               | 18,2                    | 109             |
| Дубхе, α Б.Мед.               | 7500                  | Нижняя      | 0               | 5,6                     | 152             |
| Алькаид, η Б.Мед.             | 2000                  | Нижняя      | 0               | 9,6                     | 128             |
| Альнилам, ε Ори               | 7000                  | Верхняя     | 180             | -22                     | 53              |
| Альнитак, ξ Ори               | 7000                  |             |                 |                         |                 |
| Сириус, α Б. Пса              | 6500                  |             |                 |                         |                 |
| Мирзам, β Б.Пса               | 5000                  |             |                 |                         |                 |
| Процион, α М.Пса              | 6000                  | Верхняя     | 180             | -50                     | 62              |
| Бетельгейзе, α Ори            | 3500                  |             |                 |                         |                 |

В течение весьма длительного периода действия, более 5500 лет, возводились, реконструировались, отлаживались и использовались все новые каменные астрономические инструменты.

Камни имели свой "срок службы", т.к. за тысячелетия положение звезд существенно менялось и они выходили из поля зрения отверстий. Поэтому можно предположить, что еще раньше стояли другие камни и возраст Карахунджа, возможно, доходит до 15000 лет.

Напомним, что 7000 лет тому назад еще не существовало цивилизаций ни в Месопотамии (Шумера, Вавилон, Ассирия), ни в Египте, Индии, Китае, ни где-либо еще на Земле. Считается, что первые цивилизации стали появляться после 4000 года до н.э.

Одним из свидетельств того, что памятник был и учебным центром (университетом) являются стоящие рядом камни №160 и 161 высотой в 1,9 и 1 м, т.е. для учителя и ученика. Отверстия обеих камней направлены примерно на вершину одного из окрестных холмов (скорее всего там стоял камень, надо поискать).

Здесь учили методам ведения наблюдений (в т.ч. с трубками), определения погрешности, фиксации результатов измерений, их обработке и др. Это означает также, что учили и основам метрологии. Кстати, большинство размеров памятника кратно 50 см. По-видимому, это была мера длины – армунк (локоть). Такая обширная обсерватория, конечно, нуждалась в подготовке кадров, хотя круг привлекаемых лиц был, по-видимому, ограничен (от отца к сыну). Обучали также письму, математике\* и астрономии. Наличие такой раз-

\* Кстати, слово "мат-э-мат-ика" по-армянски означает "палец за пальцем идет", т.е. "счет". В древней Армении использовались десятичное счисление и ноль (зеро), что означало: "Это дает начало, не материальное" (глубокая философия!).

витой обсерватории говорит не только о существовании в то время письменности, цифр, точных наук и философии, но и о существовании стабильной государственности и порядка в течение тысячелетий.

А теперь о названии памятника. Мы считаем, что он назывался **Карахундж** или **Карениш**. Это название сохранилось в названии находящихся недалеко трех сел Карахундж (см. выше). "Кар" по-армянски означает "камень", "хундж" – звучание, эхо, голос. То есть Карахундж – это "Звучащие, отзывающиеся, говорящие камни". Действительно, этим камням есть что рассказать нам и сегодня.

Возникает интересная аналогия со Стоунхенджем. Ведь "стоун" – это тоже "камень", а что такое "хендж" – не известно, такого слова нет в английском языке.\* Значит, это те же "Говорящие камни" – название, прошедшее через всю Европу и тысячелетия! Но, может быть, это совпадение случайное? Нет, так как таких совпадений очень много.

В Ирландии похожий монумент, датируемый примерно 2500г. до н.э., называется Нью-Грендж, т.е. тот же "хендж" (хундж). Имеется много "хенджей" в Европе.

На северо-западе Шотландии, на одном из Внешних Гебридских островов находится известный каменный памятник, похожий на наш (но меньший по размерам), который называется Калениш. "Кал-Кар" это тот же "камень", а "ниш" по-армянски "знак". То есть Калениш – это "**Каменный знак**". Остров называется Луис, а "луйс" по-армянски это "свет". Главная аллея Калениша направлена на точку, где 3800 лет назад восходила Капелла (15), а расположенный рядом полуостров называется Гарис, а Арис (или Хой) по-армянски это Овен.

На севере Франции, в Бретани, находится обширный каменный памятник, датируемый около 2000 г. до н.э., который вместе с расположенным рядом городом называется Карнак. Это слово по-бретонски писалось и читалось как Карних или Карниш (т.е. "Каменный знак").

Европейские ученые пишут, что все эти памятники – не их культура (в те времена такого уровня там не было), а привнесенная извне культура, но кем – неизвестно (15). Много "хенджей" находится на западном побережье Ирландии, Шотландии, Англии и Франции. То есть люди, пришедшие сюда с высокой культурой и знаниями, прибывали и морским путем (16).

В Египте, в Карнаке, находится храм Амона-Ра (Солнца), который также называется Карениш и т.д. Примеров таких совпадений и аналогий очень много.

Имеется ряд важных фактов, говорящих о том, что каменные памятники (обсерватории) строились на **характерных широтах**. Так, Стоунхендж стоит на широте (51°), где четыре точки восходов и заходов Солнца и Луны в их

---

\* Я не согласен с теми, кто пытается трактовать "хендж" (henge) как "ханг" ("hang" – висеть). Эти камни не висят никак, а стоят, причем основательно, на тысячелетия.

крайних положениях образуют **прямоугольник** <sup>(15)</sup>. Кроме того, высота (угол места) Солнца в Стоунхендже в полдень равноденствий равна широте места Карахунджа:  $90^{\circ} - 51^{\circ} = 39^{\circ}$  (с ошибкой в полградуса). Чтобы построить Стоунхендж, люди тащили гигантские камни весом около 50 т с огромных расстояний (30-380 км <sup>(15)</sup>). Почему? Наверно, чтобы построить обсерваторию именно на широте  $51^{\circ}$ . Имеются и другие аналогии: например, под Стоунхенджем и рядом с Карахунджем протекают подземные реки; вырыты глубокие колодцы (30 м) у Стоунхенджа и у армянского храма VII века Звартноц, который, по-видимому, ранее был еще одним Карахунджем.

Калениш расположен на "северном полярном круге" для Луны <sup>(15)</sup>.

Внутри Великой пирамиды в Египте (2450 г до н.э.) имеется наклонная шахта, направленная от погребальной камеры царя на пояс **Ориона** (на яркую звезду Альнилам, при ее кульминации в то время), а шахта от камеры царицы направлена на самую яркую звезду **Сириус**. Широта пирамиды такова ( $30^{\circ}$ ), что наклон последней шахты к горизонту равен  $39,5^{\circ}$  <sup>(24)</sup>. А ведь указанный угол **совпадает с широтой Карахунджа** ( $39,57^{\circ}$ ), и с высокой точностью! А Орион у армян назывался созвездием **Гайка**, которое всегда сопровождается Сириусом –  $\alpha$  Большого Пса – "любимого существа" Гайка (см. выше).

Интересно также, что Стоунхендж и Великая пирамида расположены по широте почти на **одинаковом расстоянии** в  $\pm 10^{\circ}$  от Карахунджа, а в  $\pm 16^{\circ}$  стоят Калениш и древнейшая Асуанская обсерватория в Египте.

Главная ось Карнака во Франции направлена на Северный магнитный полюс (отклонена от меридиана на  $4^{\circ}$ ).

Эти и другие факты, а также умение определять широту места (см. выше) на различных широтах говорят о том, что существовал, вероятно, **единый мозговой центр** создания "хендж"-ей и "ниш"-ей и эти люди знали, что **Земля шарообразна**. Знали не только теоретически, но и по результатам реальных исследований. Анания Ширакаци пишет, что языческие философы утверждали, что Земля шарообразна и люди живут на всех сторонах <sup>(22)</sup>. Интересной иллюстрацией к этим утверждениям является один из древних наскальных рисунков (IV тыс. до н.э.) в горах Армении, у озера Севан (рис.6) <sup>(25)</sup>.

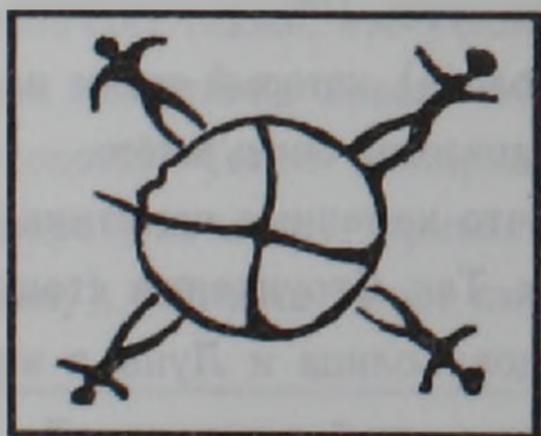


Рис.6.

Получает новую окраску и известная загадка с древними географическими картами: имеется ряд средневековых карт, изготовленных по более древним источникам, на которых с большой точностью (недоступной для средневековья) показаны различные регионы Земли, в том числе еще не открытые в средние века. В частности, показана Антарктида (за 300 лет до ее открытия), причем без ледового покрыв-

тия, что имело место лишь более 6000 лет тому назад! Эта карта совпадает с картой материка, скрытого сейчас под ледяным покровом толщиной более 1500 м, полученной лишь в XX веке методами современной сейсмографии международными научными экспедициями. Вывод один: на Земле существовала неизвестная пока высокоразвитая цивилизация, еще в доисторические времена (с 15000 до 4000 лет тому назад) исследовавшая фактически всю планету и передавшая свои знания другим народам (26). Не Армения ли была это?

Антропологические, археологические и другие данные говорят о том, что Арменоидная (европеоидная) раса зародилась на Армянском нагорье и вокруг горы Арарат, а затем распространилась по территории Месопотамии, Кавказа и всей Малой Азии, где представляла единственное население в позднюю каменную эпоху. Армянская нация, как и употребляемые ныне армянские имена и фамилии сформировались более 9000 лет назад, в неолитическое время (27).

История древней Армении<sup>1</sup> сильно искажена. Ее фактически нет и придется создавать заново. За последние двадцать лет после раскопок хеттской столицы на берегу реки Гетик (по-армянски "речка") в Анатолии, прочтения обширной библиотеки глиняных табличек и установления факта принадлежности хеттского языка к индоевропейским языкам наметились определенные сдвиги. Так, немецкий историк М.Римшнейдер пишет, что греки переняли свою культуру от урартцев, киликийцев, хеттов и финикийцев, пишет, что Урарту — это страна Арарат (28), но не пишет, что это были армянские страны с населением, говорящим на диалектах армянского языка, которых более пятидесяти.<sup>2</sup> Известно, что древние киликийцы и финикийцы были отличными мореплавателями (26), а армянское слово "нав" (корабль) перешло в индоевропейские языки (например, англ. navy, navigation и др.).

С IV-III тысячелетия до н.э. началась частичная миграция армян на восток, север, юг и запад. Они несли в другие страны культ Солнца, мифологию, накопленные тысячелетиями знания,<sup>3</sup> индоевропейскую культуру и язык. Эта мысль не нова.

Известные немецкие археологи Маундер и Сварц, известный английский астроном и историк Олкотт еще в начале века писали, что первые люди, разделившие небо на созвездия и поименовавшие их, жили не в Египте, не в Вавилоне, а в исторической Армении, и процесс этот завершился к началу III тысячелетия до н.э. (29,30). Маундер пишет также: "Египтяне, на древних памятниках которых были найдены двенадцать знаков зодиака, признавали,

\* Ар · мен · йя (н) — означает по-армянски "Страна людей Солнца" ("мен" сохранилось до сих пор в английском).

\*\* Так же, как хайасы, хурриты, моски, митанийцы, возможно, и древние шумеры и другие народы с этими выдуманными названиями.

\*\*\* Знания не только по астрономии, математике и письму, но и по обработке металлов, строительству (в том числе колесо), животноводству (в том числе лошадь), сельскому хозяйству и др.

что они почерпнули свои сведения о звездах от халдеев,\* и они, в свою очередь, были учителями греков во времена Фалеса и Пифагора" (30). Знаки зодиака – это древнейшие армянские иероглифы, сохранившиеся в Мецаморе (31), в наскальных рисунках (25) и на страницах рукописей Матенадарана.

Московские ученые Гамкрелидзе и Иванов установили (32), что колыбелью индоевропейского языка и индоевропейцев была историческая Армения. Известный французский астроном Фломарион (33,34), англичанин Берри (35) и другие отмечали высокий уровень астрономических знаний в древности на Армянском нагорье. Американский ученый, известный исследователь Стоунхенджа и Калениша, Хоукинс (15) еще 30 лет тому назад писал академику В.А.Амбарцумяну, что Стоунхендж не единичен и следует ожидать наличие такой астрономической культуры в Армении (3).

Настоящая статья является также подтверждением приведенных выше высказываний, особенно если учесть, что в Армении сохранился и ряд других древних каменных обсерваторий: в Мецаморе, Мартуни, Варденисе, Гегамских горах, Арцахе и др.

Основные выводы, сделанные нами, основаны на фактах (результатах измерений и расчетов). Тем не менее, это первые, предварительные результаты и они нуждаются, конечно, в дополнительных подтверждениях. Это будет означать, что Карахундж (Карениш) в Армении – наиболее древняя обсерватория на Земле.

#### Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Պ. Մ. ՀԵՐՈՒՆԻ

#### Նախապատմական քարե աստղադիտարան՝ Քարահունջ – Քարենիշը

*Միսիան քաղաքից 3 կմ հեռավորությամբ գտնվում է մի նախապատմական հուշարձան, որը բաղկացած է կանգնած մեծ քարերից: Նրանցից շատերն ունեն անցքեր իրենց վերին եզրի մոտ:*

*Մեր հետազոտությունները 1994-1998թթ. ընթացքում ցույց տվեցին, որ հուշարձանն եղել է հայերի գլխավոր ԱՐ Աստծո տաճար (գրի և գիտության Տիր Աստծո հովանավորության տակ), հզոր աստղադիտարան և համալսարան: Չորս գիտարչավների ընթացքում մենք չափազրել և համարակալել ենք 222 քար (որոնցից 84-ը ունեն անցքեր), որոնք 7 հեկտար տարածքի վրա կազմում են կենտրոնական շրջանը (45մx36մ), ինչպես նաև հյուսիսային (136մ) և հարավային (115մ) թևերը: Կատարվել են հուշարձանի տեղագրական գծահանում, տեղի լայնության, երկարության և մագնիսական շեղման ճշգրիտ չափումներ, անցքերի ուղղությունների ազիմուտների և տեղի անկյունների չափումներ, համապատասխան հաշվարկներ և անցքերի միջով բազմաթիվ դիտումներ Արեգակի, Լուսնի և աստղերի ծագման, մայրամուտի և գագաթնակետի պահերին՝ գիշերահավասարի և արևադարձի օրերին և այլն: Բոլոր նշված դիտումները լուսանկարվել և տեսագրվել են: Առանձին քարեր և քարերի խմբեր իրենցից ներկայացնում են աստղագի-*

\* Некоторые авторы путают халдеев с вавилонянами. На самом деле халдеями называли урартцев (гл.бог Халд, по-армянски: "стремящийся к Солнцу", "Солнцеподобный"), т.е. жителей страны Арарат (27), которые позже завоевали Вавилон и создали "Ново-Вавилонское" (Халдейское) царство.

տական գործիքներ: Օգտագործելով դրանք, հաջողվել է թվագրել հուշարձանը չորս իրարից անկախ եղանակով: Ելնելով Երկրի առանցքի պրեցեսիայի և էկլիպտիկայի թեքվածության փոփոխման օրենքներից ցույց է տրվել, որ հուշարձանը կառուցվել է ավելի քան 7500 տարի առաջ (մ.թ.ա VI հազարամյակում), այսինքն մոտ 3500 տարի առաջ. քան հայտնի Ստոունհենջը Անգլիայում, և գործել է մոտ 5500 տարի: Սա նշանակում է, որ հայերը դեռ այդ ժամանակ (երբ դեռ չկային Բաբելոնի, Ասորեստանի, Շումերի, Եգիպտոսի և ոչ էլ որևէ այլ քաղաքակրթություններ) ունեին գիր, մաթեմատիկա, աստղագիտություն, օրացույց, փիլիսոփայություն և կայուն պետականություն: Կուտակված գիտելիքները հայերը տարածել են շատ երկրներում:

Մենք համոզված ենք, որ հուշարձանը կոչվել է (և պետք է կոչվի այժմ) Քարահունջ («խոսող քարեր») կամ Քարենիչ, քանի որ այդ անունը պահպանվել է մոտակա երկու գյուղերի անվանումներում և համահունչ է Անգլիայում, Ֆրանսիայում, Շոտլանդիայում, Եգիպտոսում և այլ վայրերում ավելի ուշ կառուցված նման քարե հուշարձանների անվանումներին:

Բերված են տվյալներ, վկայող այն մասին, որ հնագույն աստղադիտարաններից շատերը կառուցվել են, ըստ երևույթին, համաձայն մեկ մտավոր կենտրոնի ծրագրի, որի գիտնականներին հայտնի էր, որ երկիրը գնդաձև է:

Բերված են գերմանական, անգլիական, ֆրանսիական, ամերիկյան և ռուսական անվանի գիտնականների կարծիքներն այն մասին, որ աստղագիտությունը հնում եղել է առավել զարգացած պատմական Հայաստանի տարածքում և հենց այստեղ է եղել հնդեվրոպական լեզվի և հնդեվրոպացիների օրրանը:

## ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՈՒՆ

- <sup>1</sup> С.Д.Лисициан, Мегалитическое городище в Сисиане (Зангезур). Труды АН СССР. вып. XIV, с.709-712, М.-Л., 1938. <sup>2</sup> К.Х.Кушнарера, Древнейшие памятники Двина, с.481, Ереван, 1977. <sup>3</sup> Հ.Ս.Խնկիկյան, Հայաստանի բնություն, N4, 1984. <sup>4</sup> Հ.Ս.Խնկիկյան, Հնագույն աստղադիտարան, Մասիս, Հոս-Անջելես, 28 մայիսի 1994. <sup>5</sup> Э.С.Парсамян, О возможном астрономическом назначении мегалитических колец Ангелакота, Сообщ.Бюрак.обс., т.51, с.101, 1985. <sup>6</sup> Э.С.Парсамян, Археoaстрономия в Армении, Сб. "Историко-астрономические исследования", с.137-146, М., 1988. <sup>7</sup> Մ.Ս.Հաւրաթյան, Պատմա-հնագիտական հետազոտություններ, Երևան, էջ 166-208, 1985. <sup>8</sup> П.М.Геруни, Карахундж – чудо армянской истории, газета "Республика Армения", 20 июня 1996. <sup>9</sup> Պ.Ս.Հերունի, Սյունիք, 13 հուլիսի 1996. <sup>10</sup> Պ.Ս.Հերունի, Միսիանի Քարահունջը հնագույն աստղադիտարանն է. Գարուն, N5, էջ87-93, 1998. <sup>11</sup> П.М.Геруни, Карахундж или Карениш – древнейшая обсерватория в Армении. Труды IV Съезда Астрономического Общества, с.350-362, М., 1998. <sup>12</sup> R.Sungeorgi, Esista in Armenia un'altra Stonehenge, Sienza & Vita, 17, 1995. <sup>13</sup> R.Sungeorgi, Un mistero came Stonehenge, Terre di Mezzo, 12, p.21, 1995. <sup>14</sup> Р.М.Геруни, Carahunge in Armenia – The First Prehistoric Observatory, Scientific American, in print. <sup>15</sup> Дж.С.Хоукинс, Дж.Б.Уайт. Разгадка тайны Стоунхенджа, М., 1984. <sup>16</sup> A.Burl, The Stone Circles of the British Isles. London, 1989. <sup>17</sup> Հ.Ս.Քաղալյան, Օրացույցի պատմությունը, Երևան, 1970. <sup>18</sup> Рукопись Матенадарана №8120, 1648. См. также: Б.Е.Туманян, Из истории армянской астрономии, с.240, Ереван, 1985. <sup>19</sup> Справочное руководство по небесной механике и астродинамика, под ред. Г.Н.Дубошина, М., 1976. <sup>20</sup> Астрономический ежегодник на 1998 год, С.-Петербург, 1997. <sup>21</sup> Мовсес Хоренаци, История Армении, Ереван, 1990. <sup>22</sup> Անանիա

Երրակացի. Մշտննադիտութիւն, Երևան, 1979. <sup>23</sup> N.Lokyer, F.C.Petrose, Proc.Roy.Soc., 69, 137, London, 1901. <sup>24</sup> P.Бьювэл, Э Джилберт, Секреты пирамид, М., 1998. <sup>25</sup> Б.Е.Туманян, С.Б.Петросян, Наскальные астрономические рисунки, Ученые записки ЕГУ, т.1, Ереван, 1970. <sup>26</sup> Г.Хэнкок, Следы Богов (В поисках истоков древних цивилизаций), М., 1997. <sup>27</sup> Н.Р.Кочар, Антропология армян, Ереван, 1989. <sup>28</sup> М.Римшнейдер, От Олимпа до Ниневии во времена Гомера, М., 1977. <sup>29</sup> E.Maunder, Astronomy without Telescopes, London, 1906. <sup>30</sup> В.Олкотт, Легенды звездного мира, С.-Петербург, 1911. <sup>31</sup> Ս.Մ.Այվազյան, Հնագույն Հայաստանի մշակութային ցիվիլիզացիոնից, Երևան, 1986. <sup>32</sup> Т.В.Гамкрелидзе, В.В.Иванов, Индоевропейский язык и индоевропейцы, т.1, II, Тбилиси, 1984; См. также: "В мире науки", №5, с.66-73, М., 1990 (перевод из Scientific American, №3, 1990). <sup>33</sup> К.Фломарион, Живописная астрономия, С.-Петербург, 1897. <sup>34</sup> К.Фломарион, Популярная астрономия, С.-Петербург, 1913. <sup>35</sup> А.Берри, Краткая история астрономии, М.-Л., 1946.

© Материал настоящей статьи является интеллектуальной собственностью ее автора,  
Herouni @sci.am

УДК 621.317

Г. А. Кардашян

**Определение магнитной проницаемости ферромагнетиков**

(Представлено академиком НАН Армении А. А. Терзяном 28/1 1998)

Заменяв динамический цикл гистерезиса эллипсом, имеющим ту же площадь, В. К. Аркадьев ввел понятие упругой и вязкой проницаемости, согласно которому для параметрического уравнения эллипса  $H$  и  $B$  должны быть синусоидальными функциями времени (1-3).

При этом упругая проницаемость определяется как

$$\mu_1 = \frac{B_{m1}}{H_m} = \frac{B_m \cos \delta}{H_m}, \quad (1)$$

а вязкая

$$\mu_2 = \frac{B_{m2}}{H_m} = \frac{B_m \sin \delta}{H_m}, \quad (2)$$

где  $B_{m1}, B_{m2}$  – составляющие  $B_m$ , а  $\delta$  – угол потерь, при этом амплитудная или полная проницаемость определяется как

$$\mu = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2} = B_m / H_m. \quad (3)$$

Непосредственного определения указанной амплитудной проницаемости можно добиться не только при замене динамической петли гистерезиса, но и при реальном перемагничивании ферромагнетика. Ниже излагается методика и техника решения этой задачи. Для получения заданного режима перемагничивания (4,5) из задающего генератора на вход формирующего устройства подается напряжение (рис.1,а, кривая 1)

$$u = U_m \sin \omega t. \quad (4)$$

где  $\omega$  – угловая частота.

На выходе формирователя (4,5) образуется намагничивающее напряжение, описываемое (рис.1,а, кривая 2)

$$u_H = U_{1m} \sin \omega t + U_{3m} \sin 3\omega t + U_{5m} \sin 5\omega t + \dots \quad (5)$$

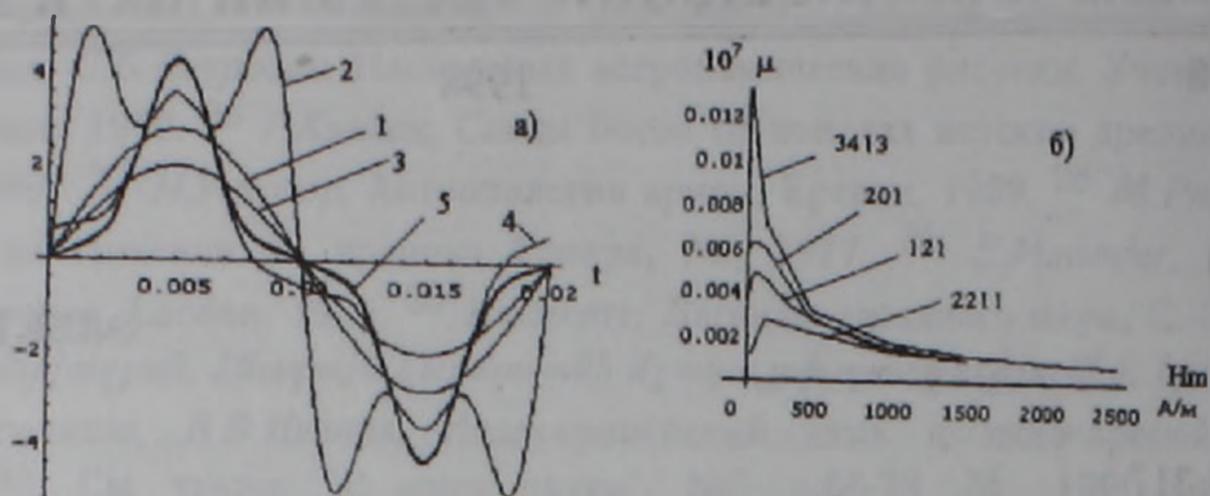


Рис.1 а – сформировавшиеся сигналы прибора;  
б – экспериментальные результаты некоторых ферромагнетиков.

Благодаря введенной отрицательной обратной связи (4,5) в испытуемом ферромагнитном материале формируется магнитный поток, имеющий синусоидальную форму кривой, а индукция в образце изменится по заданному закону (рис.1,а, кривая 3)

$$B(t) = B_m \sin \omega t. \quad (6)$$

При этом из-за нелинейности магнитных свойств ферромагнитных материалов напряженность магнитного поля, пропорциональная напряженности на выходе своего первичного преобразователя, описывается (рис.1,а, кривая 4)

$$H(t) = H_{1m} \sin(\omega t + \psi_{H1}) + H_{3m} \sin(3\omega t + \psi_{H3}) + H_{5m} \sin(5\omega t + \psi_{H5}) + \dots \quad (7)$$

Выражения (4)-(7) подтверждаются сравнением с соответствующими осциллограммами, снятыми устройством, описанным в (4), и графиками, построенными по указанным выражениям с помощью ЭВМ.

Для определения амплитуды магнитной проницаемости необходимо иметь отношение амплитудного значения магнитной индукции  $B_m$  к амплитудному значению напряженности магнитного поля  $H_m$ . Для однозначности магнитной проницаемости при определенном значении  $B_m$  необходимо иметь соответствующее значение  $H_m$ . Поэтому перед измерением необходимо кривую  $H(t)$  представить в соответствии с основной кривой намагничивания, т.е. так, чтобы  $B(H)$  соответствовал безгистерезисному состоянию материала. С этой целью  $H(t)$  представляется

$$H(t) = H_{1m} \sin \omega t - H_{3m} \sin 3\omega t + H_{5m} \sin 5\omega t - \dots \quad (8)$$

Эта напряженность магнитного поля состоит только из нечетных гармоник, без начальных фаз и постоянных составляющих (рис.1,а, кривая 5). При этом  $H_m$  и  $B_m$  одновременно достигают своих максимальных значений, и при осуществлении математической операции деления в любом состоянии перемагничивания получается изменение амплитудной магнитной проницаемости испытуемого феррообразца.

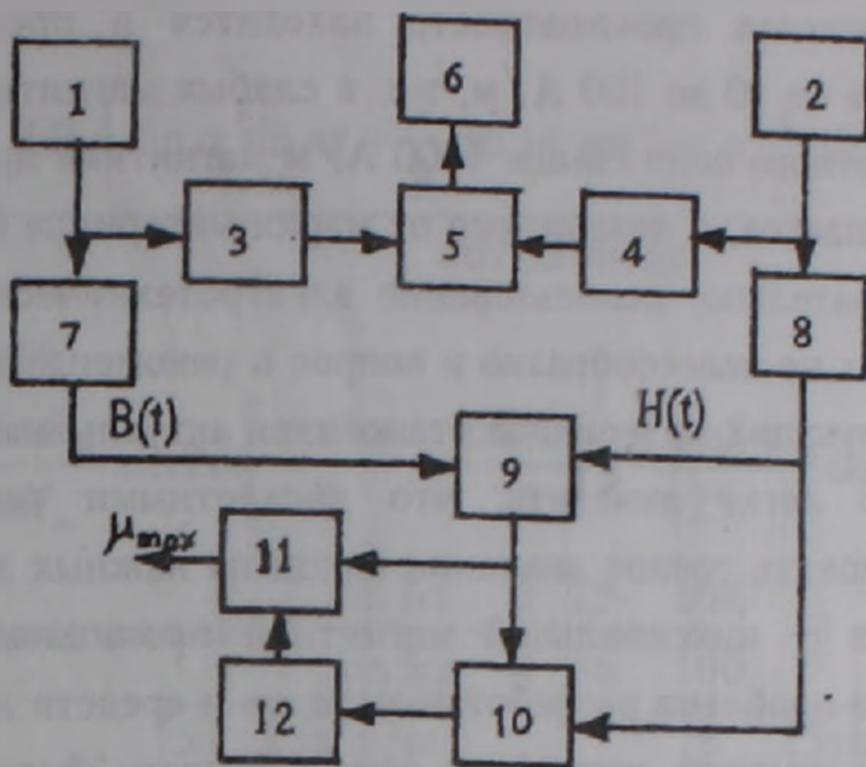


Рис.2. Блок-схема устройства для определения магнитной проницаемости ферромагнетиков.

В разработанной системе, блок-схема которой показана на рис.2, измерение осуществляется на базе интегральной микросхемы (ИМС) типа К525ПС2 или К525ПС3, предназначенной для аналоговой обработки и преобразования сигналов. На первый вход ИМС 5 подается напряжение, пропорциональное  $B(t)$ , по (6) проходящее через усилитель и учитывающее размеры испытуемого материала и пикового детектора 3, на выходе которого образуется постоянное напряжение  $U_B = A_1 B_m$ . На другой вход делителя 5 подается напряжение, пропорциональное  $H(t)$  по (8), через другой пиковый детектор 4, на выходе которого образуется постоянное напряжение  $U_H = A_2 H_m$ . На выходе ИМС получается напряжение, пропорциональное амплитудному значению магнитной проницаемости ферромагнитного материала и легко преобразуемое на прямой отсчет измеряемой величины

$$\mu = \frac{10 A_1 B_m}{A_2 H_m}. \quad (9)$$

С помощью этой разработки проводились многократные измерения на ряде эталонных образцов из электротехнических сталей (марки 3413, 2011, 1213 и 2211) по  $B_m$  и  $H_m$ . На макете описанной системы проведено также измерение амплитудных значений магнитной проницаемости указанных образцов и осуществлена простая операция деления  $B_m / H_m$ . В обоих случаях получены одни и те же значения магнитной проницаемости.

Результаты экспериментальных исследований магнитной проницаемости для различных образцов, построенные с помощью ЭВМ, представлены на рис.1,б.

Из полученных результатов следует, что почти для всех марок сталей максимальная магнитная проницаемость находится в пределах напряженности магнитного поля от 10 до 100 А/м, т.е. в слабых магнитных полях. При напряженности магнитного поля свыше 1000 А/м магнитная проницаемость материала резко уменьшается, и независимо от марки материала они будут близки друг к другу. Следовательно, использование электротехнических сталей в сильных магнитных полях не целесообразно и вопрос о рекомендации выбора режима работы соответствующих материалов становится актуальным.

На рис.1,б легко заметить, что дискретными величинами измерений возможно установить точное значение одной из важных характеристик магнитных материалов – максимальной магнитной проницаемости. Следовательно, также актуальна проблема разработки методов и средств для непосредственного измерения максимальной магнитной проницаемости ферромагнитных материалов.

Известно, что максимальная магнитная проницаемость как частный случай нормальной проницаемости определяется

$$\mu_{\max} = \frac{B_{\mu_{\max}}}{\mu_0 H_{\mu_{\max}}} = \operatorname{tg} \alpha_{\max}, \quad (10)$$

т.е. наклон касательной, проведенной из начала  $B(H)$  координат к точке верхнего перегиба кривой, соответствует максимальной проницаемости.

Для определения максимальной магнитной проницаемости  $\mu_{\max}$  необходимо установить значение  $H_{\mu_{\max}}$ . Это можно осуществить, дифференцируя временную зависимость магнитной проницаемости по напряженности магнитного поля с приравниванием к нулю  $d\mu / dH = 0$ .

С целью упрощения анализа рассмотрим случай, когда обеспечивается синусоидальная форма кривой напряженности магнитного поля.

$$H(t) = H_m \sin \omega t. \quad (11)$$

При этом магнитную индукцию можно представить в виде

$$B(t) = \frac{4B_m}{\pi\alpha} \times \left[ \sin \alpha \sin(\omega t + \psi_{B1}) + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \sin(3\omega t + \psi_{B3}) + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \sin(5\omega t + \psi_{B5}) + \dots \right] \quad (12)$$

Из условия

$$d \left[ \frac{\frac{4B_m}{\pi\alpha} \left[ \sin \alpha \sin(\omega t + \psi_1) + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \sin(3\omega t + \psi_3) + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \sin(5\omega t + \psi_5) \right]}{H_m \sin \omega t} \right] = 0 \quad (13)$$

и учитывая, что  $\sin 3\omega t = \sin \omega t (1 + 2 \cos 4\omega t)$  и

$$\sin 5\omega t = \sin \omega t (1 + 2 \cos 2\omega t + 2 \cos 4\omega t), \text{ для } \psi_k = 0,$$

получаем

$$\mu(t) = \frac{B(t)}{H(t)} = \frac{4B_m \left[ \sin \alpha \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \sin 5\omega t \right]}{\pi H_m \alpha \sin \omega t}, \quad (14)$$

производное которого

$$\mu'(t) = \frac{-16\omega B_m}{\alpha \pi H_m} \sin 2\alpha \left[ \frac{\sin 3\alpha}{9} + \frac{\sin 5\alpha}{25} + \frac{2 \sin 5\alpha}{25} 2 \cos 2\omega t \right] = 0. \quad (15)$$

Анализ приводит к соотношению  $\frac{\sin 3\alpha}{\sin 5\alpha} < \frac{3}{4} \cdot \frac{25}{36} = \frac{108}{100}$

$$\text{и далее } H_m \sin \omega t = \pm H_m \sqrt{\frac{5}{8} + \frac{25 \sin 3\alpha}{72 \sin 5\alpha}}, \quad \sin \omega t = \sqrt{\frac{5}{8} + \frac{25 \sin 3\alpha}{72 \sin 5\alpha}}$$

Подбором значения  $\alpha$  на ЭВМ установлено, что  $\alpha$  должен быть меньше  $22^\circ$ .

Количественный анализ показывает, что  $\mu_{\max}$  достигается в интервале напряженности магнитного поля, близкой к значению коэрцитивной силы. Аналогичный результат получается из анализа математической модели (6).

В практике максимальная магнитная проницаемость определяется не по петле гистерезиса (где слагаемые сумм  $H(t)$  от отдельных гармоник содержат начальные фазы  $\psi_k$ ), а по основной кривой намагничивания.

Из таблицы видно, что  $\mu_{\max}$  для различных магнитомягких материалов находится в пределах от 0,8 до 100 А/м, в частности для электротехнических сталей – (10 ... 65) А/м.

#### Некоторые характеристики промышленных магнитомягких материалов

| Название материала                          | Характеристика |             |                              |
|---|----------------|-------------|------------------------------|
|   | $\mu_{\max}$   | $H_c$ , А/м | $B_s$ в поле $H_s$           |
| Технически чистое железо                    | 3500-4500      | 40-100      | 2,18 Тл, $H_s = 50000$ А/м   |
| Электротехническая сталь                    | 3000-8000      | 10-65       | 1,95-2 Тл, $H_s = 30000$ А/м |
| Пермаллон:<br>низконикелевые<br>(40-50% Ni) | 15000-60000    | 5-32        | 1,3-1,6 Тл                   |
|   | 70000-20000    | 0,8-4       | 0,7-0,75 Тл                  |
| высоконикелевые<br>(75% Ni)                 |                |             |                              |

Для реализации определения максимальной магнитной проницаемости магнитных материалов с использованием магнитоизмерительного прибора (4,5) разработано устройство, блок-схема которого дана на рис.2.

К выходам первичных преобразователей магнитной индукции (ППВ) 1 и напряженности магнитного поля (ППН) 2 подключены усилители 7 и 8, выходы которых подключены к входам математического делителя 9, выполненным на базе интегральной микросхемы К525 ПСЗ, выход которого подключен к первому входу дифференцирующего блока 10 и входу ключевой схемы 11, управляющий вход которой подключен к выходу нуль-органа 12, выполненного на базе интегральной микросхемы К521СА2. Второй вход дифференцирующего блока 10 подключен к выходу усилителя 8, а выход – к входу нуль-органа.

Устройство работает следующим образом: из выходов ППВ-1 и ППН-2 напряжения, пропорциональные  $B(t)$  и  $H(t)$ , усиливаются усилителями 7 и 8. Эти усиленные сигналы делятся на математическом делителе 9, на выходе которого получается величина, соответствующая мгновенному значению магнитной проницаемости  $\mu(t)$  за цикл перемагничивания в данном режиме намагниченности испытуемого материала. Этот сигнал дифференцируется по  $H(t)$  в блоке 6 и при  $\frac{d\mu}{dt} = 0$  на выходе нуль-органа 12 появляется напряжение, которое открывает ключ 11, через который проходит сигнал с выхода математического делителя 9, соответствующий максимальному значению магнитной проницаемости испытуемого материала. Измерение амплитудной магнитной проницаемости описано выше.

Государственный инженерный университет Армении

#### Գ. Ա. ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ

##### **Ֆեռոմագնիսական նյութերի մագնիսական թափանցելիության որոշումը**

*Քննարկված է ֆեռոմագնիսական նյութերի մագնիսական թափանցելիության ամպլիտուդային և մաքսիմալ արժեքների չափման տեսական հնարավորությունները: Հիմնավորված է անհրաժեշտ սարքի կառուցվածքային սխեմայի տարրեր օղակներին ներկայացվող պահանջները և նրանցում ձևավորվող ազդանշանները: Ստեղծված սարքը հնարավորություն է տալիս անմիջականորեն չափել ֆեռոմագնիսական նյութերի, ինչպես ամպլիտուդային, այնպես էլ մաքսիմալ մագնիսական թափանցելիությունը: Գնահատված է մագնիսափափուկ նյութերի մագնիսական թափանցելիության մաքսիմալ արժեքների և նրանց համապատասխան մագնիսական դաշտի լարվածության սահմանները:*

#### ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> К.М.Поливанов, Ферромагнетики, М.-Л., Госэнергоиздат, 1957. <sup>2</sup> А.А.Преображенский, Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы, М., Высшая школа, 1972. <sup>3</sup> М.А.Панасенко, Электромагнитные расчеты устройств с нелинейными распределенными параметрами, М., Энергия, 1971. <sup>4</sup> Г.А.Кардашян, Изв.НАН РА и ГИУА.-Ереван, №3, 1997. <sup>5</sup> Г.А.Кардашян, Метрология. Приложение к журналу "Измерительная техника", №11, с.17-21, 1977. <sup>6</sup> Н.А.Золотарев, Электромеханика, №9, с.889-897, 1980.

УДК 551.49

С. М. Казарян, С. С. Казарян

**Расчет линейного ряда скважин в многослойной фильтрующей среде при откачке из нижнего водоносного горизонта**

(Представлено академиком НАН Армении В.С. Саркисяном 24/III 1998)

Рассматриваются аналитические решения задачи определения понижения уровней подземных вод в любых точках многослойных, гидравлически связанных неограниченных пластов в любой момент времени. При этом неустановившаяся фильтрация происходит в линейном ряду скважин, через которые производится постоянная суммарная откачка воды только из нижнего напорного водоносного горизонта (рис.1).

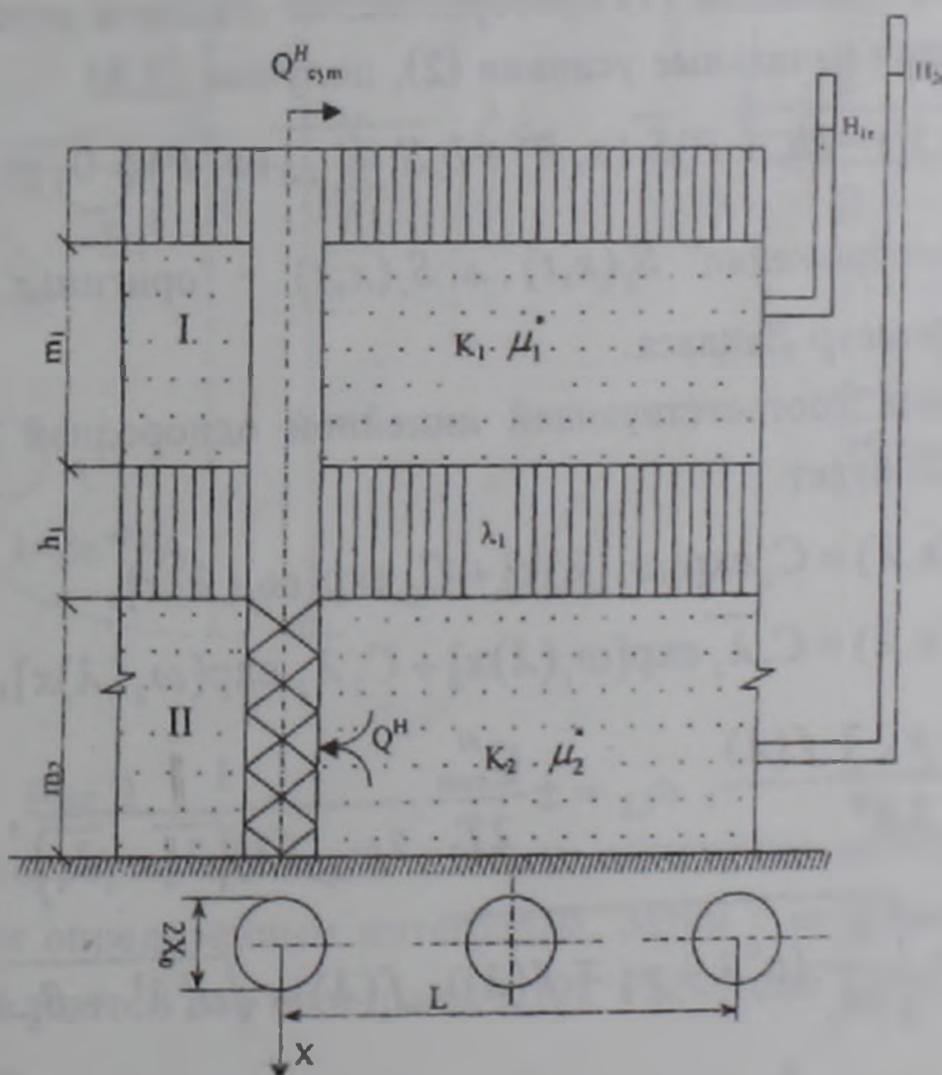


Рис.1.

Процесс фильтрации подземных вод в неограниченной, гидравлически связанной трехслойной среде с учетом перетекания при жестком режиме в

раздельном слое в вышеуказанной постановке задачи описывается следующей системой дифференциальных уравнений (1) и краевыми условиями:

$$a_i \frac{\partial^2 S_i(x,t)}{\partial x^2} - b_i (S_i(x,t) - S_{i+(-1)^{i+1}}(x,t)) = \frac{\partial S_i(x,t)}{\partial t}, \quad (1)$$

$$S_i(x,t) = 0; \quad t = 0; \quad (2)$$

$$S_i(x,t) = 0; \quad t > 0, \quad x \rightarrow \infty; \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_1(x,t)}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial S_2(x,t)}{\partial x} = -\frac{Q_2}{2T_2 L} = \text{const}, \quad t > 0, \quad x_0 \rightarrow 0; \quad (4)$$

где

$$a_i = \frac{(km)_i}{\mu_i^*}; \quad b_i = \frac{\lambda_i}{h_i \mu_i^*}; \quad S_i(x,t) = H_{ei} - H_i(x,t), \quad (i = 1,2). \quad (5)$$

Здесь  $a_i$  – коэффициент пьезопроводимости,  $b_i$  – коэффициент перетекания,  $S_i(x,t)$  – понижение уровня подземных вод,  $(km)_i = T_i$  – водопроницаемость – произведение коэффициента фильтрации и мощности,  $\mu_i^*$  – коэффициент упругой водоотдачи,  $\lambda_i$  – коэффициент фильтрации раздельного слоя,  $h_i$  – мощность того же слоя,  $H_{ei}$  – пьезометрические напоры в естественных условиях,  $H_i(x,t)$  – напор в любой точке в любой момент времени,  $L$  – длина линейного ряда скважин.

Применяя для уравнения (1) преобразование Лапласа относительно переменной  $t$  и учитывая начальные условия (2), получим (2,3)

$$a_i \overline{S_i''}(x, P) - (b_i + P) \overline{S_i}(x, P) + b_i \overline{S_{i+(-1)^{i+1}}}(x, P) = 0, \quad (i = 1,2), \quad (6)$$

где  $\overline{S_i}(x, P)$  – "изображение"  $S_i(x,t)$ , а  $S_i(x,t)$  – "оригинал"  $\overline{S_i}(x, P)$ ,  $P$  – операционный параметр Лапласа.

Общее решение соответствующей линейной однородной системы (6) с учетом условий (3) будет

$$\begin{aligned} \overline{S_1}(x, \lambda) &= C_1 \exp[\omega_1(\lambda)x] + C_2 \exp[\omega_2(\lambda)x], \\ \overline{S_2}(x, \lambda) &= C_1 \overline{\lambda}_1 \exp[\omega_1(\lambda)x] + C_2 \overline{\lambda}_2 \exp[\omega_2(\lambda)x], \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{где } \overline{\lambda}_{1,2} = \frac{a_0 \lambda + \gamma_0^\mp f(\lambda)}{2A^0}, \quad c_{1,2} = \pm \frac{Q_{sum}^H}{2T_2} \frac{1}{\lambda \omega_{1,2}(\lambda) (\overline{\lambda}_2 - \overline{\lambda}_1)},$$

$$\omega_{1,2}(\lambda) = -\sqrt{\frac{b_1}{2a_2} (a_1^0 \lambda + \gamma_0^\mp f(\lambda))}, \quad f(\lambda) = \sqrt{a_0^2 \lambda^2 + \beta_0 \lambda + \gamma_0^2},$$

$$A^0 = \frac{a_2}{a_1}, \quad B^0 = \frac{b_2}{b_1}, \quad \gamma_0^\pm = A^0 \pm B^0, \quad a^0 = A^0 - 1, \quad a_1^0 = A^0 + 1, \quad (8)$$

$$\beta_0 = 2a_0 \gamma_0^-, \quad P = \lambda b_1, \quad \omega_{1,2}^0 = \sqrt{a_1^0 \lambda + \gamma_0^\mp f(\lambda)}.$$

Значения  $C_1$  и  $C_2$  определялись из граничных условий (4).

Подставляя (8) в (7) и переходя от отображающей функции к ее оригиналу, применяя теорему обращения для преобразования Лапласа, получим (2,3)

$$S_i(x,t) = \frac{Q_{sum}^H}{2T_2} \sqrt{\frac{2a_2}{b_1 L^2}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} e^{\lambda t} (\Phi_{11}^H e^{\omega_1 x} + \Phi_{12}^H e^{\omega_2 x}) d\lambda, \quad (9)$$

где 
$$\Phi_{11,2}^H = \mp \frac{A^0}{\lambda f(\lambda) \omega_{1,2}^0}; \quad \Phi_{21,2}^H = \mp \frac{a_0 \lambda + \gamma_0^- \mp f(\lambda)}{2\lambda f(\lambda) \omega_{1,2}^0}. \quad (10)$$

Подынтегральные функции (9) имеют точки разветвления. Поэтому при дополнении контура  $L$  влево полукругом большого радиуса ( $R_{II}$ ) надо обойти все точки разветвления (2,3). Полученные контуры изображены на рис.2,3 соответственно для функции  $\omega_1(\lambda)$  и  $\omega_2(\lambda)$ . Для функции  $\omega_1(\lambda)$  точки  $\lambda_{1,2} = -\Phi \pm i\psi$  являются нулями внутреннего квадратного корня и точками разветвления,  $\lambda_3 = -(1+B^0)$  есть точка разветвления (рис.2). Для функции  $\omega_2(\lambda)$   $\lambda_{1,2}$  и  $\lambda_3 = 0$  являются точками разветвления (рис.3).

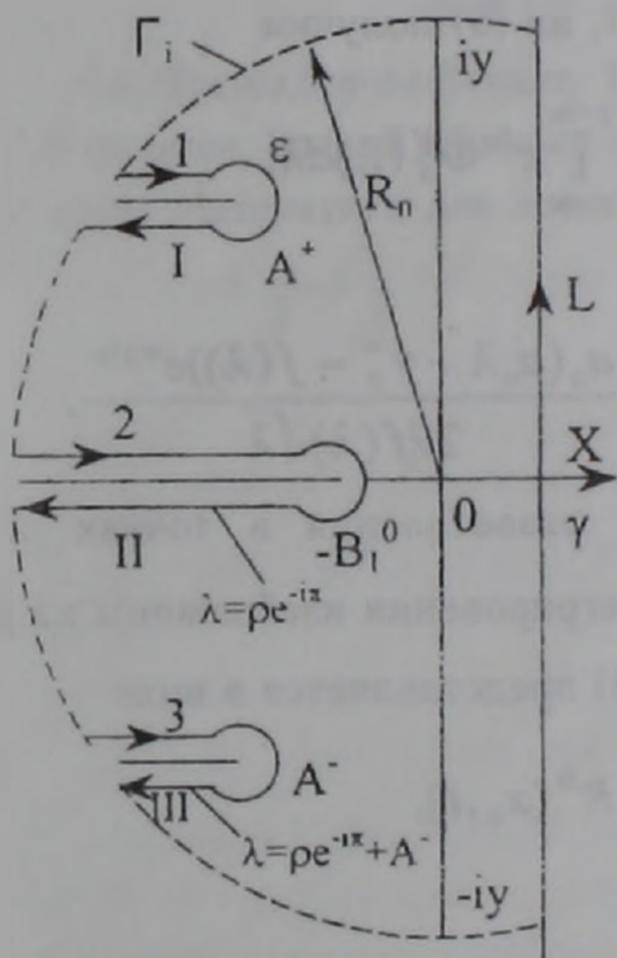


Рис.2.

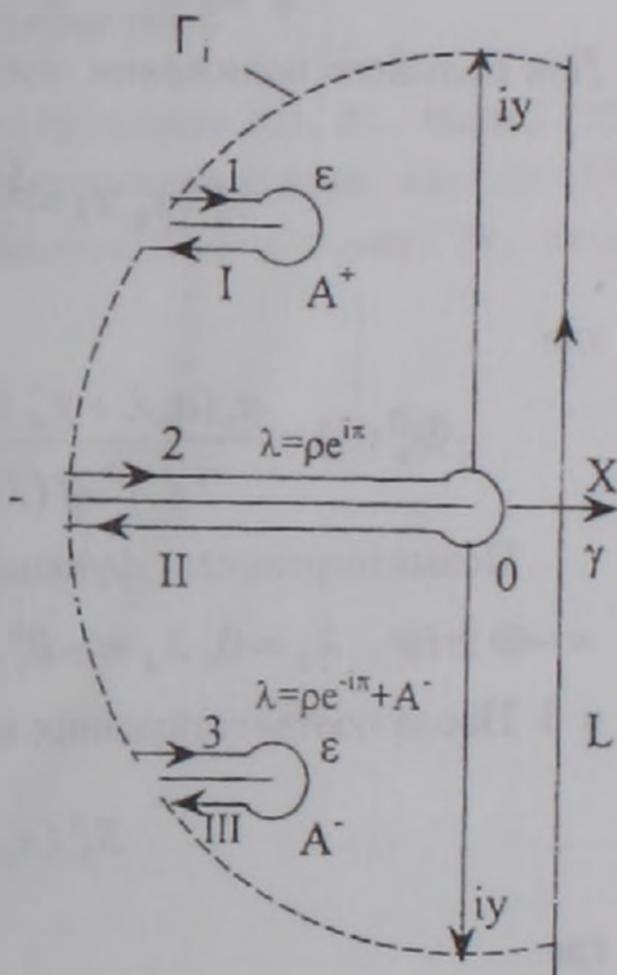


Рис.3.

После некоторых выкладок искомые контурные интегралы приводятся к вещественным определенным интегралам. Затем с использованием теоремы о свертке вычисляются все интегралы в (9). Расчетные формулы при этом получают в виде

$$S_i^H(x,t) = \frac{Q_{sum}^H}{2\pi T_2} M^H [R_{11}^H(x,t) + R_{12}^H(x,t)], \quad (11)$$

где  $M^H = A^0 \sqrt{\frac{a_1}{b_1 L^2}}$ ;

$$R_{11}^H = \int_{B_1^0}^{\infty} \frac{(e^{-\rho\tau} - 1)}{\rho\sqrt{\rho - B_1^0}} \cos\left(\sqrt{A^0} \bar{x} \sqrt{\rho - B_1^0}\right) d\rho;$$

$$R_{12}^H = -\sqrt{A^0} \int_0^{\infty} \frac{(e^{-\rho\tau} - 1)}{\rho\sqrt{\rho\rho_1}} \cos(\bar{x}\sqrt{\rho}) d\rho; \quad \rho_1 = \sqrt{a_0\rho(a_0\rho - 2\gamma_0^-) + \gamma_0^2};$$

$$R_{21}^H = -\frac{1}{2A^0} \int_{B_1^0}^{\infty} \frac{(e^{-\rho\tau} - 1)}{\rho\sqrt{\rho - B_1^0}} (\gamma_0^- - a_0\rho - \rho_1) \cos\left(\sqrt{A^0} \bar{x} \sqrt{\rho - B_1^0}\right) d\rho;$$

$$R_{22}^H = \frac{-\sqrt{A^0}}{2A^0} \int_0^{\infty} \frac{(e^{-\rho\tau} - 1)}{\rho\sqrt{\rho\rho_1}} (\gamma_0^- - a_0\rho + \rho_1) \cos(\bar{x}\sqrt{\rho}) d\rho;$$

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{b_1 x^2}{a_2}}; \quad \tau = b_1 t; \quad B_1^0 = 1 + B^0; \quad \Phi = \frac{\gamma_0^-}{a_0}; \quad \psi = \frac{2\sqrt{A^0 B^0}}{a_0}. \quad (12)$$

Для большого понижения, когда  $x \rightarrow x_0 \rightarrow 0$ , из (9) получим

$$S_2^H(x_0, t) = \frac{Q_{sum}^H}{2T_2} \sqrt{\frac{2a_2}{b_1 L^2}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} e^{\lambda\tau} \Phi_0^H(\lambda) d\lambda, \quad (13)$$

где

$$\Phi_0^H(\lambda) = \frac{a_0(a_0\lambda + \gamma_0^- + f(\lambda))e^{\omega_1 x_0}}{2\sqrt{A^0} \lambda f(\lambda) \sqrt{\lambda + B^0}} - \frac{a_0(a_0\lambda + \gamma_0^- - f(\lambda))e^{\omega_2 x_0}}{2\lambda f(\lambda) \sqrt{\lambda}}. \quad (14)$$

Подынтегральная функция (14) имеет разветвления в точках  $\lambda_{1,2} = -\Phi \pm i\psi$ ,  $\lambda_3 = 0$ ,  $\lambda_4 = -B_1^0$ . Контуры интегрирования изображены на рис. 2 и 3. После соответствующих вычислений (13) представляется в виде

$$S_2^H(x_0, t) = \frac{Q_{sum}^H}{2T_2} M^H R^H(x_0, t), \quad (15)$$

где

$$R_i^H(x_0, t) = \frac{1}{A^0} \left[ \int_{B_1^0}^{\infty} \frac{(e^{-\rho\tau} - 1)(\gamma_0^- - a_0\rho - \rho_1) \cos\left(\sqrt{A^0} \bar{x}_0 \sqrt{\rho - B_1^0}\right)}{\rho\rho_1\sqrt{\rho - B_1^0}} d\rho - \right. \\ \left. -\sqrt{A^0} \int_0^{\infty} \frac{(e^{-\rho\tau} - 1)(\gamma_0^- - a_0\rho + \rho_1)}{\rho\sqrt{\rho\rho_1}} \cos(\bar{x}_0\sqrt{\rho}) d\rho \right], \\ \bar{x}_0 = \sqrt{\frac{x_0^2 b_1}{a_2}}. \quad (16)$$

Интегральные функции  $R_i^H(x,t)$  и  $R_i^H(x_0,t)$  табулированы для разных значений безразмерных комплексов, которые выражаются через гидрогеологические параметры пластов.

Армянская сельскохозяйственная академия

**Ս. Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ս. Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ**

**Ներքին ջրատար շերտից ջրհանման դեպքում բազմաշերտ ֆիլտրացիոն միջավայրի հորատանցքերի գծային շարքի հաշվարկը**

Դիտարկվում է հիդրավիկական կապի մեջ գտնվող երկու անսահմանափակ ճնշումային ջրային հողաշերտերում ճնշումների որոշման խնդիրը, ներքին ջրատար շերտից հորատանցքերի գծային շարքի օգնությամբ հաստատուն գոտարային ելքով ջրհանման դեպքում:

Հավասարումների համակարգը լուծվել է օպերացիոն հաշվի մեթոդով, առաջին անգամ ստացվել է հաշվային (11) բանաձևերը:

#### **ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ**

- <sup>1</sup> П.Я.Полубаринова-Кочина, Теория движения грунтовых вод. М., Наука, 1977.
- <sup>2</sup> С.М.Казарян, Водный обмен на фоне вертикального дренажа, Ереван, Айастан, 1988.
- <sup>3</sup> А.Анго, Математика для электро- и радионженеров. Пер. с франц., М., Наука, 1964.

УДК 621.38

М. Ж. Гулиян

**Влияние вида функции генерации электронно-дырочных пар на фотолюминесценцию из варизонной структуры с двойной инжекцией**

(Представлено академиком НАН Армении В.М.Арутюняном 30/IV 1998)

В последние годы в оптоэлектронике все больший интерес вызывают возможности использования новых материалов для создания полупроводниковых светоизлучающих структур. В частности, интересные результаты получены на  $p^+pp^+$  структурах с варизонной базой, работающих в режиме двойной инжекции (1-2). Такие структуры, излучающие в различных диапазонах длин волн, уже реализованы как на базе полупроводников типа  $A_3B_5$ ,  $A_2B_6$  и их твердых растворов, так и на базе пористого кремния. Нами, в частности, в работе (3) исследованы особенности электролюминесценции в  $p^+pp^+$  структуре с "длинной" варизонной базой. В настоящей работе рассмотрены процессы фотолюминесценции в такой структуре, обусловленные излучательной рекомбинацией через центры захвата и типа зона-зона в условиях развитой двойной инжекции носителей заряда в базу.

Пусть в  $p^+pp^+$  структуре ширина запрещенной зоны  $p$ -базы линейно уменьшается в сторону  $n^+$ -инжектора, а база освещается монохроматическим светом с интенсивностью  $\Phi_0$  со стороны широкозонного  $p^+$ -слоя. Как и в случае электролюминесценции, воспользовавшись уравнениями непрерывности в условиях отсутствия куммуляционного эффекта и квазинейтральности электронно-дырочной плазмы  $n \approx p + N_g$ , получаем дифференциальное уравнение для неосновных носителей (дырок) в виде

$$\frac{d^2 p}{dx^2} \frac{2p + N_g}{p + mN_g} + \left(\frac{dp}{dx}\right)^2 \frac{(2m-1)N_g}{(p + mN_g)^2} + \frac{dp}{dx} \left\{ \frac{e(v-c)}{kT} \left[ 1 - \frac{m(m-1)N_g^2}{(p + mN_g)^2} \right] - \right. \\ \left. - mN_D \frac{j}{kTu_n (p + mN_g)^2} \right\} - \frac{p - p_T}{L^2} + \frac{g(x, \nu)}{D_p} = 0, \quad (1)$$

где  $n$  и  $p$  – концентрации неравновесных электронов и дырок в базе,  $p_T$  – равновесная концентрация дырок,  $N_g$  – концентрация мелких доноров в базе,

$v, c = -\frac{\nabla E_{v,c}}{e}$  – градиенты  $v$  и  $c$  зон,  $j$  – плотность полного тока, протекающего через структуру;  $b = u_n / u_p$ ,  $m = b / (b + 1)$ ,  $L_p^2 = mD_p\tau_p$ ,  $u_n, u_p$  – подвижности электронов и дырок, соответственно,  $D_p$  – коэффициент диффузии дырок,  $\tau_p$  – время жизни дырок,  $g(x, \nu)$  – функция генерации, зависящая от координаты  $x$  и частоты падающего излучения.

При уровнях инжекции, когда  $2p \ll N_D$ , уравнение (1) приводится к упрощенному виду и его решение, с учетом граничных условий  $j_n(0) = j_p(d) = 0$ , имеет вид

$$p(x) = \frac{e^{\lambda x}}{sh\omega d} \left\{ [p(0) - p_0] sh\omega(d-x) + e^{-\lambda d} sh\omega x [p(d) - p_0 e^{\lambda_0 d}] \right\} + p_0 e^{\lambda_0 x}, \quad (2)$$

где

$$p(0) = \left( \frac{j\tau_p}{l} + \lambda_0 L_p^2 Y_0(0) - L_p^2 Y_1(0) \right) \times \\ \times \left[ \omega ch\omega d - \lambda + \frac{p_0 e^{\lambda_0 d} \omega}{bN_g sh\omega d} e^{-\lambda d} \right] + p_0 - Y_0(0), \quad (3)$$

$$p(d) = \left( \frac{j\tau_p}{l} + \lambda_0 L_p^2 Y_0(0) - L_p^2 Y_1(0) \right) \times \\ \times \left[ \frac{\omega e^{\lambda d}}{sh\omega d} + \frac{p_0 e^{\lambda_0 d}}{bN_g} (\omega ch\omega d + \lambda) \right] + p_0 e^{\lambda_0 d}. \quad (4)$$

В случае уменьшения ширины запрещенной зоны с ростом координаты имеем

$$p_0 \approx \frac{n_{im}}{N_g} \left[ 1 + \left( \frac{eL_p}{kT} \right)^2 (v-c) - \frac{j}{eu_n N_g} \right].$$

В уравнениях (3) и (4) приняты следующие обозначения:

$$\lambda = -\frac{e}{kT} \left( v - c - \frac{j}{eu_n N_g} \right), \quad \lambda_0 = -\frac{e}{kT} (v - c), \quad \omega^2 = \sqrt{\lambda^2 - L_p^{-2}}, \quad (5)$$

$Y_0(x)$  и  $Y_1(x)$  имеют интегральную форму и здесь не выписаны (см. (4)). Для упрощения расчетов примем, что функция генерации имеет дельтаобразный вид (случай облучения монохроматической волной):

$$g(x, \nu) = \Phi_0 \delta(x - x_g), \quad (6)$$

где  $\delta(x - x_g)$  – дельта-функция,  $x_g$  – плоскость, в которой  $E_g(x_g) = h\nu$ . В этом случае для  $Y_0(x)$  и  $Y_1(x)$  нетрудно получить более простые выражения:

$$Y_0(x) = \frac{\Phi_0}{\omega D_p} e^{\lambda(x-x_g)} sh\omega(x_g - x), \quad (7)$$

$$Y_1(x) = \frac{\partial Y_0(x)}{\partial x} = \frac{\Phi_0}{\omega D_p} e^{\lambda(x-x_g)} \{ \lambda sh \omega(x_g - x) - \omega ch \omega(x_g - x) \}. \quad (8)$$

Ниже рассматривается также случай "смешанной" корневой зависимости коэффициента поглощения от энергии фотонов.

В настоящей работе, как уже отмечалось, нами вычислены интенсивности примесного рекомбинационного излучения и рекомбинационного излучения типа зона-зона. Интенсивность излучательной рекомбинации, как известно, описывается интегралом

$$\Phi_M = \int_0^d \frac{P - P_T}{\tau_{pi}} dx \quad (9)$$

в случае рекомбинации через локальные центры захвата и интегралом

$$\Phi_A = \beta \int_0^d (np - n_{im}^2) dx \quad (10)$$

в случае межзонной рекомбинации.

В (9) и (10)  $\tau_{pi}$  — время излучательной рекомбинации через центры,  $\beta$  — вероятность перехода зона-зона. При наших расчетах они принимались постоянными величинами, не зависящими от концентрации инжектированных носителей заряда.

Вычисления интеграла (9) для случая излучательной рекомбинации через центры показали, что интенсивность фотоизлучения линейно зависит от интенсивности  $\Phi_0$  падающего света

$$\Phi'_M - \Phi'_{Mel} = A \Phi'_0, \quad (11)$$

где  $\Phi'_M = \frac{\Phi_M d}{b D_p N_g}$ ,  $\Phi'_0 = \frac{\Phi_0 d}{b D_p N_g}$  — безразмерные величины, описывающие

интенсивности,  $\Phi'_{Mel}$  — часть излучения, обусловленного электролюминесценцией, выражение для которой приведено в работе (3),  $A$  — некоторый коэффициент, аналитическое выражение для которого из-за громоздкости здесь не приводится. В частности, в области сравнительно малых значений тока

$$A \approx \frac{e^{\frac{d-x_g}{L_p}}}{2} \left( 1 + \frac{i + \lambda_0 d}{2} \right), \quad (12)$$

где через  $i = j \frac{d}{e b D_p N_g}$  записано выражение для тока, протекающего через струк-

туру. В области больших значений тока коэффициент  $A$  имеет более сложный вид с экспоненциальными членами и в большей степени зависит от плотности тока:

$$A \approx \frac{1}{2} \left( \frac{i^2 \left( \frac{L_p}{d} \right)^2}{2} + 1 \right)^{-1} e^{i \left( 1 - \frac{x_g}{d} \right)} - e^{\frac{i x_g}{2 d}}. \quad (13)$$

Анализ показывает, что, как и ожидалось, интенсивность мономолекулярного рекомбинационного излучения линейно растет с увеличением интенсивности

падающего излучения  $\Phi_0$ . Зависимость  $\Phi'_M$  от тока носит более сложный характер и в выражение для  $\Phi'_M$  входят как полиномальные, так и экспоненциальные составляющие от тока, что обусловлено сложными процессами, протекающими в структуре со сложной зонной диаграммой.

Особый интерес вызывает излучательная межзонная рекомбинация, так как в этом случае в зависимости  $\Phi_B(\Phi_0)$  участвуют как линейные, так и квадратичные члены:

$$\Phi_B = \Phi_{BE} + A'\Phi_0 + B'\Phi_0^2. \quad (14)$$

Для интеграла (10) получается весьма громоздкое выражение. Ограничимся обсуждением результатов для предельных случаев малых и больших токов. В случае сравнительно малых токов нетрудно получить выражения

$$A' \approx \beta\tau_p N_g \left\{ i^2 \frac{bL_p}{32d} e^{\frac{3d}{L_p}} (2 - \lambda_0 d - i) - i^2 \frac{b}{4} \left( \frac{L_p}{d} \right)^2 e^{\frac{2d}{L_p}} \right\}, \quad (15)$$

$$B' \approx \beta\tau_p^2 \frac{d}{L_p^2} \left\{ \frac{L_p}{4d} e^{\frac{2d}{L_p}} \left( \frac{1}{2} + \frac{L_p}{d} \lambda_0 d - i \lambda_0 d - i \frac{L_p}{d} (1 - \lambda_0 d) - i^2 \frac{3L_p}{d} \right) + \right. \\ \left. + i \frac{L_p}{16d} e^{\frac{3d}{L_p}} \left( i \frac{L_p}{d} - 2 + \lambda_0 d \right) \right\}. \quad (16)$$

При малости коэффициента  $B'$  по сравнению с  $A'$  при очень малых токах следует линейная зависимость интенсивности излучения от  $\Phi_0$ . Однако с возрастанием тока в структуре  $A'$  и  $B'$  монотонно возрастают и уже в области больших токов вклад членов с  $\Phi_0^2$  существенно увеличивается из-за экспоненциальных зависимостей от тока составляющих коэффициентов  $A'$  и  $B'$ . В этой области выражения (15) и (16) упрощаются и зависимость  $\Phi_B(\Phi_0)$  принимает следующий вид:

$$\Phi_B \approx \Phi_{BE} + \Phi_0 \beta\tau_p N_g \left\{ b \left( \frac{L_p}{d} \right)^2 i^2 e^i + \frac{e^i}{10} \left( b + \frac{1}{\beta\tau_p} \right) \right\} + \\ + \Phi_0^2 \beta\tau_p^2 \frac{d}{L_p^2} \left\{ \frac{e^{2i}}{20i} + \left( \frac{d}{L_p} \right)^2 \frac{e^{1,2i}}{i^3} \right\}. \quad (17)$$

Рассмотрим случай, соответствующий отличной от (6) зависимости функции генерации для структуры на основе  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ , воспользовавшись результатами, полученными в (5), для коэффициента поглощения. В области  $h\nu \geq E_g(x)$  была получена смещенная корневая зависимость

$$\alpha(x, \nu) = \alpha_0 \sqrt{\frac{h\nu - E_{g0} + \nabla E_g x}{E_1} + 1}, \quad (18)$$

а для  $h\nu < E_g(x)$  ( $x < x_g$ ) справедлив закон Урбаха

$$\alpha(x, \nu) = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu - E_{g0} + \nabla E_g x}{E}\right), \quad (19)$$

где  $\alpha_0$  — коэффициент поглощения при  $h\nu = E_{g0}(x)$ ,  $x = 0$ .

Для того, чтобы излучательная межзонная рекомбинация была наиболее эффективной, надо, чтобы поглощение квантов в области энергий  $h\nu < E_g(x)$  было малым. При  $h\nu \geq E_g(x)$  в области базы работает только смещенный квадратичный закон (18). Для упрощения последующих расчетов примем  $h\nu = E_{g0}$ . Интенсивность поглощенного излучения в точке  $x = x_g$ , как обычно, вычисляется из формулы (поглощением в тонком слое  $p^+$  эмиттера пренебрегается)

$$\Phi(x_g) = \Phi_0 \exp\left(-\int_0^{x_g} \alpha(x, \nu) dx\right). \quad (20)$$

Для доли поглощенной интенсивности  $B$  до точки  $x = x_g$  легко получить следующее выражение:

$$B = \frac{\Phi_0 - \Phi(x_g)}{\Phi_0} = 1 - \exp\left\{\frac{2\alpha_0 E_1}{3\nabla E_g} \left[1 - \left(\frac{\nabla E_g x_g}{E_1} + 1\right)^{\frac{3}{2}}\right]\right\}. \quad (21)$$

В этом случае функция генерации имеет сложный вид и интегрирование  $y_0$  и  $Y_1$  не представляется возможным, но поскольку  $g(x, \nu)$  является колоколообразной функцией от  $x$ , то имеющуюся зависимость можно сгладить методом наименьших квадратов, как в (6), гауссовой кривой. В этом приближении формулы (14) и (17) не изменяются. Подставляя  $B\Phi_0$  вместо  $\Phi_0$ , в результатах (14) и (17) получим более реальную зависимость для интенсивности фотолюминесценции. Такую подстановку можно сделать исходя из результатов работы (3).

На рис.1-3 показано несколько графических зависимостей, позволяющих более наглядно обсудить полученные для межзонной излучательной рекомбинации аналитические результаты. На рис.1 приведена зависимость интенсивности фотоизлучения (отн.ед.) от энергии фотонов, вызывающих фотолюминесценцию, для различных  $E_{g0}$  и постоянных  $E_{gd}$  и  $d$ . Точки максимумов кривых, соответствующих смещенной корневой зависимости для  $\alpha(x, \nu)$  (сплошные линии), определяются минимальным значением излучения, поглощенного в Урбаховском хвосте. Каждому значению  $E_{g0}$  из-за варизонности базы структуры соответствует некоторое значение  $h\nu$ , при котором интенсивность излучения резко уменьшается. На рис.2 представлена токовая зависимость  $\Phi(i)$  для фиксированного значения тока  $i$  и различных  $h\nu$ . Начиная с некоторого значения тока  $i$  из-за экспоненциального возрастания коэффициента у  $\Phi_0^2$  в выражении (17) ожидается резкое возрастание интенсивности

фотоизлучения (на 2 порядка). На рис.3 представлена зависимость доли  $B$  поглощенного в базе излучения для различных градиентов энергетических зон базы. С увеличением градиента увеличивается доля поглощенного излучения в приповерхностном слое базы и, соответственно, уменьшается "мертвый слой". Это приведет к нарастанию темпа излучательной рекомбинации, а следовательно и увеличению интенсивности излучения.

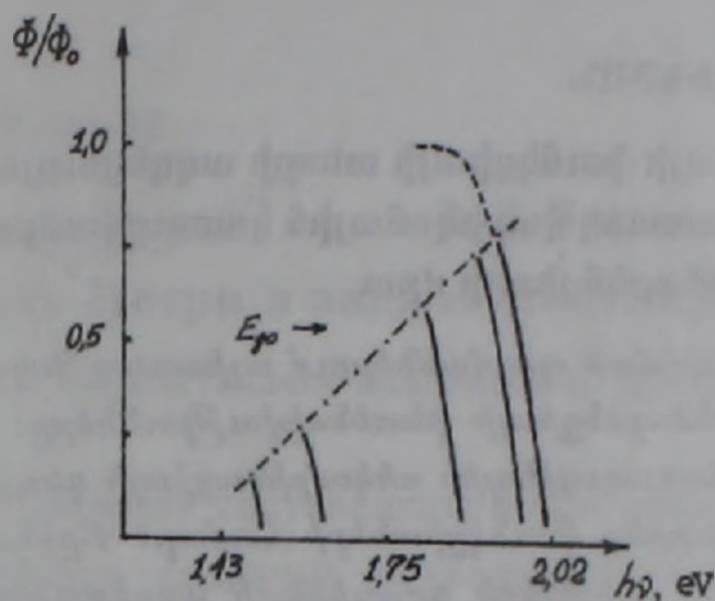


Рис.1.

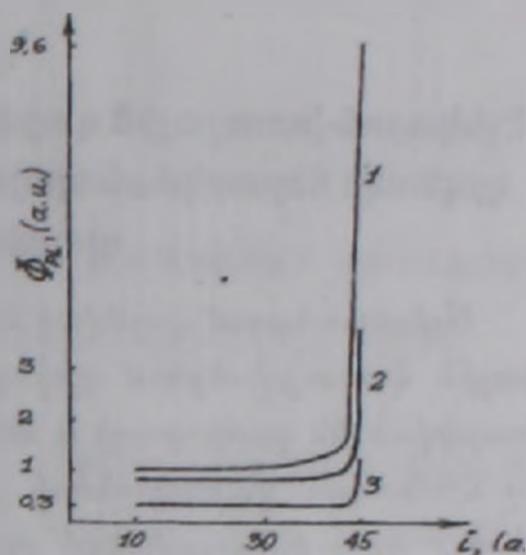


Рис.2.

Рис.1. Зависимость поглощенного в точке  $x_g = 0,2d$  излучения для различных  $E_{g0}$  в области значений  $h\nu \geq E_g(x_g)$  (сплошные линии). Пунктирная линия, соответствующая поглощению, связанному с Урбаховским "хвостом", для всех графиков стремится к насыщению в точке  $\Phi / \Phi_0 = 1$ .

Рис.2. Зависимость  $\Phi_B(i)$  для случаев  $x_g/d = 0,2, h\nu$  (эВ): 1- 1,8, 2- 1,9, 3- 1,95.

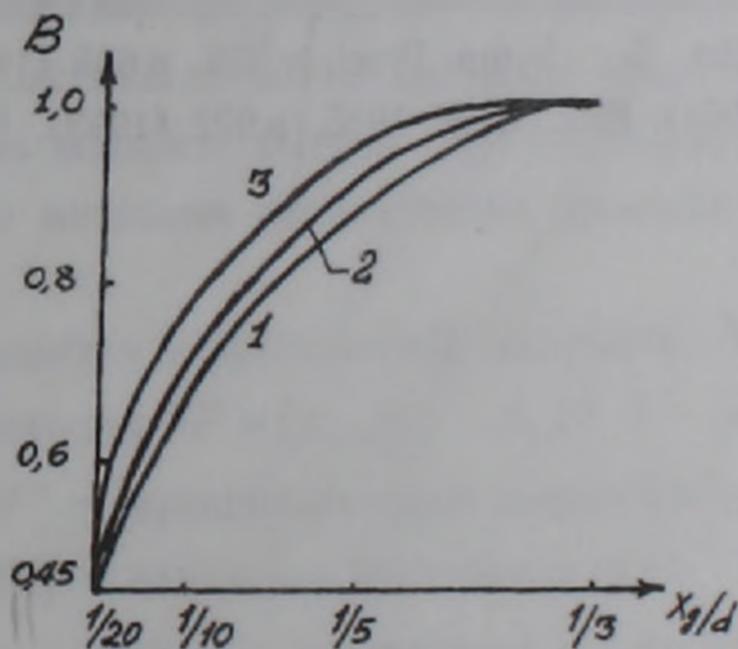


Рис.3. Зависимость доли поглощенной интенсивности  $B$  в приповерхностном слое базы для различных  $\nabla E_{g0}$  (В/см): 1- 0, 2- 100, 3- 485.

Заметим также, что из полученных выше результатов следует, что помимо известной линейной зависимости (в случае межзонной излучательной рекомбинации) при сравнительно больших плотностях тока могут превалировать квадратичная зависимость интенсивности фотоизлучения освещения и более крутые зависимости  $\Phi$  от плотности тока. Подобные зависимости на-

блюдались на опыте на структурах, изготовленных из различных полупроводниковых соединений и из пористого кремния (7-10).

Выражаю глубокую благодарность проф. В.М. Арутюняну за постановку задачи и руководство работой.

Ереванский государственный университет

### Մ. Ժ. ՂՈՒԼԻՆՅԱՆ

**Էլեկտրոն-խոռոչային զույգերի գեներացիայի ֆունկցիայի տեսքի ազդեցությունը կրկնակի ներարկման պայմաններում աշխատող վարիզոնային կառուցվածքում գրգռվող ֆոտոլյումինեսցենցիայի վրա**

*Աշխատանքում հաշվված են կրկնակի ներարկման պայմաններում աշխատող վարիզոնային կառուցվածքում գրգռվող ֆոտոլյումինեսցենցիայի ինտենսիվությունները: Դիտարկված են գոտի-գոտի և մոնոմոլեկուլյար ճառագայթային ռեկոմբինացիայի դեպքերը ոչ հիմնական լիցքակիրների գեներացիայի տարբեր ֆունկցիաների համար: Քրոնարկված է նաև կառուցվածքի բազայի էներգետիկ գոտիների գրադիենտի ազդեցությունը այսպես կոչված «կոլյր շերտի» վրա:*

### ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> Г.П.Пека,Б.Ф.Коваленко, А.Н.Смоляр, Варизонные полупроводники, Киев, Выща школа, 1989.
- <sup>2</sup> В.М.Арутюнян, А.Т.Дарбасян, ФТП, т.16, №11, с.1938-1941 (1982).
- <sup>3</sup> В.М.Арутюнян, М.Ж.Гулинян, Изв. НАН Армении. Физика, Изд.ЕГУ, т.32, №1, 35-43 (1997).
- <sup>4</sup> В.М.Арутюнян, А.Т.Дарбасян, Межвуз. сб. Физика, Изд.ЕГУ, вып.7, с.74-83 (1987).
- <sup>5</sup> В.Мопетар, К.Шик, G.Petit, J. Appl. Phys., v.47, p.2604 (1976).
- <sup>6</sup> G.Sassi, Solar Cells, v.10, p.295 (1983).
- <sup>7</sup> J.Xu, Electron Dev. Lett., v.15, p.507 (1994).
- <sup>8</sup> H.Mimura, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., v.358, p.635 (1994).
- <sup>9</sup> L.Pavesi, J. Appl. Phys., v.75, p.780 (1994); Proc. SPIE 1985, p.632 (1993).
- <sup>10</sup> K.D.Hirshman, Nature, v.384, p.338 (1996).

## АВТОМАТИКА

УДК 681.32

Э. В. Казарян, М. К. Багдасарян

## Сеть Петри в задаче моделирования технологических объектов

(Представлено академиком НАН Армении В.В. Алексеевским 17/IX 1997)

Важной составляющей при решении проблемы комплексной автоматизации является создание отказоустойчивых методов управления технологическими объектами, которые занимают значительное место в машиностроении, энергетике, химической промышленности и других отраслях. Организация управления технологическими объектами с помощью традиционных методов, основанных на теории дискретных устройств, оказывается неэффективной. Это связано в первую очередь с отсутствием формальной модели управления объектами, на основе которой можно было бы установить появления неисправностей. Поэтому в данной работе делается попытка создания модели, описывающей поведения узлов многорежимных объектов, с установлением места и вида неисправностей.

Эффективным средством формального описания алгоритмов управления технологическими объектами является математический аппарат сети Петри. Преимуществами этого аппарата является его наглядность, возможность проведения формальными методами исследования процесса и удобство анализа при помощи ЭВМ.

Сеть Петри  $N$  задается совокупностью множеств  $N(P, T, F^+, F^-, M_0)$ , где  $P$  – множество позиции ( $P = \{p_0, p_1, \dots, p_n\}$ );  $T$  – множество переходов ( $T = \{t_0, t_1, \dots, t_m\}$ );  $F^+$  – функция входных инциденций;  $F^-$  – функция выходных инциденций;  $M_0$  – начальная маркировка сети.

Функции входных и выходных инциденций задают отношение между позициями (условиями) и переходами (событиями) сети (1,2). Считается, что в системе в любой момент времени выполняются определенные условия, которые могут изменить последовательность некоторых событий. Наличие того или иного условия в сети Петри интерпретируется с помощью меток-маркеров, изображаемых в виде точек внутри позиций.

Изменение технологических величин инициируется управляющими воздействиями и зависит от технологических условий, определяющих влияние на

данную величину внешних событий и других величин. Технологической величине при работе объекта соответствуют различные режимы, характеризуемые определенным законом изменения (возрастанием, убыванием, постоянством) этой величины.

Предположим, что технологический объект характеризуется величинами  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

Перемещение  $\sigma_1$  определяется воздействиями  $Z_{11}$  и  $Z_{12}$ , перемещение  $\sigma_2$  – управляющими воздействиями  $Z_{21}$  и  $Z_{22}$ ; внешним событиям соответствуют переменные  $I_1$  и  $I_2$ .

Рассмотрим причинно-следственные связи моделируемого технологического объекта в пространстве условий и событий. Имеем следующий набор условий: 1) величина  $\sigma_1$  готова для разгона; 2) набор управляющих воздействий  $Z_{11} Z_{12}$  инициирует возрастание  $\sigma_{10}$  до  $\sigma_{11}$ ; 3) управляющее воздействие  $Z_{11}$  инициирует возрастание величин  $\sigma_1$  от значения  $\sigma_{11}$  до значения  $\sigma_{12}$ ; 4) управляющее воздействие  $Z_{11} Z_{12}$  инициирует убывание величины  $\sigma_1$  от  $\sigma_{12}$  до  $\sigma_{10}$ ; 5) параметр  $\sigma_2 = \sigma_{20}$  готов для разгона; 6) управляющее воздействие  $Z_{21} Z_{22}$  инициирует изменение величины  $\sigma_2$  от  $\sigma_{20}$  до  $\sigma_{21}$ ; 7)  $Z_{21} Z_{22}$  инициирует изменение величины  $\sigma_2$  от  $\sigma_{22}$  до  $\sigma_{21}$ ; 8)  $Z_{22}$  инициирует убывание  $\sigma_2$  от  $\sigma_{21}$  до  $\sigma_{20}$ .

При этом могут происходить следующие события: 1) установление исходного значения  $\sigma_{10}$  величины  $\sigma_1$ ; 2)  $\sigma_1$  достигает значения  $\sigma_{11}$ ; 3) возрастание  $\sigma_{11}$  до  $\sigma_{12}$ ; 4) величина  $\sigma_1$  убывает от крайнего правого ( $\sigma_{12}$ ) до крайнего левого ( $\sigma_{10}$ ) значения; 5) установление исходного значения  $\sigma_{20}$  величины  $\sigma_2$ ; 6)  $\sigma_{20}$  достигает значения  $\sigma_{22}$ ; 7) величина  $\sigma_2$  убывает от  $\sigma_{22}$  до  $\sigma_{21}$ ; 8) величина  $\sigma_2$  убывает от  $\sigma_{21}$  до  $\sigma_{20}$ .

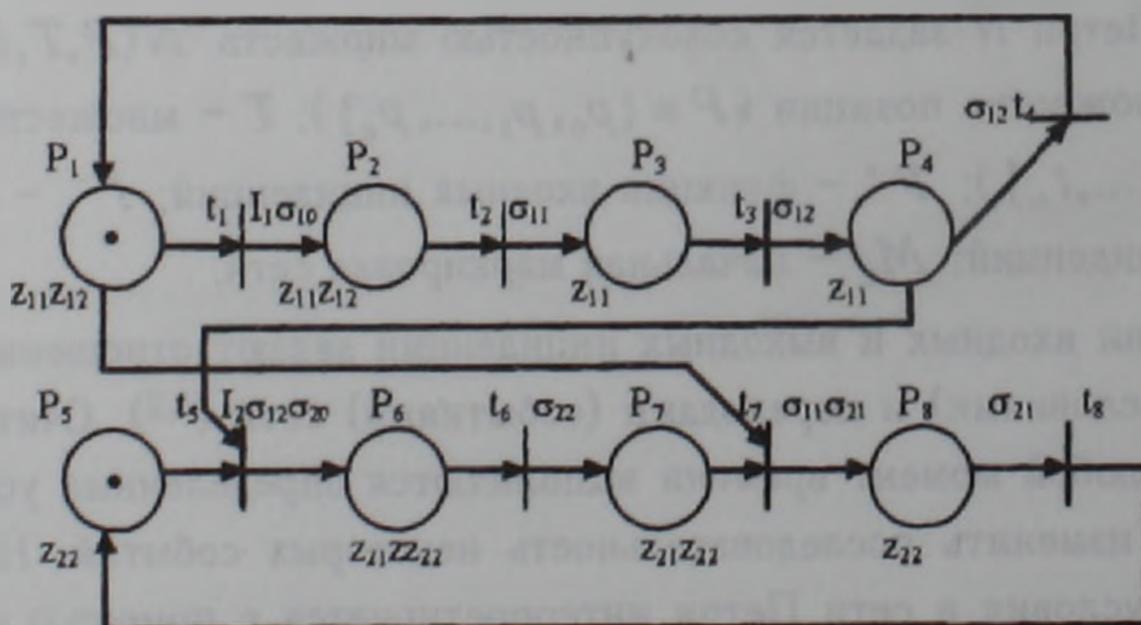


Рис.1.

Граф операций представлен на рис.1. При наличии точки в позициях  $P_4$  и  $P_5$  в результате срабатывания перехода  $t_5(I_2 \sigma_{21} \sigma_{20})$  из позиций  $P_4$  и  $P_5$  точки

убираются, точка вносится в позицию  $P_6$  и начинается соответствующая ей операция  $P_6$ . Однако при этом переход  $t_4$  уже сработать не может. Таким же образом после ухода точки из позиции  $P_1$  в результате срабатывания перехода  $t_7$  ( $\sigma_{11}\sigma_{21}$ ) исключается срабатывание перехода  $t_1$  ( $I_1\sigma_{10}$ ). Отсюда следует, что в графе операций (рис.1) имеются конфликты между переходами. Их можно устранить, заменив операции (позиции)  $P_1$  и  $P_4$  двумя другими операциями (рис.2). Сетевая модель для рассматриваемого случая определяется компонентами:  $P = \{p_i\}, i = \overline{1,10}$ ;  $T = \{t_j\}, j = \overline{1,8}$ ;  $M_0 = (1,1,0,0,0,0,1,0,0,0)$ . Моделирование технологических объектов, представленное сетями Петри, можно привести в виде совокупности трех основных процедур:

- нахождение следующей маркировки;
- проверка условий возбуждения всех переходов и выбор переходов, разрешенных при данной маркировке;
- проверка наличия неисправных ситуаций

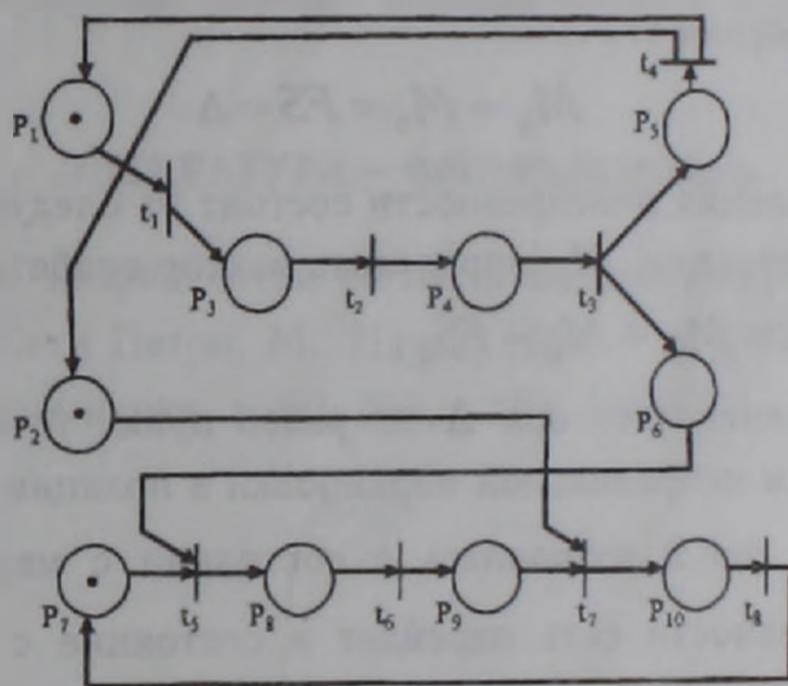


Рис.2.

Функционирование сети Петри можно представить в виде следующих уравнений:

$$M_{k+1} = \delta(M_k, t) = M_k + (F^+ - F^-) = M_0 + FS, \quad (1)$$

$$t_k = f(M_k), \quad (2)$$

где  $\delta$  – функция следующего состояния;  $F$  – матрица инцидентий сети;  $S$  – вектор запусков переходов;  $f$  – функция возбужденных переходов.

Срабатывание конкретного перехода  $t_k$  зависит от условий ( $Z_k$ ). Поэтому запишем

$$t_k = \varphi(T_k, Z_k), \quad (3)$$

где  $\varphi$  – функция выбора очередного перехода.

В рассмотренном примере (рис.2)  $T$  состоит из следующих пар векторов:

$$\begin{aligned}
t_1 &= (1,0,0,0,0,0,0,0,0,0), (0,0,1,0,0,0,0,0,0,0) \\
t_2 &= (0,0,1,0,0,0,0,0,0,0), (0,0,0,1,0,0,0,0,0,0) \\
t_3 &= (0,0,0,1,0,0,0,0,0,0), (0,0,0,0,1,1,0,0,0,0) \\
t_4 &= (0,0,0,0,1,0,0,0,0,0), (1,1,0,0,0,0,0,0,0,0) \\
t_5 &= (0,0,0,0,0,1,1,0,0,0), (0,0,0,0,0,0,0,1,0,0) \\
t_6 &= (0,0,0,0,0,0,1,0,0,0), (0,0,1,0,0,0,0,0,1,0) \\
t_7 &= (0,1,0,0,0,0,0,0,1,0), (0,0,0,0,0,0,0,0,0,1) \\
t_8 &= (0,0,0,0,0,0,0,0,0,1), (0,0,0,0,0,0,1,0,0,0)
\end{aligned}$$

При этом из (1) следует, что  $M_1 = \delta(M_0, t_1) = (1,1,0,0,0,0,1,0,0,0)$ ;  $M_2 = \delta(M_1, t_2) = (1,2,0,0,0,1,1,0,0,0)$ ;  $M_3 = \delta(M_1, t_1) = (0,1,1,0,0,0,1,0,0,0)$ ;  $M_4 = \delta(M_3, t_2) = (0,1,0,1,0,0,1,0,0,0)$ ;  $M_5 = M_6 = \delta(M_4, t_3) = (0,1,0,0,1,1,1,0,0,0)$ ;  $M_7 = \delta(M_{10}, t_8) = (0,1,0,0,1,1,1,0,0,0)$ ;  $M_8 = \delta(M_7, t_5) = (0,1,0,0,1,0,0,1,0,0)$ ;  $M_9 = \delta(M_8, t_6) = (0,1,0,0,1,0,0,0,1,0)$ ;  $M_{10} = \delta(M_9, t_7) = (0,1,0,0,1,0,0,0,0,1)$ .

Для анализа неисправных состояний в качестве дефектов будем рассматривать искажение вектора текущего маркирования  $\Delta$  (3) и наличие лишних переходов. Из уравнения (1)

$$M_k - M_0 = FS = \Delta \quad (4)$$

Алгоритм выявления неисправности состоит из следующих шагов:

- в каждом состоянии  $M_k$  определить вектор срабатывания  $S_k$ ;
- вычислить  $\Delta = M_k - M_0 - FS_k$ ;
- если  $i$ -ый элемент вектора  $\Delta$  не равен нулю, то отказ имеет место и связан с появлением неправильной маркировки в позиции  $P_i$ .

Пусть сеть на рис.2 находилась в состоянии с маркировкой  $M_2$ , и в результате неисправности сеть перейдет в состояние с маркировкой  $M_2^* = (1,2,1,0,0,1,1,0,0,0)$ . Вычислим  $\Delta$ , если срабатывает переход  $t_4$ ,

$$FS = (1,1,1,1,0,0,0,0,0) \begin{bmatrix} -1,0,1,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,-1,1,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,-1,1,1,0,0,0,0 \\ 1,1,0,0,-1,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,-1,-1,1,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0-1,1,0 \\ 0,-1,0,0,0,0,0,-1,1 \\ 0,0,0,0,0,0,10,0,-1 \end{bmatrix} = (0,1,0,0,0,1,0,0,0,0)$$

$$\begin{aligned}
\Delta &= (1,2,1,0,0,1,1,0,0,0) - (1,1,0,0,0,0,1,0,0,0) - (0,1,0,0,0,1,0,0,0,0) = \\
&= (0,0,1,0,0,0,0,0,0,0).
\end{aligned}$$

Полученный результат свидетельствует о том, что неисправность имеет место в позиции  $P_3$ .

Описанная сетевая модель технологических объектов представляет собой основу для построения отказоустойчивых моделей функционирования технологических объектов и их функциональных узлов.

Армянский государственный инженерный университет

**Է. Վ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Մ. Բ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ**

**Պետրիի ցանցը տեխնոլոգիական օբյեկտների մոդելավորման խնդրում**

Պետրիի ցանցի մաթեմատիկական ապարատի հիմքով առաջարկված է մոդել, որը հնարավորություն է տալիս նկարագրել բազմառեժիմ տեխնոլոգիական օբյեկտների և նրանց առանձին հանգույցների պահվածքը: Միաժամանակ առաջարկված մոդելը թույլ է տալիս ի հայտ բերել և տեղայնացնել առկա անսարքությունները: Բերված է բազմառեժիմ տեխնոլոգիական օբյեկտների մոդելի ստեղծման հիմնական էտապները, ինչպես նաև նրանցում անսարքությունների հայտնաբերման ընթացակարգը, որպես թերություն դիտարկելով ընթացիկ նշագծման վեկտորի փոփոխությունը և ավելորդ անցումների առկայությունը:

**ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ**

<sup>1</sup> Дж. Питерсон, Теория сетей Петри и моделирование систем, М., Мир, 1984. <sup>2</sup> В.Е. Котов, Сети Петри, М., Наука, 1984. <sup>3</sup> М.К. Багдасарян, Изв. НАН Армении. Технические науки, т. 50, №3, с.253, (1997).

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 534.833.(26)

Ю. А. Гаспарян

Техническая диагностика бетонных покрытий автодорог  
 с использованием акустического метода

(Представлено академиком НАН Армении Б. К. Карапетяном 24/IX 1996)

В бетонных покрытиях автодорог относительно большие деформации проявляются перед моментом разрушения, поэтому возникает необходимость найти методы, позволяющие производить диагностирование, т.е. проверку технического состояния не только при наличии разрушений, но и в начальной стадии возникновения и развития микротрещин. Существующий механическо-склерометрический разрушающий метод проверки технического состояния бетонных покрытий, регламентированный ГОСТ 22690-88 и основанный на пластической деформации при статическом вдавливании в образцы, имеет ряд недостатков.

В конструкциях бетонных покрытий автодорог механические разрушающие методы позволяют приближенно определять прочностные характеристики. Поэтому возникает необходимость объективного определения прочности бетонного покрытия, что может быть сделано, например, по скорости распространения акустических поверхностных волн, в частности, продольных, поперечных сдвиговых и изгибных. Продольное волновое распространение в покрытии можно рассматривать в виде уравнения второго порядка <sup>(1)</sup>

$$\frac{\partial^2 l(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 l(x, y, t)}{\partial y^2} - \frac{M}{ES} \cdot \frac{\partial^2 l(x, y, t)}{\partial t^2} = 0; \frac{ES}{M} = c_E^2; \quad (1)$$

$$\Phi = \Phi_0 e^{j(\omega t - kx)}; P = P_0 e^{j(\omega t - kx)}; \Phi = P(j\omega\rho)^{-1}.$$

Для описания затухающих волн в покрытии можно использовать уравнение (1) в виде

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0; E = E_x + jE_y; \frac{E}{\rho} = \left(\frac{\omega}{k}\right)^2 = \frac{\omega^2}{(k - j\alpha)^2}. \quad (2)$$

В случае рассмотрения модуля упругости как сопротивления, характеризующегося активными (диссипативными) и реактивными компонентами импедан-

са, представляющими собой комплексную величину, уравнение скорости распространения волн приобретает следующий вид:

$$c_E^2 = \frac{E}{\rho} = \frac{E_x}{\rho} + j \frac{E_y}{\rho} = \frac{\omega^2}{\left(\frac{\omega}{c} - \alpha j\right)^2}; \operatorname{tg} \psi = \frac{\alpha}{k} = -\frac{\alpha c}{\omega};$$

$$k_E = k - j\alpha = k \left[ 1 + \left(\frac{\alpha}{k}\right)^2 \right] e^{-j\psi} = \omega \left[ 1 + \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right)^2 \right] e^{-j\psi} / c. \quad (3)$$

Уравнения (2), (3) можно решить относительно волнового числа и коэффициента затухания  $k, \alpha(f)$  в зависимости от действительных и мнимых величин модулей упругости бетонного покрытия

$$k = \frac{\omega}{c} = \left[ \frac{\omega^2 \rho (\varphi - 1)}{2\varphi^2 E_x} \right]^{0,5}; \alpha(f) = \left[ \frac{\omega^2 \rho (\varphi + 1)}{2\varphi^2 E_x} \right]^{0,5}; \varphi = \frac{E_y}{E_x};$$

$$E_x = \frac{\omega^2 \rho (k^2 - \alpha^2)}{(k^2 + \alpha^2)^2}; E_y = \frac{2\omega^2 \rho \alpha k}{(k^2 + \alpha^2)^2}. \quad (4)$$

Заменяя  $k$  на  $\omega / c$ , получим, что, измеряя скорость распространения упругой волны и коэффициент затухания  $\alpha(f)$ , можно вычислить динамический комплексный модуль упругости покрытия

$$E_x = \rho c^2 \left[ 1 - \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right)^2 \right] \left[ 1 + \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right)^2 \right]^{-2}; E = 2\rho c^2 \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right) \left[ 1 + \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right)^2 \right]^{-2}.$$

При малом затухании  $(\alpha c / \omega)^2 \ll 1$  имеем

$$E_x = \rho c^2; E_y = 2\rho c^2 \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right); E_{x,y} = \rho c^2 \left[ 1 + 2j \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right) \right]. \quad (5)$$

При инженерных методах расчета акустических параметров бетонного покрытия автодорог возникает необходимость решения обратной задачи, т.е. определения физико-технических параметров скорости продольных волн и коэффициента затухания в зависимости от прочности, динамического модуля упругости, объемной плотности и т.д.; в этом случае можно воспользоваться предыдущими величинами уравнений (4), (5), тогда

$$c_x = \left(\frac{E_x}{\rho}\right)^{0,5}; c_y = \left(\frac{0,5\omega E_y}{\rho \alpha}\right)^{1/3}; \alpha(f) = \frac{0,5\omega E_y}{\rho c_y^3}. \quad (6)$$

На практике при определении диссипативных потерь скорости затухания в бетонных покрытиях автодорог приходится пользоваться шириной резонансной кривой частотной характеристики скорости затухания, т.е. добротностью

колебательной системы, что представляет собой отношение  $Q = E_x / E_y = 0,5\omega(c\alpha)^{-1}$ .

Согласно величинам (3), (6), с учетом коэффициента сжатия в поперечном и продольном направлениях, скорость распространения продольной волны в покрытии несколько меньше, чем в неограниченной среде, и равна

$$c_E^2 = \frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}; \quad c_E^2 = \frac{E}{\rho(1-\mu^2)} \approx \frac{E}{\rho}. \quad (7)$$

Для установления зависимостей между физико-техническими акустическими величинами скорости распространения поверхностных волн и геометрическими параметрами можно воспользоваться задачей о деформационных процессах для случая покрытия на упругом основании, нагруженного сосредоточенной силой от колес автомобиля. При воздействии силовой нагрузки от колес автомобиля происходит растяжение и сжатие по толщине покрытия, вследствие чего возникают изгибные поверхностные волны, характеризующиеся уравнением движения

$$\frac{\partial^4 l(x, y, t)}{\partial x^4} + \frac{2\partial^4 l(x, y, t)}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 l(x, y, t)}{\partial y^4} = \frac{P(q) - k_n l(x, y, t)}{D}. \quad (8)$$

Функции воздействия внешних сил и граничные условия решения для свободно опертых краев покрытия могут иметь следующий вид:

$$l(x, y) = \sum_{m,n=1}^{\infty} A_{mn} \sin(k_m x) \sin(k_n y);$$

$$q = \sum_{m,n=1}^{\infty} a_{mn} \sin(k_m x) \sin(k_n y); \quad (9)$$

$$\left. \frac{\partial^2 l(x, y, t)}{\partial x^2} \right|_{x=0,a} = 0; \quad \left. \frac{\partial^2 l(x, y, t)}{\partial y^2} \right|_{y=0,b} = 0.$$

Здесь  $P$  – внешняя сосредоточенная сила или давление от колес автомобиля ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ),  $\rho, l$  – плотность и длина исследуемого покрытия;  $q = \omega^2 M_s / D$  – равномерно распределенная нагрузка по поверхности автодорожного покрытия  $D = EI$ ;  $D$  – цилиндрическая изгибная жесткость покрытия ( $\text{кг}\cdot\text{см}$ ),  $E$  – модуль упругости;  $I$  – инерционный момент;  $k_n$  – жесткость поперечных связей, отнесенная к единице упругого прогиба:

$$k_n = \frac{F(P)}{l(x, y, t)} \left[ \frac{\text{кгс}/\text{см}^2}{\text{см}} \right]; \quad D = EI = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}. \quad (10)$$

Для прямоугольного сечения покрытия  $I = bh^3 / 12c_{E,G,U}$  – скорости распространения продольных  $E$ , поперечных  $G$ , изгибных и акустических волн;  $k, k_m, k_n$  – волновые параметры продольных  $m$  и поперечных  $n$  мод колеба-

ний;  $\mu, \eta$  – коэффициенты поперечного и продольного сжатия и внутреннего трения.

Если рассматривать упругий прогиб  $l(x, y, t)$  и распределение заданной нагрузки  $q(x, y, t)$  по всей поверхности покрытия в виде синусоидальных величин, тогда реакция основания автодорожного покрытия будет характеризоваться коэффициентом постели и прогибом

$$F = k_n l(x, y, t) = \sum_{m,n=1}^{\infty} \sum A_{mn} k_n \sin \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b}; \quad (11)$$

$$F_{\max} = k_n l_{\max} = \frac{P}{8} \left( \frac{k_n}{D} \right)^{0,5}; \quad l_{\max} = \frac{P}{8} (k_n D)^{-0,5}; \quad (12)$$

$$\frac{k_n}{D} = \frac{6E_{\text{осн}}(1-\mu_n^2)}{E_n(1-\mu_{\text{осн}}^2)}; \quad k_n = \frac{E_{\text{осн}}}{2(1-\mu_{\text{осн}}^2)}.$$

Механические свойства диссипативных потерь характеризуются силами упругости –  $F_{\text{упр}} = kA$ , трения  $F_{\text{тр}} = \mu V$  и добротностью резонансной системы, т.е. отношением  $Q = kA / v\eta$ . Учитывая, что скорость равна  $v = \omega A$  и

коэффициент жесткости  $k = \omega^2 M$ , получим  $Q = \frac{\omega M}{\eta} = \left( \frac{Mk}{\eta} \right)^{0,5}$ . Время за-

тухания в этом случае равно  $t = Q / \omega = M / \eta$ .

При изгибных процессах скорость распространения волны зависит от жесткости материала  $D$ , толщины  $h$ , частоты  $f$  и равна

$$k_{\text{изг}}^4 = \frac{\omega^2 M}{D}; \quad k_u = \frac{\omega}{c_u}; \quad c_{\text{изг}} = \left( \frac{\omega^2 D}{M_s} \right)^{0,25} = \left( \frac{\omega^2 EI}{M_s(1-\mu^2)} \right)^{0,25}; \quad (13)$$

$$\frac{h}{\lambda_E} = \frac{hf}{c_{\text{изг}}}; \quad c_{\text{изг}} = (1,8c_E hf)^{0,5}; \quad \lambda_{\text{изг}} = 1,8c_E hf^{-1}.$$

Зная скорость распространения упругих волн –  $c_{E,G}$ , частоту  $f$  и амплитуду  $A_{n,n-1}$ , получим коэффициент затухания звуковой энергии и его логарифмический декремент

$$\alpha_{E,G}(f) = \delta f / c_{E,G}; \quad \delta = \ln(A_n / A_{n-1}). \quad (14)$$

По скорости распространения продольных и изгибных волн в бетонном покрытии можно определить действительную динамическую изгибную жесткость

$$D_u = EJ = \frac{E}{\rho(1-\mu^2)} \cdot \frac{\rho h^3}{12} = J\rho c_E^2; \quad D_u = \left( \frac{E}{2\pi} \right)^2 \frac{h}{\rho} f_{\text{изг}}^{-2};$$

$$D_u = \frac{M c_{\text{изг}}^4}{\omega^2} = \frac{\omega^2 M}{k^4} = \frac{(\omega E)^2 h}{\omega^4 \rho^2} = \left( \frac{E}{\omega} \right)^2 \frac{h}{\rho}; \quad (15)$$

$$k = \omega \left( \frac{\rho}{E} \right)^{0.5} ; D_u = \frac{P_k D_k h^3}{3 f_p^2}$$

Таким образом, основными диагностическими акустическими параметрами, характеризующими техническое состояние бетонных покрытий автодорог, являются скорость распространения и затухания упругих поверхностных продольных, поперечных и изгибных волн, резонансная частота, а также диссипативные потери, т.е. добротность колебательной системы скорости затухания звуковой энергии.

Принцип диагностирования акустическим методом основан на определении скорости распространения упругих волн. При наличии дефектного поверхностного слоя и изменения плотности покрытия скорость распространения волны уменьшаются, причем не столько из-за изменения упругих характеристик, сколько вследствие чувствительности скорости антисимметричных волн нулевого порядка к толщине слоя, в котором они распространяются. Упругая волна, встречая расположенный на своем пути дефект, огибает его и, проходя при этом большее расстояние, приходит к приемнику колебаний с отставанием по фазе. По изменению фазы волны в точке приема и резкому уменьшению скорости распространения продольной и изгибной волны можно судить о наличии зоны нарушения (дефектов) в бетонном покрытии.

Ереванский архитектурно-строительный институт

### Յու. Ա. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ

#### Ավտոճանապարհների բետոնե ծածկերի տեխնիկական ախտորոշումը ակուստիկ եղանակով

Աշխատանքում դիտարկված են ավտոճանապարհների բետոնե ծածկերի տեխնիկական վիճակի ստուգման գոյություն ունեցող մեխանիկական քայքայման եղանակի թերութիւնները, ինչպես նաև առաջարկված նոր եղանակների առավելությունները: Բերված է ակուստիկ պարամետրերի՝ առաձգական ալիքների տարածման արագությունների վրա ազդող դեֆորմացիոն պրոցեսների հաշվարկի տեսական մեթոդ:

Ստացված է, որ բետոնե ծածկերի խափանումների հայտանիշների ախտորոշման և մնացորդային ռեսուրսի կանխատեսման օբյեկտիվ եղանակներից է ակուստիկ եղանակը, որը հիմնված է երկայնական, լայնական և ծռման առաձգական ալիքների տարածման արագությունների չափման վրա: Ախտանիշը սահմանվում է իրական մեծությունների ամբողջությունների սեղմման և ձգման ժամանակ (տես (5,15)) նկարագրված է ախտորոշման սկզբունքը, որի հիման վրա կարելի է ստեղծել ավտոճանապարհային ծածկերի տեխնիկական վիճակի ակուստիկ եղանակով ստուգման սարք:

#### ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> Ю.А.Гаспарян, ДНАН Армении, т.98, №2, с.142-148 (1998).

УДК 502

Р. Г. Ревазян

### Биогеохимическая цикличность химических элементов и проблема устойчивости экосистем

(Представлено академиком НАН Армении В. О. Казаряном 15/III 1998)

В настоящее время много внимания уделяется разработке подходов к стратегии охраны окружающей среды. Теоретическим обоснованием подхода к разрешению этой проблемы мы считаем биогеохимическую концепцию В.И.Вернадского<sup>(1)</sup>, которая имеет целью с возможной точностью определить количественные пределы различных процессов распределения, миграции и обмена химических элементов в экосистемах.

Задачи предвидения экологических последствий антропогенной деятельности выдвигаются на первый план. Они необычайно многообразны и сложны, в особенности в связи с существованием неустойчивых состояний в природной среде. Проблема устойчивости экосистем непосредственно связана с концепцией "устойчивого человеческого развития"<sup>(2)</sup>, которая делает эту проблему особенно острой, поскольку потребность в продуктах питания становится все больше и больше.

Для успешного решения задач по оценке устойчивости экосистем большое значение имеет поиск показателя, который являлся бы репрезентативным для реакции экосистемы в целом. Для такой оценки в настоящее время используются биоиндикационные методы, так как именно этот структурный центр – биота определяет связь и единство всей геосистемы<sup>(3)</sup>. Однако серьезные трудности возникают в организации получения информации о состоянии биоты, поскольку в целом реакцию биоты на антропогенные изменения экосистемы можно оценить, но невозможно систематически наблюдать за состоянием всех видов растений в ландшафте. При этом биоиндикационные исследования, способствующие решению ряда специфических задач в этой области, не позволяют оценить в целом состояние экосистемы, поскольку они проводятся на уровне вида и связаны с преодолением серьезных методических трудностей<sup>(4)</sup>.

Вследствие присущей растениям генетической изменчивости различные виды и сорта растений по-разному реагируют на воздействие загрязняющих веществ. Один вид растений может определенным образом реагировать на воздействие только одного загрязняющего вещества. Некоторые виды растений реагируют на воздействие двух и более загрязняющих веществ, другие виды не реагируют вообще или их ответная реакция на воздействие того же вещества очень слаба. Многочисленные исследования позволили установить, что табак очень чувствителен к озону (5). Также показано, что завязывание плодов и урожайность томата значительно уменьшаются при воздействии низких концентраций озона (6). Некоторые растения, особенно лишайники и мхи, известны как накопители тяжелых металлов, которые эти растения могут аккумулировать до уровней, значительно превышающих их концентрацию в окружающей среде (7), т.е. проявляют толерантность.

Сами требования к видам-биоиндикаторам противоречивы. Так, чувствительность и толерантность в принципе несовместимы. Здесь нерешенным остается вопрос количественной оценки состояния всей экосистемы в целом. Именно поэтому существует вполне обоснованное мнение, что создать универсальную систему биоиндикаторов вряд ли возможно.

Проблема поиска критериев, позволяющих оценить и прогнозировать состояние экосистемы в целом, приобретает первостепенное значение. При этом раннее распознавание нарушений является решающим фактором для предотвращения необратимого состояния экосистемы.

В решении этой проблемы одним из эффективных способов может стать биогеохимическая цикличность химических элементов, способная охватить основные компоненты экосистемы и с помощью выборочных проб быстрее оценить суммарные экологические влияния, возникающие в результате наслоения различных воздействий, включая местные, а затем суммирующиеся в определенных участках биогеохимически активных веществ. Исходя из этого нами предпринята попытка использовать биогеохимическую цикличность химических элементов как функциональный критерий устойчивости экосистем. Этот методологический подход позволит, с одной стороны, на более ранней стадии обнаружить изменение тенденции устойчивости экосистем и наиболее полно оценить процессы поступления, выщелачивания и трансформации веществ и энергии в экосистему, с другой, – разработать модель сбалансированности экосистем.

Известно, что экосистемы под влиянием антропогенного стресса, т.е. при нагрузке, теряют стабильность, что приводит к необратимому изменению их состояния – к деградации. Вследствие неправильного ведения хозяйства и нерационального использования ландшафтов в Армении ускорились процессы их деградации. При этом особо остро стоит вопрос улучшения горно-луговых ландшафтов, которые, являясь естественной кормовой базой, превратились в

зону экологического бедствия. Достаточно отметить, что бессистемное использование горных лугов и пастбищ привело к деградации этих ландшафтов, где 40% почв зоны естественных кормовых угодий эродированы, в результате чего за последние 20 лет площадь пастбищ сократилась на 20% (8).

Деградация горно-луговых ландшафтов в результате перегрузки пастбищ носит практически необратимый характер, процесс зарастания и восстановления естественной растительности происходит крайне медленно. В настоящее время в ряде горных массивов экологическое напряжение достигло таких пределов, что экосистемы высокогорных ландшафтов находятся на грани разрушения. В этих условиях скорость естественного восстановления почвенного плодородия значительно меньше, чем потери питательных веществ, что приводит к падению продуктивности лугов, вытеснению ценных в кормовом отношении видов растений, разрушению дернового горизонта и развитию эрозии почв.

В целом антропогенная деятельность вызывает процесс деградации экосистем, подавляющий многие ее функции, в том числе одну из важнейших – биогеохимическую цикличность химических элементов. Анализ круговорота химических элементов на горных лугах выявил нескомпенсированность биогенных их потоков, отчуждаемых за пределы экосистемы и повторно поступающих в почву (табл.1). Так, емкость потока макроэлементов (N, P, K), удаляемого с органической массой трав за пределы экосистемы, значительно превышает запасы элементов в потоке органической массы, остающейся в пределах экосистемы. Это может явиться причиной возникновения определенного дефицита важнейших питательных элементов в почвах особенно на фоне большой емкости потока указанных элементов.

На горных лугах в структуре баланса суммарных запасов макро- и микроэлементов с переходом от альпийского пояса к лугостепному увеличивается доля отчуждаемых элементов и снижается емкость потока элементов, повторно поступающих в почву.

Почвы горных лугов, несмотря на высокое содержание органического вещества и валового азота и других важнейших питательных веществ, очень бедны их подвижными соединениями, что лимитирует уровень их продуктивности.

Данные, приведенные в табл.2, указывают на некоторые перемещения элементов в рядах их содержаний в лизиметрических фильтратах почв. Так, марганец в фильтратах в ряду элементов переместился на второе место, в почве же он находился на третьем месте; бор с последнего места в почве переместился на пятое место в фильтратах. Это указывает на сравнительно большую подвижность бора и марганца в почвах.

Таблица 1

## Емкость потока химических элементов на горных лугах

| Структура<br>баланса                       | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Fe    | Mn     | Ti    | Ni   | Cu   | Pb  | B     | Mo  | Емкость<br>потока<br>элементов |                |
|--|-------|-------------------------------|------------------|-------|--------|-------|------|------|-----|-------|-----|--------------------------------|----------------|
|  | кг/га |                               |                  | г/га  |        |       |      |      |     |       |     | макро,<br>кг/га                | микро,<br>г/га |
| <b>Альпийская зона</b>                     |       |                               |                  |       |        |       |      |      |     |       |     |                                |                |
| Отчуждаемая<br>фитомасса<br>(сено)         | 12,9  | 3,8                           | 13,7             | 129,0 | 45,6   | 20,5  | 2,3  | 6,1  | 2,1 | 17,5  | 0,5 | 30,4                           | 223,6          |
| Возвращаемая<br>фитомасса<br>(стерня+опад) | 7,0   | 2,6                           | 9,0              | 109,0 | 38,0   | 17,0  | 1,9  | 5,1  | 1,7 | 14,7  | 0,4 | 18,6                           | 187,8          |
| <b>Лугостепная зона</b>                    |       |                               |                  |       |        |       |      |      |     |       |     |                                |                |
| Отчуждаемая<br>фитомасса<br>(сено)         | 25,6  | 9,3                           | 27,5             | 915,0 | 1007,0 | 137,0 | 49,4 | 82,4 | 3,1 | 146,0 | 5,5 | 62,4                           | 2345,4         |
| Возвращаемая<br>фитомасса<br>(стерня+опад) | 10,6  | 2,4                           | 11,4             | 440,0 | 484,0  | 66,0  | 23,8 | 39,6 | 1,5 | 70,0  | 2,6 | 24,4                           | 1126,5         |

Таблица 2

## Ряды содержаний элементов в инфильтрационных водах, почвах и по кларкам литосферы на горных лугах

| Почва        | Форма содержания           | Ряды элементов       |
|--------------|----------------------------|----------------------|
| Лугово-бурая | В лизиметрических фильтрах | Fe>Mn>Ti>Pb>B>>Cu>Ni |
|              | Валовое содержание         | Fe>Ti>Mn>>Ni>>Cu>B   |
|              | По кларкам литосферы       | Fe>Ti>Mn>Ni>B>>Cu>Pb |

Анализ агрогеохимического баланса веществ показал (табл.3), что дисбаланс  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  и  $\text{K}^+$  является результатом антропогенного влияния. Приводимые балансовые величины имеют достаточно широкий диапазон значений, обусловленный как антропогенным фактором, так и биоклиматическими поясами.

Агрогеохимический баланс позволяет выявить наиболее уязвимые звенья в экологической цепи атмосферные осадки-почва-растение-инфильтрационные воды, ликвидация которых обеспечит выход на оптимальный путь развития с учетом рационального использования природных ресурсов.

Таблица 3

## Агрогеохимический баланс веществ на лугово-бурых почвах, мг/л

| Структура<br>баланса              | $\text{NH}_4^+$ | $\text{NO}_2^-$ | $\text{NO}_3^-$ | $\text{HPO}_4^{2-}$ | $\text{K}^+$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Cl}^-$ |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|---------------|
| Поступает с атмосферными осадками | 8,2             | 1,8             | 4,2             | 0,4                 | 11,0         | 75,8               | 55,5             | 20,0             | 26,3          |
| Вносятся инфильтрационными водами | 0,2             | 0,6             | 22,0            | 0,3                 | 9,0          | 134,0              | 84,0             | 31,0             | 42,0          |
| Баланс                            | 8,0             | 1,2             | -17,8           | 0,1                 | 2,0          | -58,2              | -28,5            | -11,0            | -15,7         |

Результаты исследований показывают, что со временем будет получен хороший метод для диагностики, однако многое еще предстоит сделать в плане организации мониторинга, основанного на комплексном подходе – изучении биогеохимического потока и баланса элементов, ответных реакций растений и других факторов окружающей среды (тип почвы, содержание в ней подвижных форм элементов, относительная влажность и др.).

Таким образом, выявленные нами закономерности по емкости потоков химических элементов и балансовые расчеты на горных лугах позволяют на ранней стадии их деградации дать оценку нарушениям агрогеохимического баланса. Это в свою очередь даст возможность разработать мероприятия по оптимизации баланса и экосистемы в целом.

Установление сбалансирования биогеохимического потока элементов будет иметь важное значение как для предотвращения деградации экосистем, так и повышения первичной биологической продуктивности. Поэтому с целью формирования прогностических оценок необходимо прежде всего выявить состояние биогеохимической цикличности химических элементов в экосистеме с тем, чтобы установить ежегодные потери химических элементов и найти пути по управлению потоками химических элементов.

Лаборатория биогеохимии Центра эколого-ноосферных исследований НАН Армении

## Ռ. Հ. ՌԵՎԱԶՅԱՆ

Քիմիական տարրերի կենսաերկրաքիմիական  
ցիկլայնությունը և էկոհամակարգերի կայունության պրոբլեմը

էկոհամակարգերի վիճակի կանխագուշակման չափանիշների որոշման պրոբլեմը ներկայումս ձեռք է բերում առաջնակարգ նշանակություն, ընդ որում խախտումների վաղ բացահայտումը որոշիչ գործոն է հանդիսանում կանխարգելելու համար էկոհամակարգի անշրջելի վիճակը:

Այդ պրոբլեմի լուծման համար էֆեկտիվ եղանակ կարող է հանդիսանալ քիմիական տարրերի կենսաերկրաքիմիական ցիկլայնությունը, որն ընդունակ է ընդգրկել էկոհամակարգերի հիմնական բաղադրիչները և առավել արագ գնահատել գումարային էկոլոգիա-

կան ազդեցությունները՝ կապված մի շարք ազդակների միաժամանակյա ներգործության հետ:

Այս հետազոտությունները թույլ են տալիս, մի կողմից, ավելի վաղ շրջանում հայտնաբերել էկոհամակարգերի կայունության միտման փոփոխությունը և առավել ամբողջական գնահատական տալ էկոհամակարգում նյութերի մուտքի, լվացման և տրանսֆորմացիայի պրոցեսներին, իսկ մյուս կողմից, մշակել էկոհամակարգերի հավասարակշռվածության մոդել:

## ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> *В.И.Вернадский*, Биосфера, М., 1967. <sup>2</sup> *Л.А.Валесян*, Устойчивое человеческое развитие и Армения. Матер. I науч. конф., Ереван, с.7-13, 1997. <sup>3</sup> *Р.Шуберт*, Биоиндикация загрязнений наземных экосистем, М., Мир, 1988. <sup>4</sup> *W.W.Heck, J.A.Dunning, I.J.Hindawi*, Science, v.151, p.8-577 (1966). <sup>5</sup> *W.A.Feder*, In: Proceedings of the 100th Anniv. Cottrell Symposium, Calif. State Univ., Stanislaus., Perona, M. (ed.), 1977. <sup>6</sup> *I.M.Brodo*, Biologist, N.Y., v.69, p.49-422 (1966). <sup>7</sup> *Г.Б.Бабаян, Р.Г.Ревазян*, Тез. докл. всесоюз. конф. по экологическим проблемам формирования высокопродуктивных агроценозов. Пушино, с.62-63, 1988.

МЕДИЦИНА

УДК 577.23

А. С. Агабалян, М. А. Туманян, Р. А. Захарян,  
академик НАН Армении К. Г. Карагезян,

**Стимуляция восстановительных процессов  
при экспериментальном гепатите**

(Представлено 12/XII 1997)

В настоящее время отмечается возросший интерес к препаратам, обладающим широким спектром иммуно- и биостимулирующего действия и оказывающим положительное влияние на восстановительные процессы в клетках и тканях при различных патологических состояниях (1-3). Одним из препаратов, обладающих выраженными иммуно- и биомодулирующими свойствами, является двуспиральная РНК (дсРНК). Показано, что дсРНК стимулирует первичный и вторичный иммунный ответ, индуцирует синтез эндогенного интерферона, стимулирует синтез белка на клетках-мишенях, усиливает процессы дифференцировки и размножения клеток, повышает регенерирующую и репарирующую способность тканей и т.д. (4). Показано также, что использование препарата Д-пеницилламин (ДП) во многих случаях приводит к быстрому излечиванию язвенной болезни желудка и других заболеваний желудочно-кишечного тракта (5,6).

В связи с вышесказанным представлялось интересным изучить влияние препаратов дсРНК и ДП на восстановительные процессы при экспериментальном гепатите (ЭГ) у животных.

В работе использовали 105 белых беспородных лабораторных крыс массой 180-200 г. ЭГ получали путем внутрибрюшинного введения животным 40%-ного раствора четыреххлористого углерода (CCl<sub>4</sub>) в концентрации 0,1 мл/крыса. Кальциевый преципитат дсРНК (Са-дсРНК) получали по описанному ранее способу (1). Препараты Са-дсРНК и ДП в качестве возможных стимуляторов восстановительных процессов в печени при ЭГ вводили животным внутрибрюшинно через два дня после введения CCl<sub>4</sub> в дозах 50 мкг/крыса и 2,0 мг/крыса, соответственно.

Для проведения исследования животные были подразделены на 4 группы: 1-я – интактная, контрольная группа ( $n = 15$ ), 2-я ( $n = 30$ ) получала  $CCl_4$ , 3-я на фоне введенного  $CCl_4$  получала Са-дсРНК по одному разу в неделю в течение двух недель ( $n = 30$ ) и 4-я группа животных ( $n = 30$ ) на фоне  $CCl_4$  получала ДП по такой же схеме. С целью изучения влияния этих препаратов на биохимические показатели печени и иммунного статуса животных последних забивали путем декапитации через 12 дней после начала эксперимента и кровь забирали для анализа.

Активность щелочной фосфатазы (ЩФ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), креатинфосфокиназы (КФК), гаммаглутамилтранспептидазы (ГГТП), количественное содержание общего белка (ОВ), альбумина (А), общего холестерина (ОХ), общего, прямого и непрямого билирубина (ОБл, ПБл и НБл)) определяли в биохимическом анализаторе FR-901. Количественное содержание трех классов иммуноглобулинов определяли общепринятыми методами (7).

Первоначально определяли влияние препаратов Са-дсРНК и ДП на активность ферментов, отражающих функциональную активность печени при экспериментальном гепатите (табл.1).

Таблица 1

**Влияние Са-дсРНК и ДП на активность ферментов при ЭГ**

| Воздействие и группа животных      | Активность ферментов, Е/л ( $\times 10$ ) |                 |                 |                |
|------------------------------------|---|-----------------|-----------------|----------------|
|                                    | ЩФ  | ЛДГ             | КФК             | ГГТП           |
| 1. Контроль ( $n = 15$ )           | 22,5 $\pm$ 1,2                            | 21,2 $\pm$ 0,91 | 23,7 $\pm$ 2,21 | 2,4 $\pm$ 0,74 |
| 2. $CCl_4$ ( $n = 30$ )            | 41,3 $\pm$ 2,08                           | 37,4 $\pm$ 1,31 | 28,4 $\pm$ 1,12 | 5,3 $\pm$ 0,62 |
| 3. $CCl_4$ + Са-дсРНК ( $n = 30$ ) | 25,4 $\pm$ 0,74                           | 24,3 $\pm$ 0,98 | 24,1 $\pm$ 1,31 | 2,6 $\pm$ 0,33 |
| 4. $CCl_4$ +ДП ( $n = 30$ )        | 28,2 $\pm$ 1,55                           | 27,7 $\pm$ 1,06 | 23,9 $\pm$ 0,64 | 2,6 $\pm$ 0,43 |

Примечание: Р во всех случаях  $< 0,01$ .

Данные, представленные в таблице, отчетливо показывают, что препараты Са-дсРНК и ДП нормализуют активность ферментов при экспериментальном гепатите, доводя значения показателей до нормальных физиологических величин, что в свою очередь предполагает восстановление нарушенной функциональной активности печени. При изучении влияния Са-дсРНК и ДП на количественные характеристики общего белка, альбумина, холестерина, общего, прямого и непрямого билирубина, значения которых были существенно изменены в контрольной нелеченой группе животных, было установлено восстановление значений этих показателей до их физиологических величин (табл.2).

Полученные результаты демонстрируют положительное влияние обоих препаратов на восстановление функциональной активности печени при экспериментальном гепатите. О стимуляции восстановительных процессов использованными препаратами говорит также нормализация значений тимоловой пробы и показателей гуморального иммунитета (ИгА, ИгМ и ИгГ). Восстановление показателей гуморального иммунитета до нормальных значений говорит о повышении неспецифической резистентности организма животных препаратами Са-дсРНК и ДП (табл.3).

Таблица 2

**Влияние Са-дсРНК и ДП на количественное содержание белков, холестерина и билирубина**

| Воздействие и группа животных             | Концентрация белков, холестерина и билирубина, мг% |          |         |           |           |           |
|---|--|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
|   | ОБ   | А        | ОХ      | Обл       | ПБл       | Нбл       |
| 1. Контроль<br>(n = 15)                   | 34±1,25  | 31±2,3   | 125±4,9 | 0,9±0,12  | 0,31±0,1  | 0,59±0,27 |
| 2. СС <sub>4</sub><br>(n = 30)            | 24,2±2,2   | 22,3±1,2 | 174±3,7 | 1,5±0,55  | 0,47±0,11 | 1,13±0,62 |
| 3. СС <sub>4</sub> + Са-дсРНК<br>(n = 30) | 32,6±1,2   | 29,7±2,4 | 135±2,1 | 0,93±0,18 | 0,26±0,34 | 0,65±0,22 |
| 4. СС <sub>4</sub> +ДП<br>(n = 30)        | 30,9±1,3   | 27,9±1,5 | 140±3,6 | 1,14±0,75 | 0,35±0,11 | 0,72±0,12 |

Примечание: Р во всех случаях <0,01.

Таблица 3

**Влияние Са-дсРНК и ДП на иммунный ответ у животных с экспериментальным гепатитом**

| Воздействие и группа животных             | Концентрация сывороточных иммуноглобулинов, мг/мл |            |           |
|---|---|------------|-----------|
|   | ИгА   | ИгМ        | ИгГ       |
| 1. Контроль<br>(n = 15)                   | 1,64±0,25   | 0,59±0,33  | 6,2±1,09  |
| 2. СС <sub>4</sub><br>(n = 30)            | 1,15±0,09   | 0,44±0,03  | 3,2±0,88  |
| 3. СС <sub>4</sub> + Са-дсРНК<br>(n = 30) | 1,62±0,31   | 0,54±0,072 | 5,9±1,24  |
| 4. СС <sub>4</sub> +ДП<br>(n = 30)        | 1,57±0,28   | 0,56±0,021 | 5,84±1,32 |

Примечание: Р во всех случаях <0,002.

При гистоморфологическом исследовании органов животных (печень, сердце, селезенка) после введения  $CCl_4$  обнаруживались признаки глубокого нарушения белково-синтетической функции с признаками некробиоза печеночных клеток. После введения биостимуляторов типа Са-дсРНК и ДП выявлялись признаки стабилизации белкового и жирового обмена, а также балочное строение долек с исчезновением в цитоплазме признаков вакуолизации.

Таким образом, проведенное исследование показало, что препараты кальциевого преципитата дсРНК и ДП обладают выраженным биостимулирующим действием и оказывают существенное положительное влияние на восстановление нарушенных функций печени при гепатите животных, вызванном четыреххлористым углеродом, и выступают в качестве факторов, повышающих неспецифическую резистентность организма.

Ереванский государственный медицинский университет  
Институт молекулярной биологии НАН Армении

**Ա. Ս. ԱՂԱԲԱԼՅԱՆ, Մ. Հ. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ, Ռ. Ս. ՋԱԲԱՐՅԱՆ,  
Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ**

**Վերականգնողական գործընթացների ստիմուլյացիան  
փորձնական հեպատիտի ժամանակ**

Ուսումնասիրված է Са-երկթելանի -ՌՆԹ-ի (Са-եթ-ՌՆԹ) և Դ-պենիցիլամենի (ԴՊ) ազդեցությունը վերականգնողական գործընթացների վրա փորձնական հեպատիտի ժամանակ: Ցույց է տրված, որ Са-եթ-ՌՆԹ և ԴՊ ներարկումը  $CCl_4$  ստացած փորձարարական կենդանիներին բերում է լյարդի ֆերմենտների ակտիվության, սպիտակուցային, ճարպային փոխանակման և իմունարանական ցուցանիշների կարգավորմանը, ինչը վկայում է լյարդի գործենթության վերականգնման մասին: Նշված դեղամիջոցների օգտագործումը նպաստում է նաև լյարդի հիստոմորֆոլոգիական պատկերի լավացմանը:

#### ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> А.С.Агабян, Р.А.Захарян, О.Я.Давтян, Биол. журн. Армении, т.49, №1-2, с.26-30 (1996).
- <sup>2</sup> А.С.Агабян, Р.А.Захарян, А.П.Макарян и др., ДНАН Армении, т.96, №1, с.62-64 (1996).
- <sup>3</sup> А.С.Агабян, Л.А.Рухкян, Р.А.Захарян, ДАН АрмССР, №2, с.93-96 (1989).
- <sup>4</sup> А.С.Агабян, Л.У.Назаров, Э.Б.Акопян и др., ДАН АрмССР, №3, с.173-177 (1993).
- <sup>5</sup> А.С.Логинов, Е.Д.Макарьева, М.А.Туманян и др., Бюлл.эксп. биол.медицины, №1, с.85-86 (1990).
- <sup>6</sup> М.А.Туманян, А.С.Логинов, Журн.эксп. и клин.медицины, т.28, с.338-343 (1988).
- <sup>7</sup> Г.Фримель, в кн.: Иммунологические методы, М., Медицина, с.390-420, 1987.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.827:612 82

В. Л. Закарян

**Компьютерная реконструкция вестибулярных ядер лягушки**

(Представлено академиком НАН Армении В. В. Фанарджяном 27/IV 1998)

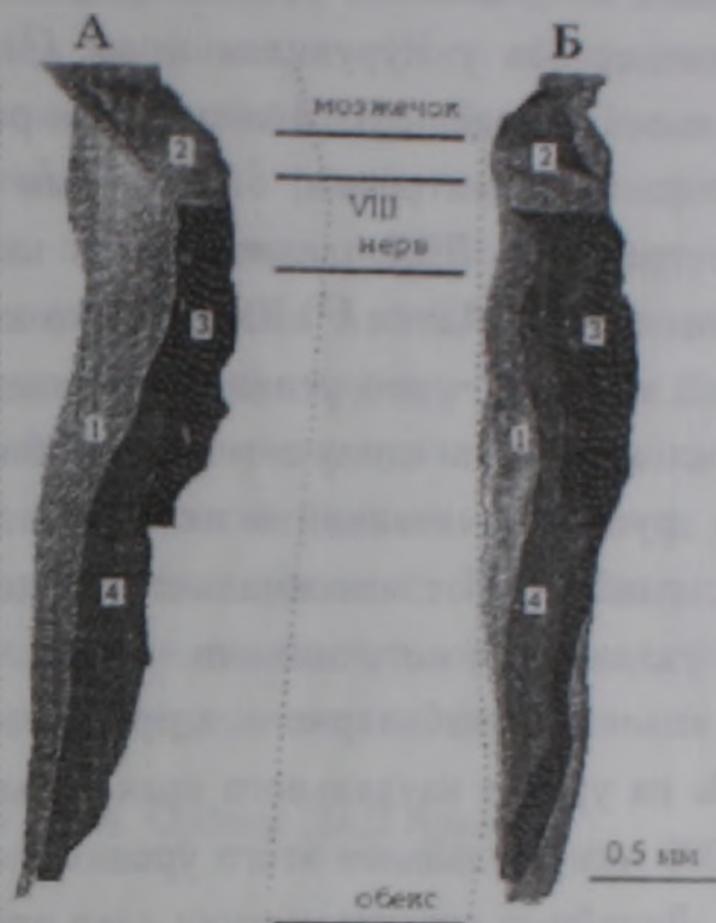
Создание компьютерной модели вестибулярного комплекса лягушки является первым этапом на пути решения задачи структурно-функциональной корреляции вестибулоспинальной деятельности и обеспечения точной области проецирования афферентов из спинного мозга в реконструированные ядра. Окончательный ответ на этот вопрос должна дать электрофизиологическая топография реконструированных областей, наложенная на модель. Последняя может представить интерес, поскольку является базой для последующих работ по исследованию областей вестибулярного комплекса при цитохимической обработке, применении метаболических маркеров и других методов определения границ ядерных структур в мозге (<sup>1</sup>). Предложенная модель может служить стандартной моделью для последующих морфометрических, гистологических и иммунохимических исследований в вестибулярных ядрах.

Модель разработана на основе гистологических срезов ствола мозга *Rana esculenta*, окрашенных по методу Ниссля. Следующие основные структуры включены в модель: ствол мозга, медиальное вестибулярное ядро (МВЯ), латеральное вестибулярное ядро (ЛВЯ), нисходящее вестибулярное ядро (НВЯ), переднее вестибулярное ядро (ПВЯ). Вспомогательными структурами, включенными в модель для сравнительного месторасположения вестибулярных ядер и других компонентов мозга, являются: дорсальное ядро, каудальное ядро (КЯ), тройничное моторное ядро (V), моторное ядро отводящего нерва (VI), моторное ядро лицевого нерва (VII), языкоглоточное моторное ядро (IX), моторное ядро блуждающего нерва (X), подъязычное моторное ядро (XII), солитарный тракт (СТ), ядро мозжечка. В отличие от существующих подходов (<sup>2,3</sup>), граница ствола мозга была определена лежащей над эпителиальными клетками. Это определение обусловило наличие полосы – хотя и очень тонкой в модели, но отсутствующей в вышеуказанных источниках – между латеральной границей ствола мозга и медиальной границей МВЯ. Мозжечок,

краниальные нервы и сосудистое сплетение четвертого желудочка не были включены в реконструированную модель. Нижняя медиальная борозда (НМБ) была принята прямой и установлена в качестве росто-каудальной оси (оси реконструирования) в модели (см. ниже). На рисунке представлены основные вестибулярные ядра ствола мозга, отмеченные цифрами 1, 2, 3 и 4 для МВЯ, ПВЯ, ЛВЯ и НВЯ, соответственно.

Точность реконструирования определялась тремя основными факторами: допущением о прямой оси реконструирования, погрешностью работы оператора и фактором относительной сжимаемости срезов препарата. Первый фактор может оказывать влияние только в дорсо-вентральном направлении и оценивается равным 1,2% от общей росто-каудальной протяженности модели. Погрешность работы оператора, картографирующего компоненты модели с гистологических срезов, включая единичные случаи экстраполяции поврежденных участков некоторых срезов, колебались от 5,5% для измерений малых по размеру областей (например, для моторного ядра блуждающего нерва) и до 0,1% для крупных образований (для ствола мозга). Иногда наблюдался феномен относительной сжимаемости соседних срезов, т.е. в результате гистологической и механической обработки некоторые срезы сжимались заметно больше, чем другие. В результате описанного явления потери точности в площади областей оцениваются в 3,5%. Абсолютная сжимаемость препарата, определенная как средняя сжимаемость срезов гистологического препарата относительно препарата *in vitro*, может быть легко устранена путем обработки в доступных пакетах автоматизированного проектирования.

Модель вестибулярных ядер ствола мозга, призванная служить базой для дальнейшего пополнения информацией о координатах клеток, дендритных образований или других нейронных структур, должна обеспечить систему координат, удобную для последующего ввода информации и независимую от уровня срезов. С другой стороны точность реконструкции требует соблюдения нелинейности естественных структур ствола мозга, потому что от способа наложения срезов зависит точность модели в направлении реконструкции и направлениях ортогональных векторов. Идеально точной реконструкцией явилось бы наложение срезов вдоль одной из естественных нелинейных структур ствола мозга. Однако созданная таким образом модель обладала бы недостатком – нелинейность оси обусловила бы разные начала системы координат для разных срезов. Допущение о линейности НМБ позволило избежать этого и обеспечить удобную систему отсчета. Процентное соотношение максимального колебания естественной линии НМБ в дорсо-вентральном направлении к ее дорсо-вентральной протяженности было подсчитано в течение реконструкции с горизонтальных срезов и составило 1,2%.



Компьютерная реконструкция вестибулярного комплекса у лягушки *Rana esculenta*. А – вид с дорсальной стороны, Б – вид с латеральной стороны. В rostro-каудальном направлении указаны задний полюс мозжечка, место входа VIII нерва и обекс.

Границы правой половины ствола мозга указаны пунктирной линией.

Процесс реконструкции происходил на основе серии горизонтальных и поперечных срезов ствола мозга с интервалом 60 мкм. Первоначально горизонтальные срезы были проанализированы с целью выбора наиболее подходящей rostro-каудальной оси реконструкции поперечных срезов. Точкой отсчета плоской системы координат для срезов была выбрана точка пересечения НМБ и плоскости среза (средняя дорсальная точка срезов).

Реконструкция и сопоставление узловых срезов были произведены, руководствуясь классическим атласом Кемали и Брайтенберга (4) и описанием вестибулярных ядер у Матец (3) и Курувилла и др. (2). Базовыми ориентирами считались каудальный край мозжечка, ростральный и каудальный края восьмого нерва и обекс (см. рисунок). По атласу Кемали и Брайтенберга (4) расстояние от обекса до нулевой точки (поверхностная метка, треугольник между полушариями покрышек и мозжечком) равно 3,84 мкм. По данным гистологических срезов это расстояние было 3,87 мкм. Так как соотношение этих чисел близко к 1, для удобства дальнейшего сравнения та же нулевая точка была принята и в модели. Так как ядра восьмого нерва не идентифицированы в атласе детально, особенных разногласий не возникло. Исключение составила идентификация каудального ядра восьмого нерва в модели, представленного в атласе как дорсальное. Описание этого ядра приводится у Опдама и др. (5) в более поздней работе, где оно названо *nucleus caudalis octavi nervi* и идентифицировано на основании месторасположения, плотности

клеток и аркоподобного очертания на уровне каудальнее восьмого нерва. Из шести представленных срезов у Курувилла и др. (2) в двух были найдены расхождения с моделью. По модели ПВЯ начинается ростральнее, а СТ – каудальнее. По сравнению со структурами, описанными у Матец (3), в модели МВЯ начинается ростральнее, ЛВЯ заканчивается каудальнее подъязычного моторного ядра. Кроме того, у Матец (3) КЯ описано как часть МВЯ. Главный вывод сравнительного анализа – это успешное приведение описаний границ структур у различных авторов в единую модель с более корректным описанием границ ядер и других образований и их относительного расположения. Сделанные малые поправки имеют максимальное расхождение в не более 100 мкм по сравнению с указанными источниками.

Сравнительный анализ вестибулярного ядерного комплекса у *Rana esculenta* и *Rana ridibunda* на уровне каудального края восьмого нерва, 500 мкм ростральнее и 500 и 1000 мкм каудальнее этого уровня, показал полное структурное совпадение ядер. Линейные характеристики ядер представлены в таблице.

**Протяженность вестибулярных ядер лягушки (*Rana esculenta*)  
в трехмерных координатах**

| Вестибулярное<br>ядро | Протяженность в микронах |                   |                   |
|-----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
|                       | ростро-каудальная        | вентро-дорсальная | медио-латеральная |
| Переднее              | 540                      | 492               | 641               |
| Медиальное            | 3249                     | 529               | 661               |
| Латеральное           | 1260                     | 517               | 418               |
| Нисходящее            | 2820                     | 544               | 516               |

У млекопитающих вестибулярные ядра подразделяются на те же основные структуры, указанные в модели. У *mongolian gerbil*, описанной у Парка (6), переднее и латеральное вестибулярные ядра сравнимы по размерам и отчетливо разграничены друг от друга, тогда как у лягушки наблюдается плавный переход одного ядра в другое, видимо, обусловленный ее низким рангом в эволюционном ряду. Гораздо более существенны различия с моделью вестибулярного комплекса человека, где подобные исследования были проведены с целью выявления структурных различий (так и не найденных) у пациентов с *vertigo* и здоровых людей (7). Доминирует относительное представительство МВЯ, тогда как ЛВЯ является самым коротким ядром, нижнее ВЯ (аналог НВЯ у лягушки) занимает ту же область между МВЯ и ЛВЯ, и ПВЯ имеет сходную ориентацию вдоль ростро-каудального направления.

Различные алгоритмы были предложены для наилучшего воссоздания поверхности на основе плоскостных сечений твердых тел (8). Важность успешного решения этой задачи отражается на последующей визуализации реконструированного тела. В работе использованы коммерческие программы системы автоматизированного проектирования с алгоритмами многошагового адап-

тивного генерирования поверхностей. Данные с гистологических срезов были оцифрованы при помощи морфометрического оборудования со световым микроскопом и программным и техническим обеспечением для трассировки границ различных областей. "Сырой" формат выходных файлов системы в дальнейшем обрабатывался при помощи разработанной программной процедуры ввода данных в оболочку программы AutoCAD, посредством которой создавались уровень-специфичные части структур модели. Достигнутый формат и программа AutoCAD позволяют проводить оперирование как со всей моделью, так и с ее компонентами, а также дают возможность работы с моделью на определенных роство-каудальных уровнях. Дальнейшее инженерное развитие модели видится в создании ее твердотельной модели, что позволит воспроизвести сечения модели в различных плоскостях.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН Армении

#### Վ. Լ. ՉԱՔԱՐՅԱՆ

##### Գորտի վեստիբուլյար կորիզների համակարգչային վերակառուցում

Ստեղծված է գորտի ուղեղաբնի չորս վեստիբուլյար կորիզների՝ ըստ անատոմիական նկարագրության, երեքչափանի համակարգչային մոդելը: Մշակված են համակարգչային միջոցներ մոդելի ստեղծման և զարգացման համար, որոշված են արտաքին հենակետեր (VIII նյարդի մուտք, ուղեղիկի պոչային հատված), կորորդինատների սկզբնակետ և մասշտաբային գործոններ: Կատարված է համեմատություն տարբեր տեսակի գորտերի և կենդանիների միջև: Ստեղծված երեքչափանի համակարգչային մոդելը թույլ կտա համեմատել գորտի վեստիբուլյար կորիզների ֆունկցիոնալ և կառուցվածքային չափանիշները հետագա էլեկտրաֆիզիոլոգիական փորձերի և վեստիբուլյար-ողնուղեղային պրոյեկցիոն նեյրոնների տվյալների հետ:

#### ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> M.Gahr, Trends Neurosci., v.20, №2, p.58-62 (1997). <sup>2</sup> A.Kuruvilla, S.Sitko, I.R.Schwartz e.a., Laryngoscope, v.95, p.692-707 (1985). <sup>3</sup> C.Matesz, Neuroscience, v.4, p.2061-2071 (1979). <sup>4</sup> M.Kemali, V.Braitenberg, Atlas of the frog's brain. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, N.Y., 1969. <sup>5</sup> P.Opdam, M.Kemali, R.Nieuwenhuys, J. comp Neurol., v.165, p.307-332 (1976). <sup>6</sup> H.J.Park, H.N.Kim, W.S.Lee, The Korean J. of Otolaryngology, v.36, №5, p.857-860 (1993). <sup>7</sup> W.Briner, F.H.Linthicum, A.J.Gadre, Vest. Res., v.1, p.339-345 (1991). <sup>8</sup> J.-D.Boissonnat, Computer vision, graphics, and image processing, v.44, p.1-29 (1988).

# ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

## ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

|  |     |
|--|-----|
| Գ.Գ.Էմին – <i>Mod</i> կատեգորիայի ժառանգական և ուժեղ խիստ ուղիկայունները .....         | 3   |
| Գ.Գ.Էմին – <i>Mod</i> կատեգորիայի խիստ ուղիկայունների բնութագրումը .....               | 91  |
| Ռ.Վ.Համբարձումյան – Հաստատադիր ներդրման եղանակը ստորաստիկ երկրաչափության մեջ .....     | 185 |
| Վ.Ա.Միրզոյան – Բազմաչափ ծնորդներով կոնեքտիվային էյնշտեյնյան տարածությունների վրա ..... | 265 |

## ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

|  |   |
|--|---|
| Վ.Կ.Բրուտյան, Ա. Ռ. Բադալյան – Մասնակի ածանցյալներով պարարտիկ հավասարումով նկարագրվող կառավարելի համակարգի ասիմպտոտիկ կայունությունը ..... | 9 |
|--|---|

## ՀԱՇՎ ՈՂԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

|   |    |
|---|----|
| Հ.Բ.Ներսիսյան – Պարամետրական մոտարկում և նրա որոշ կիրառություններ .....                     | 23 |
| Հ.Բ.Ներսիսյան, Ա.Վ.Պողոսյան, Կ.Պ.Սահակյան – Փաթեթի տիպի հավասարումների թվային լուծում ..... | 96 |

## ԻՆՖՈՐ ՄԱՏԻԿԱ

|   |     |
|---|-----|
| Մ.Ե.Հայրությունյան – Կապակցված կոդավորումով փոխազդող կապուղու մասին .....   | 102 |
| Կ.Բ.Համբարձումյան, Չ.Ա.Գալստյան, Հ.Ե.Կարապետյան, Գ.Հ.Սադաթյան, Կ.Վ.Շահբազյան – Հարահոսի կայունության փորձարկման ալգորիթմը և նրա ծրագրային իրականացումը <i>Microsoft Visual C++</i> լեզվով ..... | 108 |

## ՄԵԽԱՆԻԿԱ

|   |     |
|---|-----|
| Ա.Մ.Սիմոնյան, Ն.Տ.Սուքոյան – Թելիկային կոմպոզիտներից պատրաստված փաթեթների ջերմային ընդարձակման հետազոտությունը .....  | 30  |
| Ռ.Ս.Գևորգյան, Դ.Պ.Պետրոսյան, Մ.Գ.Հասարթյան – Գլանային թաղանթների եզրային խնդիրների ասիմպտոտիկ լուծումների կիրառությունը մեխանամասերի նստեցման քննարկման մաշվածի ներդիրային եղանակով նվազեցման տեսական հիմնավորման մեջ ..... | 112 |
| Վ.Յ.Գնունի – Թաղանթների և սալերի նախնական յարումների որոշման մասին .....  | 118 |
| Մ.Ա.Չաղոյան – Հարումների կենտրոնացման խնդիրը վերջավոր դեֆորմացիաների ժամանակ .....  | 269 |

## ՀԻՂՐՈՍԵԽԱՆԻԿԱ

|  |    |
|--|----|
| Յու.Լ.Ջավադյան, Ս.Ս.Ղազարյան – Արարատյան հարթավայրի ստորերկրյա ջրերի ֆիլտրացիոն եզրային խնդիրների վերաբերյալ ..... | 37 |
|--|----|

## ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

|   |     |
|---|-----|
| Վ.Ս.Տոնոյան, Ս.Ա.Մելքունյան, Ա.Ժ.Գրիգորյան – Ուղղահայաց համառանցի վերջավոր և կիսաանվերջ ճեղքերով թուլացվող օրթոտրոպ առածգական կիսահարթության համար ոչ համաչափ կոնտակտային խնդիր .....   | 274 |
| Դ.Յա.Բարձուկաս, Ա.Ի.Չոբնին <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Բ.Ա.Կուրյայան</span> – Առածգականության տեսության եզրային խնդիրների լուծման ժամանակ օգտագործվող կոնտորովիչ-Լ.Երեմյանի տիպի ընդհանրացված ինտեգրալ ձևափոխություն ..... | 280 |

## ԷԼԵԿՏՐԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

|  |     |
|--|-----|
| Ս.Ա.Մելքունյան – Կիսաանվերջ ուղղահայաց ճեղքով թուլացված պիեզակերամիկական կիսահարթության համաչափ կոնտակտային էլեկտրաառածգականության խնդիր ..... | 44  |
| Ս.Ա.Մելքունյան – էլեկտրաառածգականության առանցքահամաչափելի ինդուկցիոն խրնդիրը պիեզակերամիկական տարածության համար .....                          | 286 |

## ՖԻԶԻԿԱ

|   |     |
|---|-----|
| Վ.Մ.Հարությունյան, Կ.Բ.Մաթևոսյան – էլեկտրալուծման քիմիայի վարիզոնային կիսահաղորդիչներում ոչ հիմնական լիցքակիրների երկկողմանի ինժեկցիայի բարձր մակարդակի դեպքում ..... | 52  |
| Վ.Հ.Ջրբաշյան – Ալգորիտմ Դ.Ի.Մենդելեևի աղյուսակի համար .....   | 123 |
| Գ.Ս.Աղաբաբյան – Կիսահաղորդչային գազային տվիչի հաղորդականության սուբգծային կախվածությունը գազի ճնշումից .....  | 124 |

|  |     |
|--|-----|
| Գ.Ս.Սահակյան, Է.Վ.Չուբարյան – Նեյտրոնային աստղերի ֆիզիկա .....   | 209 |
| Դ.Մ.Սեդրակյան, Է.Վ.Չուբարյան – Պտտվող գերխիտ կոնֆիգուրացիաներ .....  | 227 |
| Ա.Ռ.Մկրտչյան, Խ.Վ.Զոբանջյան – Համբարձումյանի ինվարիանտության սկզբունքի կիրառումը պինդ մարմնում ճառագայթման տեղափոխման խնդիրներում .....  | 233 |
| Ռ.Ն.Բալասանյան, Ա.Ս.Հովհաննեսյան, Ա.Ս.Թառումյան – $\alpha$ -LFC <sub>3</sub> բյուրեղների աճեցման համար պատրաստված լուծույթների ուսումնասիրությունը .....                                       | 291 |
| Ռ.Ա.Ալանակյան – Հիգսի բոզոնների ծնումը ֆոտոնների հետ $\mu\mu$ – արագացուցիչներում .....  | 296 |
| Դ.Մ.Սեդրակյան, Ա.Ժ.Խաչատրյան – Ռեկուրբենտ առնչություններ միաչափ պոտենցիալ դաշտում էլեկտրոնի ցրման խնդրում .....  | 301 |
| <b>ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ</b>  |     |
| Ն.Բ.Ենգիբարյան, Ա.Խ.Խաչատրյան, Մ.Հ.Մուրադյան – Համբարձումյանի հավասարումը և նրա կիրառությունները .....   | 197 |
| <b>ԱՍՏՂԱՖԻԶԻԿԱ</b>   |     |
| Է.Ե.Խաչիկյան – Գալակտիկաների միջակների ակտիվության Համբարձումյանի թեզի մասին .....   | 239 |
| Լ.Վ.Սիրզոյան, Է.Ս.Պարսամյան – Բունկվող աստղերն աստղակույտերում և աստղափյուռուներում .....  | 248 |
| Հ.Ա.Հարությունյան, Ա.Գ.Նիկողոսյան – Սպեկտրալ գծերի առաջացումն արագությունների կամայական գրադիենտով մթնոլորտում .....   | 254 |
| Ա.Լ.Գյուլբուդաղյան – Տրապեցիայի տիպի համակարգերի մասին .....   | 259 |
| <b>ԱՍՏՂԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ</b>   |     |
| Պ.Մ.Հերունի – Նախապատմական ֆարե աստղադիտարան՝ Քարահունջ – Քարենիչը .....   | 307 |
| <b>ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ</b>  |     |
| Գ.Ա.Կարդաշյան – Ֆեռոմագնիսական նյութերի կոերցիտիվ ուժի և մնացորդային մագնիսական ինդուկցիայի որոշումը փոփոխական մագնիսական դաշտում .....  | 132 |
| Գ.Ա.Կարդաշյան – Ֆեռոմագնիսական նյութերի մագնիսական թափանցելիության որոշումը .....  | 329 |
| <b>ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱ</b>  |     |
| Ա.Մ.Բարխուդարյան, Ա.Հ.Բարլոյան, Հ.Ս.Մակարյան – Հեղուկի ոչ ստացիոնար շարժումը պոմպային սարքավորման խողովակաշարում .....   | 137 |
| Ս.Մ.Ղազարյան, Ս.Ս.Ղազարյան – Ներքին ջրատար շերտից չրհանման դեպքում բազմաշերտ ֆիլտրացիոն միջավայրի հորատանցքերի գծային շարժի հաշվարկը .....   | 335 |
| <b>ՄԻԿՐՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ</b>  |     |
| Մ.Ժ.Ղուլինյան – էլեկտրոն-իոնոչային զույգերի գեներացիայի ֆունկցիայի տեսի ազդեցությունը կրկնակի ներարկման պայմաններում աշխատող վարիզոնային կառուցվածքում գրգռվող ֆոտոլյումինեսցենցիայի վրա ..... | 340 |
| <b>ԱՎՏՈՍԱՏԻԿԱ</b>  |     |
| Է.Վ.Ղազարյան, Մ.Զ.Բաղդասարյան – Պետրիի ցանցը տեխնոլոգիական օբյեկտների մոդելավորման խնդրում .....   | 347 |
| <b>ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ</b>   |     |
| Յու.Ա.Գասպարյան – Ավտոճանապարհների ծածկերի տեխնիկական ախտորոշումը ռեզոնանսային եղանակով .....  | 142 |
| Յու.Ա.Գասպարյան – Ավտոճանապարհների բետոնե ծածկերի տեխնիկական ախտորոշումը ակուստիկ եղանակով .....   | 352 |
| <b>ՍԵՅՍՄՈԼՈԳԻԱ</b>   |     |
| Ռ.Հ.Մովսիսյան – Երկրաշարժերի գեոդեզիական դեֆորմացիոն նախագուշակ .....  | 149 |

**ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ**

Ջ.Ա.Միքայելյան, Վ.Ժ.Արծրունի, Ն.Օ.Գյուլյան, Հ.Գ.Խաչատրյան – *Քայլումի էֆստրակցին-արսոթրքցիամետրական որոշումը չեզոք կարմիր հիմնային ներկանյութով* ..... 158

**ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ**

Կ.Գ.Իսախանովա, Վ.Ն.Վերբենկո, Ժ.Ա.Կծոյան, Ն.Ն.Սարգսյան, Կ.Գ.Ղարապյոզյան, Ի.Վ.Վարդերեսյան – *S. derby K89-ից pSD 89Sm' պլազմիդայով տրանսֆորմացված Salmonella derby և Escherichia coli բակտերիալ բջիջների ռադիոզգայնության փոփոխությունը* ..... 57

Ն.Ն.Սարգսյան, Ա.Վ.Ասոյան, Ժ.Ա.Կծոյան, Վ.Յու.Հարությունյան, Ջ.Հ.Գևորգյան, Կ.Գ.Ղարապյոզյան – *Կլինիկական նյութից անջատված Salmonella ցեղի բակտերիաների զգայնությունը հակաբակտերիալ դեղամիջոցների նկատմամբ* ..... 61

Ա.Ջ.Փեփոյան, Մ.Ա.Բալայան, Գ.Գ.Բադալյան, Կ.Գ.Ղարապյոզյան – *Salmonella derby ոչ պլազմիդային ռադիոռեզիստենտ բջիջների որոշ առանձնահատկությունների մասին* ..... 65

Լ.Հ.Հակոբյան – *էնդոկրին պանկրեացիտների պրոլիֆերացիայի ու ֆանակի կինետիկական առնետների մոտ հարուցված սուր պանկրեատիտի զարգացման ընթացքում և նատրիումի թիոսուլֆատի ազդեցությունը նրա վրա* ..... 161

**ԷԿՈԼՈԳԻԱ**

Ռ.Հ.Ռեսազյան – *Քիմիական տարրերի կենսաերկրաֆիզիկական ցիկլայնությունը և էկոհամակարգերի կայունության պրոբլեմը* ..... 357

**ԲԺՇԿԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ**

Ա.Ս.Աղաբալյան, Ա.Մ.Աղավելյան, Օ.Յ.Դավթյան, Մ.Պ.Մակարյան, Ա.Ս.Հակոբյան, Կ.Գ.Ղարապյոզյան – *Ցածրմոլեկուլային ՌՆԹ-ի կիրառումը հետվիրահատական բարդությունների պրոֆիլակտիկայի համար* ..... 166

Ա.Ս.Աղաբալյան, Մ.Հ.Թումանյան, Ռ.Ս.Չաքարյան, Կ.Գ.Ղարապյոզյան – *Վերականգնողական գործընթացների ստիմուլյացիան փորձնական հեպատիտի ժամանակ* ..... 363

**ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ**

Ռ.Ա.Հարությունյան, Ռ.Գ.Քոչարյան, Ա.Շ.Անտոնյան, Լ.Ա.Ասատուրյան – *Բարձրագույն նյարդային գործունեության տարրեր տիպերի ոչխարների ջերմակարգավորման առանձնահատկությունները* ..... 70

Ռ.Ա.Հարությունյան, Զ.Ռ.Հարությունյան, Ս.Շ.Մարտիրոսյան, Ա.Վ.Ոսկանյան – *Օձի թույնի ազդեցությունը օրգանիզմի ջերմային հոմեոստազի կարգավորման վրա* ..... 74

Զ.Վ.Ղազարյան, Ա.Ս.Տիրայան, Ս.Ա.Մարկոսյան, Ռ.Ռ.Հակոբյան – *Ծովախոզուկի միզածորանի տարրեր հատվածների պեյսմեկերային ակտիվության համեմատական բնութագիրը* ..... 78

Ա.Ռ.Սարգսյան, Հ.Հ.Մկրտչյան, Ա.Ա.Մելքոնյան – *Նեյրոնի' համաձայնեցված բեռնվածքով կաբելային մոդելի պարամետրերի բացահայտման մեթոդ* ..... 82

Լ.Ռ.Մանվելյան, Ա.Մ.Նատոյան, Վ.Բ.Ֆանարջյան – *Գորտի անդաստակային կորիզների նեյրոնների պատասխանները հակընթաց և ուղղընթաց ակտիվացման ժամանակ* ..... 170

Ռ.Ա.Հարությունյան, Զ.Ռ.Հարությունյան, Ս.Շ.Մարտիրոսյան, Ա.Վ.Ոսկանյան – *Օրգանիզմի ջերմակարգավորման մեխանիզմների վրա օձերի և մեղունների թույների ազդեցության համեմատական վերլուծությունը* ..... 175

Վ.Լ.Չաքարյան – *Գորտի վեստիբուլյար կորիզների համակարգչային վերակառուցում* ... 367

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

|   |     |
|---|-----|
| <i>Г.Г.Эмин</i> – Наследственные и сильные строгие радикалы категории Mod . . . . .               | 3   |
| <i>Г.Г.Эмин</i> – Характеризация строгих радикалов категории Mod . . . . .                        | 91  |
| <i>Р.В.Амбарцумян</i> – Инвариантное вложение в стохастической геометрии . . . . .                | 185 |
| <i>В.А.Мирзоян</i> – Конусы с многомерными образующими над эйнштейновыми пространствами . . . . . | 265 |

### ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

|   |   |
|---|---|
| <i>В.К.Брутян, А.Р.Бадалян</i> – Асимптотическая устойчивость управляемых систем, описываемых параболическим уравнением с частными производными . . . . . | 9 |
|---|---|

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

|   |    |
|---|----|
| <i>А. Б. Нерсисян</i> – Параметрическая аппроксимация и некоторые ее применения . . . . .             | 23 |
| <i>А.Б.Нерсисян, А.В.Погосян, К.П.Саакян</i> – Численное решение уравнений сверточного типа . . . . . | 96 |

### ИНФОРМАТИКА

|  |     |
|--|-----|
| <i>М.Е.Арутюнян</i> – Об интерференционном канале с коррелированным кодированием . . . . .   | 102 |
| <i>К.Б.Амбарцумян, З.А.Галстян, А.Е.Карапетыан, Г.Г.Мадатян, К.В.Шахбазян</i> – Алгоритм стабилизационного эксперимента для произвольного конвейера и его программная реализация на языке Microsoft Visual C++ . . . . . | 108 |

### МЕХАНИКА

|   |     |
|---|-----|
| <i>А.М.Симонян, Н.Т.Сукоян</i> – Исследование теплового расширения пакетов из волокнистых композитов . . . . .  | 30  |
| <i>Р.С.Геворкян, Д.П.Петросян, М.Г.Асратян</i> – Применение асимптотических краевых задач цилиндрических оболочек к теоретическому обоснованию уменьшения износа посадочных отверстий корпусных деталей машин с помощью колец-вкладышей . . . . . | 112 |
| <i>В.Ц.Гнуни</i> – Об определении начальных напряжений в пластинках и оболочках . . . . .   | 118 |
| <i>М.А.Задоян</i> – Задача концентрации напряжений при конечных деформациях . . . . .   | 269 |

### ГИДРОМЕХАНИКА

|  |    |
|--|----|
| <i>Ю.Л.Джавадян, С.С.Казарян</i> – О фильтрационных краевых задачах вод Араратской равнины . . . . . | 37 |
|--|----|

### ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

|   |     |
|---|-----|
| <i>В.С.Тоноян, С.А.Мелкумян, А.Ж.Григорян</i> – Несимметричная контактная задача для упругой ортотропной полуплоскости, ослабленной вертикальными соосными конечным и полубесконечным разрезами . . . . . | 274 |
| <i>Д.Я.Бардзокас, А.И.Зобнин, Б.А.Кудрявцев</i> – Обобщенное интегральное преобразование типа Конторовича-Лебедева, используемое при решении граничных задач теории упругости . . . . .                   | 280 |

### ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

|   |     |
|---|-----|
| <i>С.А.Мелкумян</i> – Симметричная контактная задача электроупругости для пьезокерамической полуплоскости с вертикальным полубесконечным разрезом . . . . . | 44  |
| <i>С.А.Мелкумян</i> – Осесимметричная индукционная задача электроупругости для пьезокерамического полупространства . . . . .                                | 286 |

### ФИЗИКА

|   |    |
|---|----|
| <i>В.М.Арутюнян, К.Б.Матевосян</i> – Электролюминесценция в варизонных структурах с двойной инжекцией при высоком уровне инжекции неосновных носителей заряда . . . . . | 52 |
|---|----|

|   |     |
|---|-----|
| <i>В.А.Джрбашян</i> – Алгоритм для таблицы Д.И.Менделеева . . . . .   | 123 |
| <i>Г.С.Агабабян</i> – Сублинейная зависимость проводимости полупроводникового газового сенсора от давления газа . . . . .                                 | 124 |
| <i>Г.С.Саакян, Э.В.Чубарян</i> – Физика нейтронных звезд . . . . .  | 209 |
| <i>Д.М.Седракян, Э.В.Чубарян</i> – Вращающиеся сверхплотные конфигурации . . . . .  | 227 |
| <i>А.Р.Мкртчян, Х.В.Котанджян</i> – Применение принципа инвариантности Амбарцумяна к задачам переноса излучения в твердых телах . . . . .                 | 233 |
| <i>Р.Н.Баласанян, А.С.Оганесян, А.С.Тарумян</i> – Исследование растворов, приготовленных для выращивания кристаллов $\alpha$ -LiIO <sub>3</sub> . . . . . | 291 |
| <i>Р.А.Аланакян</i> – Рождение хиггсовских бозонов с фотонами в $\mu\mu$ столкновениях . . . . .  | 296 |
| <i>Д.М.Седракян, А.Ж.Хачатрян</i> – Рекуррентные соотношения для задачи рассеяния электрона на одномерном потенциале . . . . .                            | 301 |
| <b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА</b>  |     |
| <i>Н.Б.Енгибарян, А.Х.Хачатрян, М.Г.Мурадян</i> – Уравнение Амбарцумяна и его применения . . . . .  | 197 |
| <b>АСТРОФИЗИКА</b>  |     |
| <i>Э.Е.Хачикян</i> – О концепции Амбарцумяна об активности ядер галактик . . . . .  | 239 |
| <i>Л.В.Мирзоян, Э.С.Парсамян</i> – Звездные вспышки в звездных скоплениях и ассоциациях . . . . .   | 248 |
| <i>Г.А.Арутюнян, А.Г.Никогосян</i> – Образование спектральных линий в атмосфере с произвольным градиентом скоростей . . . . .                             | 254 |
| <i>А.Л.Гюльбудагян</i> – О системах типа Трапеции Ориона . . . . .  | 259 |
| <b>АСТРОНОМИЯ</b>   |     |
| <i>П.М.Геруни</i> – Доисторическая каменная обсерватория Карахундж-Карениш . . . . .  | 307 |
| <b>ЭЛЕКТРОТЕХНИКА</b>   |     |
| <i>Г.А.Кардашян</i> – Определение коэрцитивной силы и остаточного магнетизма в переменном магнитном поле . . . . .  | 132 |
| <i>Г.А.Кардашян</i> – Определение магнитной проницаемости ферромагнетиков . . . . .   | 329 |
| <b>ГИДРАВЛИКА</b>   |     |
| <i>А.М.Бархударян, А.А.Баблоян, Г.С.Макарян</i> – Нестационарное движение жидкостей в трубопроводах насосной установки . . . . .                          | 137 |
| <i>С.М.Казарян, С.С.Казарян</i> – Расчет линейного ряда скважин в многослойной фильтрующей среде при откачке из нижнего водоносного горизонта . . . . .   | 335 |
| <b>МИКРОЭЛЕКТРОНИКА</b>   |     |
| <i>М.Ж.Гулинян</i> – Влияние вида функции генерации электронно-дырочных пар на фотолюминесценцию из варизонной структуры с двойной инжекцией . . . . .    | 340 |
| <b>АВТОМАТИКА</b>   |     |
| <i>Э.В.Казарян, М.К.Багдасарян</i> – Сеть Петри в задаче моделирования технологических объектов . . . . .   | 347 |
| <b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ</b>   |     |
| <i>Ю.А.Гаспарян</i> – Техническая диагностика автодорожных покрытий с использованием резонансного метода . . . . .  | 142 |
| <i>Ю.А.Гаспарян</i> – Техническая диагностика бетонных покрытий автодорог с использованием акустического метода . . . . .                                 | 352 |
| <b>СЕЙСМОЛОГИЯ</b>  |     |
| <i>Р.А.Мовсесян</i> – Геодезический деформационный предвестник землетрясений . . . . .  | 149 |

## ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Дж.А.Микаелян, В.Ж.Арцруни, Н.О.Геокчян, А.Г.Хачатрян* – Экстракционно-абсорбциометрическое определение таллия (III) основным красителем нейтральным красным . . . 158

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

- К.Г.Исаханова, В.Н.Вербенко, Ж.А.Кцоян, Н.Н.Саркисян, К.Г.Карагезян, И.В.Вартересян* – Изменение радиочувствительности бактериальных клеток *Salmonella derby* и *Escherichia coli*, трансформированных плазмидой pSD89 Cm<sup>r</sup> из *S. derby* K89. . . . . 57

- Н.Н.Саркисян, А.В.Асоян, Ж.А.Кцоян, В.Ю.Арутюнян, З.У.Геворкян, К.Г.Карагезян* – Чувствительность к ФБ-препаратам бактерий рода *Salmonella*, выделенных из клинического материала . . . . . 61

- А.З.Пепоян, М.А.Балаян, Г.Г.Бадалян, К.Г.Карагезян* – О некоторых особенностях радиорезистентных бесплазменных клеток *Salmonella derby* . . . . . 65

- Л.А.Акопян* – Кинетика пролиферации и численности эндокринных панкреатитов в процессе развития индуцированного острого панкреатита у крыс и воздействие на нее тиосульфата натрия . . . . . 161

## ЭКОЛОГИЯ

- Р.Г.Ревазян* – Биогеохимическая цикличность химических элементов и проблема устойчивости экосистем. . . . . 357

## МЕДИЦИНА

- А.С.Агабалян, А.М.Агавелян, О.Я.Давтян, А.П.Макарян, А.С.Акопян, К.Г.Карагезян* – Применение низкомолекулярной РНК для профилактики послеоперационных осложнений . . . . . 166

- А.С.Агабалян, М.А.Туманян, Р.А.Захарян, К.Г.Карагезян* – Стимуляция восстановительных процессов при экспериментальном гепатите . . . . . 363

## ФИЗИОЛОГИЯ

- Р.А.Арутюнян, Р.Г.Кочарян, А.Ш.Антонян, Л.А.Асатрян* – Терморегуляционные особенности овец разного типа высшей нервной деятельности . . . . . 70

- Р.А.Арутюнян, К.Р.Арутюнян, С.Ш.Мартirosян, А.В.Восканян* – Действие змеиного яда на регуляцию температурного гомеостаза организма . . . . . 74

- К.В.Казарян, А.С.Тиранян, С.А.Маркосян, А.В.Акопян* – Сравнительная характеристика пейсмекерной активности различных областей мочеочника морской свинки . . . . . 78

- А.Р.Саркисян, О.А.Мкртчян, А.А.Мелконян* – Метод определения параметров кабельной модели нейрона при согласованной нагрузке . . . . . 82

- Л.Р.Манвелян, А.М.Насоян, В.В.Фанарджян* – Ответы нейронов вестибулярных ядер лягушки при их антидромной и ортодромной активации . . . . . 170

- Р.А.Арутюнян, К.Р.Арутюнян, С.Ш.Мартirosян, А.В.Восканян* – Сравнительный анализ влияния ядов пчел и змей на терморегуляторные механизмы организма. . . . . 175

- В.Л.Закарян* – Компьютерная реконструкция вестибулярных ядер лягушки. . . . . 367

# CONTENTS

## MATHEMATICS

- G.G. Emin* - The hereditary and the strong strict radicals of the category Mod ..... 3
- G.G. Emin* - The characterization of the strict radicals of the category Mod ..... 91
- R.V. Ambartzumian* - Invariant Imbedding in Stochastic Geometry ..... 185
- V.A. Mirzoyan* - Cones with multi-dimensional generatrices over Einstein spaces ..... 265

## APPLIED MATHEMATICS

- V.K. Brownian, A.R. Badalian* - Asimptotic stability of control systems defined by parabolic equations with distributed parameters ..... 9

## NUMERICAL MATHEMATICS

- A.B. Nersessian* - Parametric approximation and its applications ..... 23
- A.B. Nersessian, A.V. Poghasian, K.P. Sahakian* - Numerical solution of convolution type equations ..... 96

## INFORMATION THEORY

- M.E. Haroutunian* - On interference channel with correlative codification ..... 102
- K.B. Hambarzumyan, Z.A. Galstyan, H.Y. Karapetyan, G.H. Madatyan, K.V. Shachbazyan* - Algorithm of stabilization test for conveyors and its program realization in Microsoft Visual C++ language ..... 108

## MECHANICS

- A.M. Simonian, N.T. Sukojan* - Research of thermal expansion of fiber composites ..... 30
- R.S. Gevorgyan, D.P. Petrosyan, M.G. Hasratyan* - Application of asymptotic solutions of boundary-value problems of cylindrical shells to the theoretical improvement of decreasing wear of holes fit of body details of mashine by means of insert-rings ..... 112
- V.Ts. Gmani* - On determination of plates and shells initial streses ..... 118
- M.A. Zadoyan* - Stress concentration problem for the case of finite strains ..... 269

## HYDROMECHANICS

- U.L. Djavadyan, S.S. Ghazaryan* - On groundwater filtration boundary problems in Ararat valley ..... 37

## THEORY OF ELASTICITY

- V.S. Tonoyan, S.A. Melkounyan, A.Gz. Grigoryan* - An asymmetric contact problem for an elastic orthotropic halfplane, weakened by vertical coaxial final and semi-final cuts ..... 274
- D.Y. Bardzokas, A.I. Zobnin, B.A. Kudryunsev* - Generalize integral transformation of Kantorovich-Labered tyre, applied for solution of boundary problems of the theory of elasticity ..... 280

## THEORY OF ELECTROELASTICITY

- S.A. Melkounyan* - A contact symmetric problem of electrical elasticity for a piezoceramic semi-plane with semi-infinite vertical cracks ..... 44
- S.A. Melkounyan* - An axisymmetric inductive problem of electroelasticity for a piezoceramic half-space ..... 286

## PHYSICS

- V.M. Aroutounian, K.B. Matevosyan* - Electroluminescence in graded-gap structures with double injection at high level of injection ..... 52
- V.A. Dyrhashian* - Algorithms for Mendeleev table ..... 123
- G.S. Aghababian* - Sublinear dependencies of the conductivity of semiconductor gas sensor on the gas pressure ..... 124

|   |     |
|---|-----|
| <i>G.S.Sahakian, E.V.Chubarian</i> – Physics of Neutron Stars (Short review).....   | 209 |
| <i>D.M.Sedrakian, E.V.Chubarian</i> – The Rotating Superdense Configurations .....  | 227 |
| <i>A.R.Morichyan, Kh.V.Kotanjyan</i> – Application of Ambartsumian Principle of Invariance to Problems of Radiation Transfer in Solids .....  | 233 |
| <i>R.N.Balasanjan, A.S.Hovhannesyan, A.S.Tarumyan</i> – The investigation of solution prepared for the growth of $\alpha$ -LiIO <sub>3</sub> crystals .....                           | 291 |
| <i>R.A.Alanakyan</i> – Higgs Bosons Production with Photons at $\mu^+ \mu^-$ Colliders .....  | 296 |
| <i>D.M.Sedrakian, Ash Zh Khachatryan</i> – Recurrent connection for problem of the electron scattering on the one dimensional potential .....   | 301 |
| <b>MATHEMATICAL PHYSICS</b>   |     |
| <i>N.B.Yengiburian, A.Kh.Khachatryan, M.G.Mouradian</i> – On Ambartsumian Equation and its Applications .....   | 197 |
| <b>ASTROPHYSICS</b>   |     |
| <i>E.Ye.Khachikian</i> – On the Ambartsumian's Concept on Activity of Nuclei of Galaxies. ...   | 239 |
| <i>L.V.Mirzoyan, E.S.Parsunian</i> – Flare Stars in Star Clusters and Associations .....  | 248 |
| <i>H.A.Harutyunian, A.G.Nikoghossian</i> – Line Formation in an Atmosphere with Arbitrary Velocity Gradient .....   | 254 |
| <i>A.L.Gyulbudaghian</i> – On Trapezium (in Orion) - Type Systems .....   | 259 |
| <b>ASTRONOMY</b>  |     |
| <i>P.M.Gerovani</i> – Prehistoric stone observatory Carahunge – Curvish stresses .....  | 307 |
| <b>ELECTROTECHNICS</b>  |     |
| <i>G.A.Kardashyan</i> – Definition of co-ercitive force and remanent magnetism of ferromaterials in alternating magnetic field .....  | 132 |
| <i>G.A.Kardashyan</i> – Magnetic permeability measurement for soft magnetic materials ...   | 329 |
| <b>HYDRAULICS</b>   |     |
| <i>A.M.Barkhudaryan, A.H.Babloyan, H.S.Makaryan</i> – Non stationary movement of fluid in pipe run pumping system .....   | 137 |
| <i>S.M.Ghazarian, S.S.Ghazarian</i> – Calculation of wells located in a row for the pali-layer filtration area in a case of pumping of water from downstream layers .....             | 335 |
| <b>MICROELECTRONICS</b>   |     |
| <i>M.Zh.Ghoolimian</i> – The electron-hole pairs generation function's shape's influence the photoluminescence from graded-gap structure operating in the double injection mode ..... | 340 |
| <b>AUTOMATIZATION</b>   |     |
| <i>E.B.Kazarian, M.K.Bahdasaryan</i> – Network Petri in problem of modeling of technological objects .....  | 347 |
| <b>BUILDING CONSTRUCTIONS</b>   |     |
| <i>Yu.A.Gasparyan</i> – Technical diagnostics of road-transport surfacings by resonance method .....  | 142 |
| <i>Yu.A.Gasparyan</i> – Technical diagnostics of concrete road-transport surfacings by acoustic method .....  | 352 |
| <b>SEISMOLOGY</b>   |     |
| <i>R.H.Movsessyan</i> – The geodesic deformational precursor of earthquakes .....   | 149 |

PHYSICAL CHEMISTRY

*J.A.Mikaelian, V.J.Artsruni, N.O.Geokchian, A.G.Khachatrian* – Extraction-absorptio-  
metric determination of thallium (III) by neutral red basic dye ..... 158

MOLECULAR BIOLOGY

*K.G.Isakhanova, V.N.Verbenko, G.A.Ktsoyan, N.N.Sarkisyan, I.B.Varteresyan, K.G.Karageusian* – Change of radiosensitivity in Salmonella derby and Excherichia coli bacterial cells, transforming by pSD89 Cm<sup>r</sup> plasmid from Salmonella derby K89 ..... 57

*N.N.Sarkissian, A.V.Asoyan, Sh.A.Ktsoyan, V.Ju.Harutunian, Z.U.Gevorkian, K.G.Karageusian* – Sensitivity to antibiotal preparations of Salmonella genus bacteria, edered from clinical material. .... 61

*A.Z.Pepoyan, M.A.Balayan, G.G.Badalian, K.G.Karageusian* – About several pecu-  
iarities of plasmidfree radioresistant Salmonella derby cells ..... 65

*L.H.Hakobian* – Kinetics of the proliferation and the quantity of endocrine pancreacytes in the process of development of the induced acute pancreatitis of rats and the influence of sodium thiosulfate on it ..... 161

ECOLOGY

*R.G.Revazyan* – Biogeochemical cycle of chemical elements and the problems of eco-  
systems stability ..... 357

MEDICINE

*A.S.Agabalian, M.A.Aghavelyan, O.A.Davtjan, A.S.Makaryan, A.S.Akhopyan, K.J.Karageosian* – Use of low molecular weight RNA for prophylaxis at post operational complications ..... 166

*A.S.Agabalian, M.A.Tumanian, R.A. Zakarian, K.J.Karageosian* – Stimulation of re-  
toraien process during experimental. .... 363

PHYSIOLOGY

*R.A.Harutunian, R.G.Kocharian, A.Sh.Antonian, L.A.Asaturian* – The termoregulation properties of sheeps different kinds of high nervous activity ..... 70

*R.A.Harutunian, K.R.Harutunian, S.Sh.Martirosian, A.V.Voskanian* – An influence of snake venom on organism's thermal homeostasys regulation ..... 74

*K.V.Kazarian, A.S.Tirayan, S.A.Markossian, R.R.Hakobyan* – Comparativ estimation of guinea pigs ureter different zones of pace-maker activity ..... 78

*A.R.Sarkisyan, H.H.Mkrtchian, A.A.Melkonian* – A method for determination of parameters of the neuron's cable model with matched load ..... 82

*L.R.Mamvelyan, A.M.Nasoyan, V.V.Fanardjian* – Responses of frog vestibular nuclei neurons during antidromic and orthodromic activation ..... 170

*R.A.Haroutuenian, K.R.Haroutuenian, S.Sh.Martirosian, A.V.Voskanian* – Compative analysis of bee and snake venom influence on thermoregulatory mechanisms of organism .... 175

*V.L.Zakarian* – Computer reconstruction of the frog vestibular. .... 367

