

Զ Ե Կ Ո Ւ Յ Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы

Том 95 № 1

1995

Խմբագրական կոլեգիա

Գ. Ա. ԱՐՉՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. թեկ-
նածու (պատ. Բարտողար), Է. Գ. ԱՅ-
ԲԻՆԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս,
Ա. Ա. ԹԱԼԱՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ
ակադեմիկոս, Վ. Ն. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ,
ակադեմիկոս, Վ. Ն. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Հա-
յաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ.
խմբագրի տեղակալ), Գ. Ս. ՍԱՀԱԿՅԱՆ,
Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Գ. Մ.
ՍԻՐԱԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադե-
միկոս (պատ. խմբագիր), Մ. Լ. ՏԵՐ-
ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակա-
դեմիկոս, Վ. Բ. ՖԱՆՈՐՉՅԱՆ, Հայաս-
տանի ԳԱԱ ակադեմիկոս

Редакционная коллегия

В. А. АМБАРЦУМЯН, академик,
Г. А. АРЗУМАНЯН, канд. техн. па-
ук (отв. секретарь), Э. Г. АФРИ-
КЯН, академик ИАН Армения,
В. О. КАЗАРЯН, академик ИАН
Армения (зам. отв. редактора),
Г. С. СААКЯН, академик ИАН Ар-
мения, Д. М. СЕДРАКЯН, академик
ИАН Армения (отв. редактор),
А. А. ТАЛАЛЯН, академик ИАН Ар-
мения, М. Л. ТЕР-МИКАЕЛЯН, ака-
демик ИАН Армения, В. В. ФА-
НАРДЖЯН, академик ИАН Армения

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Վ. Ա. Միրզոյան— Կառուցվածքային թեորեմներ Քլեյբրյան Ric-կիսասիմետրիկ տարածությունների համար 3

Ա. Մ. Կրիզոբյան— Հարթլիի երկչափանի դիսկրետ ձևափոխության վեկտորական ալգորիթմներ 6

Ա. Ս. Հասրաբյան, Ա. Ն. Միրումյան— $K_{\pi, 11}$ լրիվ երկկողմանի գրաֆի կողային ներկումների ձևափոխությունների մասին 10

Ա. Կ. Բաղդասարյան— Լիզորկին-Տրիբլի տիպի տարրեր անիզոտրոպությամբ տարածությունների ինտերպոլյացիա 13

Ա. Ա. Վաղարշակյան— Թաքնված պարբերականությունների ի հայտ բերման խնդրի մասին 16

ԳԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ս. Վ. Շահվերդյան, Ա. Ա. Շահվերդյան— Կառավարող ֆունկցիայի լրիվ փոփոխության սահմանափակմամբ համակարգերի օպտիմալության անհրաժեշտ պայմանները 19

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ա. Ա. Նիզիյան— Որագրավորման լեզուների արամարանական կոնցեպցիա 26

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ն. Ս. Մելիումյան— Կիսաանվերջ ուղղահայաց ձեղթով առաձգական կիսահարթության վրա երկու կոշտ դրոշմների հակահարթ ճնշման մասին 30

ՖԻԶԻԿԱ

Յ. Գ. Սաֆարյան, Գ. Կ. Կեմիրխանյան— էլեկտրոնային գրգռման էներգիայի փոխանակային էլեկտրոն-ֆոնոնային փոխանցումը խառնուրդային դիէլեկտրիկ բյուրեղներում 35

Գ. է. Շահնազարյան, Ա. Կ. Սարգսյան, Մ. Վ. Առաքելյան, Զ. Ա. Քերենբ, Վ. Մ. Հարությունյան— $FeO_{1-x}Zr_x$ կիսահաղորդչային ֆոտոէլեկտրոդների բվանդային էֆեկտիվության հետազոտումը 39

ԲԻՈՖԻԶԻԿԱ

Գ. Ա. Սարիբեկյան, Ա. Ա. Բաջինյան, Տ. Ն. Հարությունյան— Իմունոկարգավորիչ միկրոպիղ ղեղանյութի լիպոսոմալ ձևի ազդեցությունը փորձարարական սուր ճառագայթային հիվանդության ժամանակ 44

Ա. Ս. Հովհաննիսյան, Ա. Ա. Հովհաննիսյան— էրիթրոցիտների հեմոլիզի կինետիկական չափանիշների փոփոխությունը Ca^{2+} — անտագոնիստների ազդեցության ներքո 47

ԲԻՔԻՄԻԱ

Ա. Ա. Սիմոնյան— Առնետի լյարդի միտոքոնդրիումների գործառուժը օրգանիզմի վրա ցածր ջերմաստիճանների, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների և հորմոնների համատեղ ազդեցության դեպքում 51

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ֆ. Ռ. Հարությունյան, Լ. Ա. Սահակովա, Ռ. Ա. Հարությունյան, Զ. Կ. Խաչատրյան— Նորաադրեններգիկ համակարգերի դերը օրգանիզմի ջերմային հոմեոստազի սոմաթոտրոպինային կարգավորման մեջ՝ միջավայրի տարրեր ջերմության պայմաններում 54

Վ. Բ. Ֆանաբեյան, Ի. Վ. Գապոյան, Ս. Վ. Գեորգյան, Վ. Հ. Գոգոսյան— Առնետների տեսաթմբի վեկտորայատերալ կորիզի թայթայման ազդեցությունը վարրեթաց փոխարկումների գործընթացի վրա, ինստրումենտալ ուլտրասունը մշակելիս 58

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- В. А. Мирзоян — Структурные теоремы для калеровых Ric-полусимметрических пространств 3
- А. М. Григорян — Векторные алгоритмы вычисления двумерного дискретного преобразования Хартли 6
- А. С. Асратян, А. Н. Мирумян — О преобразованиях реберных раскрасок полного двудольного графа $K_{n,n}$ 10
- А. Г. Багдасарян — Интерполяция пространств типа Лизоркина—Трибеля с разными анизотропиями 13
- А. А. Вагаршакян — О задаче выявления скрытых периодичностей 16

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ

- С. В. Шахвердян, А. С. Шахвердян — Необходимые условия оптимальности для систем с ограничениями на полное изменение управления 19

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

- С. А. Нигяян — Логическая концепция языков программирования 26

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- Н. С. Мелкумян — Об антиплоском вдавливании двух жестких штампов в упругую полуплоскость с долубесконечным вертикальным разрезом 30

ФИЗИКА

- Ф. П. Сафарян, Г. Г. Демирханян — Обменная электрон-фононная передача энергии электронного возбуждения в примесных диэлектрических кристаллах 35
- Г. Э. Шахназарян, А. Г. Саркисян, В. М. Аракелян, Дж. А. Тернер, В. М. Арутюнян — Исследование квантовой эффективности полупроводниковых фотоэлектродов $Fe_2O_3 \langle Zr \rangle$ 39

БИОФИЗИКА

- Г. А. Сарибекян, С. А. Баджиян, Т. Н. Арутюнян — О действии липосомальной формы иммунокорректирующего препарата миелонид при экспериментальной острой лучевой болезни 44
- А. С. Оганесян, С. С. Оганесян — Изменение кинетических параметров гемолиза эритроцитов в присутствии кальций антагонистов 47

БИОХИМИЯ

- А. А. Сямонян, Р. А. Степанян — Функционирование митохондрий печени крыс при совместном воздействии на организм низкой температуры, ультрафиолетового облучения и гормонов 51

ФИЗИОЛОГИЯ

- К. Р. Арутюнян, Л. А. Саакова, Р. А. Арутюнян, Дж. К. Хачатрян — Роль лорадренергических структур в соматотропической регуляции температурного гомеостаза организма при разных температурах среды 54
- В. В. Фанарджян, Е. В. Папоян, О. В. Геворкян, В. И. Погосян — Влияние разрушения вентролатерального ядра таламуса на процесс переключения нисходящих влияний при выработке инструментальных рефлексов у крыс 58

CONTENTS

MATHEMATICS

- V. A. Mirzoyan — Structure theorems for the kachlerian Ric-semi-symmetric spaces 3
- A. M. Grigorian — Vectorial algorithms of calculation of the two-dimensional discrete Hartley transformation 6
- A. S. Asratian, A. N. Mirumian — On transformations of edge colorings of the complete bipartite graph $K_{n,n}$ 10
- A. G. Bagdassarian — Interpolation of the Lizorkin—Triebel type spaces with different anisotropies 13
- A. A. Vagarshakian — On revealing of hidden periods 16

CONTROL THEORY

- S. V. Shahverdian, A. S. Shahverdian — The necessary conditions of optimality for systems with limitations on full control changes 19

APPLIED MATHEMATICS

- S. A. Nigiyani — Logical conception of programming languages 26

THEORY OF ELASTICITY

- N. S. Melkumian — About anti-flat pressing of two stiff punches an elastic half-plane with a semiterminal vertical crack 30

PHYSICS

- F. P. Safarian, G. G. Demirkhanian — The exchanged electron-phonon transfer of electronic excitation energy in impurity-dielectric crystals 35
- G. E. Shahnazarian, A. G. Sarkissian, V. M. Arakelian, J. A. Turner, V. M. Harutyunian — Study of quantum efficiency of semiconductor photoelectrodes $Fe_2O_3 < Zr >$ 39

BIOPHYSICS

- G. A. Saribekian, S. A. Bajinian, T. N. Harutunian — About of the action of myeloid captured within liposomes during the acute radiation disease 44
- A. S. Oganessian, S. S. Oganessian — Changes of the kinetic parameters of erythrocyte hemolysis by Ca^{2+} -antagonists 47

BIOCHEMISTRY

- A. A. Simonian, R. A. Stepanian — Functional activity of mitochondria of rat liver under joint influence on hypotermia, UV and hormones on the body 51

PHYSIOLOGI

- R. A. Haroutunian, L. A. Sahakova, K. R. Haroutunian, J. K. Khachaturian — The role of noradrenergic structures in somatotropic regulation of organism temperature homeostasis under different temperatures 54
- V. V. Fanardjian, E. V. Papoyan, O. V. Gevorkian, V. I. Pogossian — Influence of the ventrolateral thalamic nucleus lesion on the process of switching of descending influences in operantly conditioned rats 58

ISSN 0321—1339. Доклады НАН Армении. 1995. Т. 95, № 1. с. 1—62.

Сдано в набор 22. 05. 95. Подписано к печати 18. 06. 95

Формат 70×108¹/₁₆. Бумага № 1, сыктывкарская. Высокая печать. Печ. лист. 4,0. Усл. печ. л. 5,6. Усл. кр. отт. 5,6. Учет изд. л. 4,3. Тираж 200. Заказ № 110.

Цена 100 драмов.

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

Издательство Национальной академии наук Армении.

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

Типография Ергосунта. Ереван, Абовяна, 52.

УДК 5 4.76

В. А. Мирзоян

Структурные теоремы для кэлеровых Ріс-полусимметрических пространств

(Представлено чл.-корр. НАН Армении В. С. Захаряном 29/VII 1993)

Как известно, кэлеровым многообразием называется четномерное вещественное многообразие M с комплексной структурой J ($J^2 = -1$), наделенное эрмитовой метрикой g (т. е. римановой метрикой g , обладающей следующим свойством: $g(JX, JY) = g(X, Y)$, причем J является параллельным тензорным полем в римановой связности ∇ на M ($\nabla_X J = 0$ для любого X). С основными фактами и теоремами геометрии кэлеровых пространств можно познакомиться, например, по монографиям ^(1,2).

Цель настоящей работы — распространить на кэлеровы многообразия основные результаты автора ⁽³⁾, полученные для римановых многообразий, удовлетворяющих условию $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$.

Перейдем к более точным определениям и формулировкам.

Риманово многообразие M с римановой связностью ∇ , операторами кривизны $R(X, Y) = \nabla_X \nabla_Y - \nabla_Y \nabla_X - \nabla_{[X, Y]}$ и тензором Риччи R_1 называется Ріс-полусимметрическим, если $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$ для любых касательных к M векторных полей X, Y . Из тождества Риччи $(R(X, Y) \cdot R_1)(Z) = R(X, Y) R_1(Z) - R_1(R(X, Y)Z)$ следует, что условие $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$ равносильно следующему условию: $R(X, Y) \circ R_1 = R_1 \circ R(X, Y)$, т. е. коммутруемости тензора Риччи R_1 со всеми операторами кривизны $R(X, Y)$.

Римановы Ріс-полусимметрические пространства были открыты как обобщения римановых пространств с параллельным тензором Риччи ($\nabla R_1 = 0$) и полусимметрических пространств, характеризуемых условием $R(X, Y) \cdot R = 0$, где R — тензор кривизны. Подробная информация об этих пространствах и библиография содержится в обзорной статье автора ⁽⁴⁾.

Примерами Ріс-полусимметрических пространств являются двумерные римановы пространства, эйнштейновы и полуэйнштейновы пространства. Последние определяются следующим образом. Пусть $x \in M$ — произвольная точка, а $T_x(M)$ — касательное пространство. Подпространство $T_x^{(0)}$ в $T_x(M)$, определенное равенством $T_x^{(0)} = \{X \in T_x(M); R(X, Y) = 0 \forall Y \in T_x(M)\}$, называется пространством дефектности много-

образия M в точке x , а его размерность μ_x — индексом дефектности в этой точке ⁽⁵⁾. Пусть $T_x^{(1)}$ — ортогональное дополнение к $T_x^{(0)}$ в $T_x(M)$. Легко показать, что если $Z \in T_x^{(0)}$, то $R_1(Z) = 0$, а $T_x^{(1)}$ инвариантно относительно операторов $R(X, Y)$ и тензора R_1 . Риманово многообразие M с ненулевым индексом дефектности в каждой точке x называется полуэйнштейновым, если его тензор Риччи R_1 на каждом подпространстве $T_x^{(1)}$ имеет только одно ненулевое собственное значение. В ⁽³⁾ автором была доказана следующая структурная

Теорема 1. Риманово пространство M класса C^∞ является Ric-полусимметрическим тогда и только тогда, когда оно является либо двумерным, либо эйнштейновым, либо полуэйнштейновым, либо произведением (локально) таких пространств.

Для кэлеровых многообразий, удовлетворяющих условию $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$, справедливы следующие теоремы.

Теорема 2. Односвязное полное аналитическое кэлерово многообразие M класса C^∞ удовлетворяет условию $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$ тогда и только тогда, когда оно голоморфно изометрично прямому произведению $M^0 \times M^1 \times \dots \times M^r$ односвязных и полных кэлеровых многообразий M^0, M^1, \dots, M^r , где M^0 — евклидово пространство, а M^1, \dots, M^r — неприводимые римановы пространства, каждое из которых является либо двумерным, либо эйнштейновым, либо полуэйнштейновым.

Теорема 3. Пусть M является односвязным и полным кэлеровым многообразием с ненулевым индексом дефектности и пусть распределение T^0 параллельно. Если M удовлетворяет условию $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$, то оно голоморфно изометрично прямому произведению $M^0 \times M^1 \times \dots \times M^s$ односвязных полных кэлеровых многообразий M^0, M^1, \dots, M^s , где M^0 — евклидово пространство, а каждое из M^1, \dots, M^s является либо неплоским двумерным, либо неприводимым эйнштейновым (в частности, риччи-плоским) пространством с нулевым индексом дефектности. M предполагается аналитическим.

Доказательство теорем 2 и 3 опирается на усиленный вариант теоремы 1, который мы сформулируем в следующем виде.

Теорема 4. Связное, односвязное и полное риманово многообразие M класса C^∞ является Ric-полусимметрическим тогда и только тогда, когда оно изометрично прямому произведению $M^0 \times M^1 \times \dots \times M^s$, где M^0 — евклидово пространство, а M^ψ ($\psi = 1, \dots, s$) — односвязные полные неприводимые римановы многообразия, каждое из которых является либо двумерным, либо эйнштейновым, либо полуэйнштейновым (M — аналитическое).

Армянский государственный
инженерный университет

Վ. Խ. ՄԻՐՉՈՅԱՆ

Կառուցվածքային բեռեմներ և էյնշտայն Ric-կիսասիմետրիկ տարածությունների համար

Ապացուցված է, որ միակապ լրիվ բեյերյան M տարածությունը բավարարում է $R(X, Y) \cdot R_1 = 0$ պայմանին այն և միայն այն դեպքում, երբ նա հոլոմորֆ իզոմետրիկ է M^0, M^1, \dots, M^r միակապ լրիվ բեյերյան տարածությունների $M^0 \times M^1 \times \dots \times M^r$ ուղիղ արտադրյալին, որտեղ M^0 -ն էվկլիդեսյան տարածություն է, իսկ M^1, \dots, M^r -ը՝ անվերածելի տարածություններ են, որոնցից յուրաքանչյուրը կամ երկչափ է, կամ էյնշտայնյան, կամ կիսաէյնշտայնյան:

Դիտարկված է նաև մասնավոր դեպք:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Ш. Кобаяси, К. Нагидзу, Основы дифференциальной геометрии, т. 2, М., Наука, 1981. ² К. Уано, М. Кон, Structures on manifolds, Series in Pure Mathematics, v. 3, World Scientific, 1984. ³ В. А. Мирзоян, Изв. вузов. Математика, № 6, 1992. ⁴ В. А. Мирзоян, Итоги науки и техники. Проблемы геометрии, т. 23, 1991. ⁵ S. S. Chern, N. H. Kuiper, Ann. of Math., v. 56, № 3 (1952).

УДК 517.444

А. М. Григорян

Векторные алгоритмы вычисления двумерного
 дискретного преобразования Хартли

(Представлено чл.-корр. НАН Армении А. Б. Нерсисяном 10/VIII 1993)

Рассматривается метод вычисления двумерного дискретного преобразования Хартли (ДДПХ), основанный на векторном представлении. Получены алгоритмы, которые эффективнее известных алгоритмов Брейсуэлла (1), а также алгоритма Бауссакта и Холта (2).

Пусть $f = \{f_{n,m}\}$ произвольная двумерная последовательность на квадратной решетке размерами $N \times N$, $X_{N,N} = \{(p, s); p, s = 0 \div N-1\}$, где $N > 1$ целое. ДДПХ последовательности f в каждом отсчете $(p, s) \in X_{N,N}$ есть

$$H_{p,s} = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} f_{n,m} \text{Cas}(np+ms), \quad (1)$$

где ядром преобразования является действительная периодическая функция $\text{Cas}(x) = \text{cas}(2\pi x/N) = \cos(2\pi x/N) + \sin(2\pi x/N)$.

Несмотря на то, что ядра преобразований Хартли и Фурье определяются разными периодическими функциями $\text{cas}(2\pi x/N)$ и $\exp(2\pi i x/N)$ соответственно, форма связи координат (n, m) квадратной решетки с отсчетами (p, s) области определения спектра одинакова и диофантова, т. е. вида $np+ms$. Поэтому для ДДПХ можно использовать определенную для двумерного преобразования Фурье векторную форму представления (3). Действительно, имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Каждая спектральная составляющая $H_{p,s}$ двумерной последовательности f в отсчете (p, s) представляется вектором

$$H_{p,s} = \text{col}(f_{p,s,0}, f_{p,s,1}, \dots, f_{p,s,N-1}), \quad (2)$$

для которого выполняется соотношение

$$H_{\bar{k}p, \bar{k}s} = \sum_{t=0}^{N-1} f_{p,s,t} \text{Cas}(kt), \quad k=0 \div N-1, \quad (3)$$

где $(\bar{k}p, \bar{k}s) = (kp \bmod N, ks \bmod N)$.

Нетрудно убедиться, что для этого компоненты вектора (2) нужно определить по формуле

$$f_{p,s,t} = \sum (f_{n,m}; \{(n, m); np + ms \equiv t \pmod{N}\}), \quad (4)$$

Таким образом, одномерное N -точечное ДПХ над вектором полностью определяет ДДПХ во всех отчетах соответствующей циклической группы

$$T = T_{p,s} = \{(\overline{kp}, \overline{ks}); k=0 \div N-1\}. \quad (5)$$

Следовательно, если семейство групп $\sigma_{N,N} = (T_{p,s}; (p, s) \in J)$ для некоторого множества индексов $J \subseteq X$ есть неприводимое покрытие решетки X , тогда для определения полного ДДПХ достаточно выполнить $\text{card} \sigma_{N,N}$ одномерных N -точечных ДПХ. Такое покрытие имеет следующее построение (4,5). Пусть множество $B_N = \{n \in \mathbb{N}, N-1; \text{НОД}(n, N) > 1\}$, а $\beta(p)$ функция, равная числу таких элементов $s \in B_N$, которые взаимно просты с p и $ps \leq N$. Пусть далее $\Phi(N)$ функция Эйлера, т. е. функция, равная числу положительных целых чисел меньше N и взаимно простых с N .

Теорема 2. Для заданного целого $N > 1$:

(1) семейство циклических групп

$$\sigma_{N,N} = (T_{p,s})_{(p,s) \in J} \quad (6)$$

с множеством образующих

$$J = \bigcup_{s=0}^{N-1} (1, s) \cup \left(\bigcup_{p \in B_N} (p, 1) \right) \cup \left(\bigcup_{\substack{p, s \in B_N \\ \text{НОД}(p,s)=1, ps \leq N}} (p, s) \right) \quad (7)$$

есть неприводимое покрытие решетки $X_{N,N}$;

(2) неприводимое покрытие решетки $X_{N,N}$ имеет мощность

$$\text{card} \sigma_{N,N} = 2N - \Phi(N) + \sum_{p \in B_N} \beta(p). \quad (8)$$

Следствие 1. Для вычисления $N \times N$ -точечного ДДПХ достаточно выполнить умножений в количестве

$$M_{N,N} = (\text{card} \sigma_{N,N}) M_N, \quad (9)$$

где через M_N обозначено число умножений, необходимых для вычисления одномерного N -точечного ДПХ.

Из определения функции Эйлера нетрудно получить неравенство $\Phi(N) \geq \sum \{\beta(p); p \in B_N\}$, так что $\text{card} \sigma_{N,N} \leq 2N$. Причем знак равенства имеет место только в отдельных случаях. Например, если N имеет вид LM , где L и M взаимно простые числа, то $\text{card} \sigma_{N,N} = 2N$ только при $N=6$. Для N вида L^r , где L простое и $r > 1$, такое равенство не имеет места. Для сравнения отметим, что известный алгоритм Брейсуэлла использует $2N$ одномерных N -точечных ДПХ (1). Так, для $N=2^r$, $r > 1$, Брейсуэллом получена оценка умножений

$$M_{N,N}^{\text{Брейсуэлла}} = 2N^2(r-2) + 4N. \quad (10)$$

Из теоремы 2 прямо следует, что в этом случае $\text{card} \sigma_{N,N} = 3N/2$ и

$$M_{N,N} = 3N/2 M_N \leq 3N^2/4(r-3) + 3N. \quad (11)$$

так как имеет место оценка $M_N = N/2(r-3) + 2$ (6). Из (10) и (11) следует, что $M_{N,N}^{\text{Брейсуэлла}}/M_{N,N} \approx 4/3$, поэтому предлагаемый алгоритм по

сравнению с алгоритмом Брейсуэлла сокращает число операций на $1/3$.

Приведем сравнение и с другим известным алгоритмом Боуссакта и Холта ⁽²⁾, в котором для $N \times N$ -точечного ДДПХ, где N произвольное простое, получена оценка умножений

$$M'_{N,N} = N^2 + 2N - 3. \quad (12)$$

Из теоремы 2 получаем, что для простого N

$$M_{N,N} = (N + 1)M_N = N^2 - 1, \quad (13)$$

если учесть, что N -точечное ДПХ можно вычислить, как показано в ⁽⁷⁾, используя числовые преобразования Ферма, с помощью $(N-1)$ умножений. Из оценок (12) и (13) следует, что если в алгоритме Боуссакта и Холта в среднем на отсчет требуется более 1 операции умножения, то в предлагаемом векторном алгоритме требуется таких операций не более чем 1. Аналогичные сравнения имеют место и для других значений N .

Нужно отметить, что предлагаемый алгоритм можно улучшить, если исключить многие пересечения в группах неприводимого покрытия $\sigma_{N,N}$. Действительно, если L некоторый множитель числа N , то нетрудно проверить, что

$$\sigma^1 = \{T_{p,s} \setminus T_{Lp, Ls}; (p,s) \in J\} \quad (14)$$

является разбиением дополнения $X_{N,N} \setminus LX_{N/L, N/L}$. Поэтому можно вычислить $N \times N$ -точечное ДДПХ посредством $N/L \times N/L$ -точечного ДДПХ и $\text{card} \sigma_{L/N, N/L}$ одномерных N/L -точечных ДПХ. В результате мы получаем улучшенный рекуррентный алгоритм, в котором число умножений сокращается почти в 1,5 раза по сравнению с векторным. Так, для $N = 2^r$, $r > 1$, получаем следующую оценку умножений в рекуррентном алгоритме:

$$M_{N,N} = 4^r / 6(3r - 7) + 8/3 \approx 2/3 M_{N,N}. \quad (15)$$

Таким образом относительно сравниваемых алгоритмов Боуссакта и Холта, Брейсуэлла число умножений сокращается почти в два раза.

Институт проблем информатики и автоматизации
НАН Армении

Ա. Մ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

Հարթլիի երկչափանի դիսկրետ ձևափոխության վեկտորական ալգորիթմներ

Ներկա աշխատանքում ցույց է տրված, որ Հարթլիի երկչափանի դիսկրետ ձևափոխությունը կարելի է արդյունավետ հաշվարկել, եթե օգտագործվի նրա վեկտորական ներկայացումը: Բազմապատկումների քանակի համար բերված համեմատական գնահատականները ցույց են տալիս, որ առաջարկված վեկտորական և բարելավված անդրադարձ ալգորիթմները Բրեյսուելի, Ինչպես նաև Բոուսակտի և Հոլթի ալգորիթմից մոտավորապես երկու անգամ արդյունավետ են:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ R. N. Bracewell, O. Buneman, H. Hao e. a., Proc. IEEE, v. 74, p. 1282—1283 (1986). ² S. Boussakta, A. G. J. Holt, IEE Proc. G, v. 135, № 6, p. 253—257 (1988).

³ А. М. Григорян, Журн. вычислительной математики и мат. физики, т. 26, с. 1407—1412 (1986), № 9. ⁴ А. М. Григорян, Журн. вычислительной математики и мат. физики, т. 30, № 10, с. 1576—1581 (1991). ⁵ С. С. Агаян, в кн.: Распознавание. Классификация. Прогнозирование. Математические методы и их применения. М., Наука, с. 146—215, 1992. ⁶ А. В. Усачев, IX Всесоюз. конф. по теории кодирования и информации, Одесса, Тезисы докл. ч. 2, с. 49—52, 1988. ⁷ S. Boussakta, A. G. J. Holt, IEE Proc. G., v. 135, № 3, p. 101—103 (1988).

УДК 519.1

А. С. Асратян, А. Н. Мирумян

О преобразованиях реберных раскрасок полного двудольного графа $K_{n,n}$

(Представлено чл.-корр. НАН Армении Ю. Г. Шукурьяном 14/VIII 1993)

При исследовании любого множества L комбинаторных объектов важной задачей является нахождение такой системы преобразований S над объектами L , что для любых $f, g \in L$ существует последовательность f_1, f_2, \dots, f_r объектов из L , $r = r(f, g) \geq 2$, где $f_1 = f$, $f_r = g$ и f_{i+1} получен из f_i одним из преобразований системы S , $i = 1, \dots, r-1$. Тогда система S называется полной системой преобразования для L .

Реберной n -раскраской графа $G = (V(G), E(G))$ называется отображение $f: E(G) \rightarrow \{1, 2, \dots, n\}$. Если $f(e) = i$ для ребра e , то говорят, что ребро e окрашено в цвет i . Реберная n -раскраска называется правильной, если $f(e) \neq f(e')$ для любых двух ребер e и e' .

Все понятия, не определенные в работе, приведены в (1).

В 1975 г. Коциг (2) дал полную систему преобразований для множества $L(G)$ правильных реберных 3-раскрасок кубического (3-регулярного) графа и поставил следующую проблему: можно ли от любой правильной реберной n -раскраски n -регулярного графа G , $n > 3$, перейти к любой другой правильной n -раскраске G , используя преобразования лишь двухцветных и трехцветных подграфов так, чтобы промежуточные раскраски G также были бы правильными? В терминах полных систем преобразований проблему Коцига можно переформулировать следующим образом: существует ли такая полная система преобразований для множества правильных реберных 3-раскрасок 3-регулярного графа, которая была бы полной системой преобразований и для множества правильных реберных n -раскрасок n -регулярного графа, $n > 3$?

В работе (3) было показано, что в общем случае такой системы преобразований не существует. Однако в случае, когда G — двудольный граф, существует полная система преобразований требуемого вида, состоящая из двух преобразований (4,5).

В настоящей работе исследуются полные системы преобразований для множества $L(K_{n,n})$ правильных реберных n -раскрасок полного двудольного графа $K_{n,n}$, $n > 3$. Исследование таких систем обусловлено тем, что множество $L(K_{n,n})$ соответствует множеству латинских квадратов порядка n , которые находят широкое применение в различных областях математики и в приложениях (6,7).

Пусть f — правильная реберная n -раскраска графа $K_{n,n}$ и

$E_i = \{e \in E(K_{n,n}) / f(e) = i\}$ для каждого $i = 1, \dots, n$. Далее пусть α, β, γ — три различных цвета, $1 < \alpha < \beta < \gamma < n$, а $C = \{v_1, e_1, v_2, \dots, v_{2k}, e_{2k}, v_1\}$ такой цикл, что $f(e_{2j}) = \alpha, f(e_{2j-1}) \in \{\beta, \gamma\}$ для каждого $j = 1, \dots, k$. Определим преобразование раскраски f , используя цикл C . Возможны два случая.

а) $f(e_{2j-1}) = \beta$ для каждого $j = 1, \dots, k$. 2-преобразованием раскраски f вдоль C назовем такое преобразование, при котором ребра вне C сохраняют свой цвет, а каждое ребро $e \in C$ получает цвет α , если $f(e) = \beta$, и цвет β , если $f(e) = \alpha$.

б) $\beta, \gamma \in \{f(e_1), f(e_3), \dots, f(e_{2k-1})\}$. Разобьем множество $(E_\beta \cup E_\gamma \cup \{e_2, e_4, \dots, e_{2k}\}) \setminus \{e_1, e_3, \dots, e_{2k-1}\}$ на два 1-фактора P_1 и P_2 . Определим правильную реберную n -раскраску f' следующим образом:

$$f(e') = \begin{cases} f(e), & \text{если } f(e) \in \{\alpha, \beta, \gamma\} \\ \alpha, & \text{если } e \in (E_\alpha \cup \{e_1, e_3, \dots, e_{2k-1}\}) \setminus \{e_2, e_4, \dots, e_{2k}\} \\ \beta, & \text{если } e \in P_1 \\ \gamma, & \text{если } e \in P_2 \end{cases}$$

Преобразование n -раскраски f в n -раскраску f' назовем 3-преобразованием.

Пусть S_1 — система, состоящая из двух преобразований: 3-преобразования и 2-преобразования. В (4.5) показано, что S_1 — полная система преобразований для множества правильных реберных n -раскрасок n -регулярного двудольного графа, $n > 2$. Обозначим через F_n подмножество тех правильных реберных n -раскрасок из множества $L(K_{n,n})$, в каждой из которых любой 2-цветный цикл имеет длину 4.

Теорема 1. Если $f \in L(K_{n,n}) \setminus F_n$ и $g \in F_n$, то g не может быть получен из f последовательностью 3-преобразований.

Теорема 2. Каждая n -раскраска $g \in L(K_{n,n}) \setminus F_n$ может быть получена из любой другой n -раскраски $f \in L(K_{n,n})$ последовательностью 3-преобразований.

Теорема 3. $F_n \neq \emptyset$ тогда и только тогда, когда $n = 2^m$ для некоторого $m \geq 1$.

Теорема 4. Для того, чтобы множество $L(K_{n,n})$ имело полную систему преобразований, состоящую только из одного 3-преобразования, необходимо и достаточно, чтобы $n = 2^m$ для некоторого $m \geq 1$.

Используя теоремы 1 и 3, мы получаем также следующий результат.

Теорема 5. Каждое преобразование φ системы S_1 является независимым, т. е. для φ существует такое $n = n(\varphi) > 3$ и такие n -раскраски $f, g \in L(K_{n,n})$, что g нельзя получить из f последовательностью преобразований φ .

Ереванский государственный университет

Ա. Ս. ՀԱՍՐԱՔՅԱՆ, Ա. Ն. ՄԻՐՈՒՄՅԱՆ

$K_{n,n}$ լրիվ երկկողմանի գրաֆի կողային ներկումների ձևափոխությունների մասին

Դիցուք G -ն երկկողմանի n -անգույյար գրաֆ է: Նշանակենք $L(G)$ -ով G -ի բոլոր կողային ճիշտ ներկումների բազմությունը: (3.4) աշխատանքներում գտնված են երկու տիպի ձևափոխություններ՝ 3-ձևափոխություն և 2-ձևափոխություն, այնպես, որ $L(G)$ -ից յուրաքանչյուր f, g զույգի համար ձևափոխություն ունի ճիշտ n ներկումների f_1, \dots, f_r հաջորդականություն $L(G)$ -

ից, $r = r(i, g) > 2$ այնպես, որ $i_1 = i$, $i_r = g$ և i_{i+1} -ը ստացված է i_i -ից կամ 2-ձևափոխությամբ կամ 3-ձևափոխությամբ: Աշխատանքի հիմնական արդյունքը հետևյալ թեորեմն է:

Պ ե ո Ր ե մ. Որպեսզի $L(K_{n,n})$ բազմությունը պատկանող յուրաքանչյուր Γ ներկում հնարավոր լինի ստանալ կամայական ուրիշ $g \in L(G)$ ներկումից, օգտագործելով միայն 3-ձևափոխությունները, անհրաժեշտ է և բավարար, որ $n \neq 2^m$, $m > 2$:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Փ. Харари, Теория графов, М., Мир, 1973. ² A. Kotzig, Discrete Mathematics, v. 11, p. 391—399, (1975). ³ А. С. Асратян, А. Н. Мирумян, Дискретная математика, т. 4, вып. 2, с. 96—98 (1992). ⁴ А. С. Асратян, А. Н. Мирумян, ДАН СССР, т. 316, № 1 (1991). ⁵ А. С. Асратян, А. Н. Мирумян, в кн.: Мат. вопр. кибернетики, вып. 4, М., Наука, с. 93—111, 1992. ⁶ J. Benes, A. D. Keedwell, Latin Squares and their applications N.-Y., Academic Press, 1976. ⁷ D. Raghavarao, Constructions and combinatorial problems in design of experiments N. Y., Wiley, 1971.

УДК 517.5

А. Г. Багдасян

Интерполяция пространств типа Лизоркина—Трибеля
 с разными анизотропностями

(Представлено чл.-корр. НАН Армении А. Б. Нерсисяном 8/IX 1993)

В заметке ⁽¹⁾ приведены интерполяционные теоремы для пространств $F^{s,p,q}(\mu; R_n)$ типа Лизоркина—Трибеля с фиксированной порождающей функцией μ и переменными индексами.

В настоящей статье, обобщая результаты указанной работы, приводятся результаты, относящиеся к пространствам типа F , с разными порождающими функциями, характеризующими анизотропии рассматриваемых пространств: свойство изоморфизма для оператора I типа Лиувиллевого дифференцирования, анизотропность которого отличается от анизотропии пространства, в котором он рассматривается, и теоремы об интерполяции пространств типа Лизоркина—Трибеля с несовпадающими анизотропностями.

Отметим, что изучаемые пространства естественным образом возникают при исследовании краевых задач для общих гипоеллиптических дифференциальных операторов.

Будем пользоваться следующими обозначениями: R_n — n -мерное евклидово пространство, Z_n^+ —множество мульти-индексов, S —класс Шварца. Для $\xi \in R_n$, $\alpha \in Z_n^+$ положим

$$\xi^\alpha = \prod_{i=1}^n \xi_i^{\alpha_i}, \quad |\xi| = \left(\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \right)^{1/2}, \quad D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}.$$

Определение 1. Обозначим через G^+ множество положительных функций μ , бесконечно дифференцируемых вне начала координат, стремящихся к нулю при $|\xi| \rightarrow 0$ и таких, что

$$|\xi^\alpha D^\alpha \mu(\xi)| \leq c \mu(\xi), \quad 1 + \mu(\xi) \geq c'(1 + |\xi|)^r$$

с некоторыми положительными константами c, c', r . Пусть $\varphi(t) \in S(R_1)$, $\varphi(t) > 0$,

$$\text{supp } \varphi \subset \left[\frac{1}{2}, 2 \right], \quad \varphi(t) > 0 \quad \text{при} \quad t \in \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \sqrt{2} \right].$$

Положим для $\mu \in G^+$

$$(F\varphi_k)(\xi) = \varphi(2^{-k}\mu(\xi)), \quad k=1, 2, \dots; \quad \varphi_k \in S(R_1).$$

$$(F\varphi_0)(\xi) \geq 0, \quad \text{supp } F\varphi_0 \subset \left\{ \xi; \mu(\xi) \leq 2 \right\},$$

$$F(\varphi_0)(\xi) > 0 \quad \text{при} \quad \xi \in \left\{ \xi; \mu(\xi) \leq \sqrt{2} \right\}.$$

Определение 2. Пусть $\mu \in G^+_{\sigma}$, $1 < p, q < \infty$, $1 \leq r \leq \infty$, $-\infty < s < \infty$.

Положим

$$F^s_{p,q}(\mu; R_n) \equiv F^s_{p,q}(\mu) = \left\{ f \in S'; \|f\|_F = \|f * \varphi_k\|_{L_p(I^s_q)} < \infty \right\},$$

$$B^s_{p,r}(\mu; R_n) \equiv B^s_{p,r}(\mu) = \left\{ f \in S'; \|f\|_B = \|f * \varphi_k\|_{l^s_q(L_p)} < \infty \right\}.$$

Пространства F и B при всех указанных значениях индексов являются банаховыми.

Пусть $f \in S'$, v — бесконечно дифференцируемая вне начала координат функция полиномиального роста. Рассмотрим оператор типа ливиллевского дифференцирования $I_v f = F^{-1}\{vFf\}$.

Теорема 1. Пусть $1 < p, q < \infty$, $\mu, v, \frac{\mu}{v} \in G^+_{\sigma}$. Тогда оператор $I_{(1+v^2)^{1/2}}$ осуществляет непрерывное, взаимно однозначное отображение $F^s_{p,q}(\mu)$ на $F^s_{p,q}\left(\frac{\mu}{v}\right)$.

Для банаховых пространств A_0, A_1 символы $[A_0, A_1]_{\theta}$ и $(A_0, A_1)_{\theta, q}$ будут означать интерполяционные пространства, полученные соответственно «комплексным» и «вещественным» методами.

В заметке (1) были приведены интерполяционные теоремы для пространств с фиксированной порождающей функцией μ и переменными индексами. Приводимые интерполяционные результаты относятся к пространствам с разными анизотропностями.

Теорема 2. Пусть $0 < \theta < 1$, $1 < q, p_0, p_1 < \infty$, $\frac{1}{p^*} = \frac{1-\theta}{p_0} + \frac{\theta}{p_1}$,

$$\frac{1}{q^*} = \frac{1-\theta}{q_0} + \frac{\theta}{q_1}. \quad \text{Пусть далее } \mu_0, \mu_1, \frac{\mu_0}{\mu_1} \in G^+_{\sigma}. \quad \text{Тогда}$$

$$\text{а) } (F^s_{p_0, q_0}(\mu_0), F^s_{p_1, q_1}(\mu_1))_{\theta, p^*} = B^s_{p^*, q^*}(\mu_0^{1-\theta} \cdot \mu_1^{\theta});$$

$$\text{б) } [F^s_{p_0, q_0}(\mu_0), F^s_{p_1, q_1}(\mu_1)]_{\theta} = F^s_{p^*, q^*}(\mu_0^{1-\theta} \cdot \mu_1^{\theta}).$$

Для доказательства теоремы 2 нужно с помощью теоремы 1 свести утверждения теоремы к интерполяционным формулам для F -пространств с фиксированной порождающей функцией $\frac{\mu_0}{\mu_1}$ и воспользоваться результатами заметки (1).

Теорема 3. Пусть $0 < \theta < 1$, $1 < p, q_0, q_1 < \infty$, $1 \leq q \leq \infty$.

Пусть, как и прежде, $\mu_0, \mu_1, \frac{\mu_0}{\mu_1} \in G^+_{\sigma}$. Тогда

$$a) (F_{p, q_0}^1(\mu_0), F_{p, q_1}^1(\mu_1))_{\theta, q} = B_{p, q}^1(\mu_0^{1-\theta} \cdot \mu_1^\theta);$$

$$b) (B_{p, q_0}^1(\mu_0), F_{p, q_1}^1(\mu_1))_{\theta, q} = B_{p, q}^1(\mu_0^{1-\theta} \cdot \mu_1^\theta).$$

Нетрудно убедиться, что

$$B_{p, \min(p, q_1)}^1(\mu_1) \subset F_{p, q_1}^1(\mu_1) \subset B_{p, \max(p, q_1)}^1(\mu_1), \quad l=0,1.$$

Интерполируя эти вложения, на основании теоремы 2 получаем утверждения теоремы 3.

З а м е ч а н и е. Частный случай формулы б) теоремы 2 (случай пространств типа Соболева—Лиувилля) был доказан, по существу, в (2,3). Соответствующие интерполяционные результаты для пространств типа Соболева—Лиувилля и Никольского—Бесова были доказаны в (4).

В утверждениях теорем 2, 3 справа и слева верхний индекс можно заменить на (-1) .

Ереванский государственный
университет

Ա. Գ. ԲԱԳԴԱՍԱՐՅԱՆ

Լիզորկին-Տրիբելի տիպի տարբեր անիզոտրոպությամբ տարածությունների
ինտերպոլյացիա

Հոդվածում ապացուցվում է Լիովիլյան դիֆերենցելիություն տիպի օպերատորի իզոմորֆիզմի հատկությունը, ընդ որում օպերատորի անիզոտրոպությունը կախված չէ այն տարածության անիզոտրոպությունից, որում այն գործում է: Ապացուցվում են ինտերպոլյացիոն թեորեմներ տարբեր անիզոտրոպություններ ունեցող Լիզորկին-Տրիբելի տիպի տարածությունների համար:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. Г. Багдасарян, ДАН Армении, т. 91, № 3, с. 105—108 (1990). ² M. Schechter, Bull. Amer. Math. Soc., v. 72, p. 526—533 (1966). ³ A. Favini, Rend. Semin. Mat. Univ. Padova, v. 47, p. 243—298 (1972). ⁴ А. Г. Багдасарян, Изв. НАН Армении. Математика, т. 27, № 4, (1992).

УДК 517.53

А. А. Вагаршакян

О задаче выявления скрытых периодичностей

(Представлено чл.-корр. НАН Армении Н. У. Аракеляном 23/XI 1993)

В прикладных задачах часто возникает необходимость на основании поведения некоторой величины в промежутке конечной длины делать вывод о механизме, порождающем эту величину. Достаточно общей моделью, характерной для подобных ситуаций, является предположение о возможности представления интересующей нас величины в виде

$$f(t) = \sum_{k=-n}^n a_k e^{i\lambda_k t} + u(t),$$

где λ_k — действительные числа, а $u(t)$ — малая, по сравнению с $f(t)$, функция, появление которой обусловлено точностью выбора модели, ошибками вычисления и т. п. Здесь мы обсуждаем задачу о нахождении чисел λ_k , которые принято называть скрытыми периодами. Эта задача была поставлена очень давно.

Основная идея, используемая в большинстве методов, применяемых к решению этой задачи, состоит в осуществлении селекции периодической компоненты. Этого можно добиться, используя различного вида преобразования исходного процесса, позволяющие усилить в преобразованном процессе роль одной периодической компоненты. Эти методы имеют ту характерную особенность, что если мы хотим все более точно определять периоды λ_k , то нам необходимо располагать значениями исследуемой величины на все более длительном промежутке времени.

В данной статье развивается предложенный ранее автором ⁽¹⁾ метод выявления скрытых периодов, который лишен вышеупомянутой нежелательной особенности.

Теорема 1. Пусть λ_n , $n=0, \pm 1, \dots$ — действительные числа, удовлетворяющие условию

$$|\lambda_k - \lambda_j| \geq \frac{\pi}{T} \alpha, \quad k \neq j,$$

где $2 < \alpha < \infty$. Пусть функция $f(x) \neq 0$, $x \in [-T, T]$, допускает представление

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i\lambda_n x},$$

где ряд сходится в $L_2(-T, T)$. Тогда семейство чисел $\{\lambda_n\}_{n=-\infty}^{\infty}$ единственным образом определяется по функции $f(x)$, $x \in [-T, T]$.

Теорема 2. Пусть функция $f(x)$, $x \in [-T, T]$, допускает представление

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i\lambda_n x},$$

где ряд сходится в $L_2(-T, T)$, а действительные числа λ_n удовлетворяют условию

$$|\lambda_k - \lambda_j| \geq \frac{\pi}{T} \alpha, \quad k \neq j,$$

где $2 < \alpha < \infty$ заранее фиксированное число. Введем функцию

$$\rho(\lambda) = \inf_{n \geq 1} \frac{G\left(e^{i\lambda x}, f(x), f\left(x - \frac{T}{n}\right), \dots, f(x - T)\right)}{G\left(f(x), f\left(x - \frac{T}{n}\right), \dots, f(x - T)\right)},$$

где

$$G(\varphi_1, \dots, \varphi_n) = \det \|\langle \varphi_i, \varphi_j \rangle\|_{i, j=1}^n$$

и

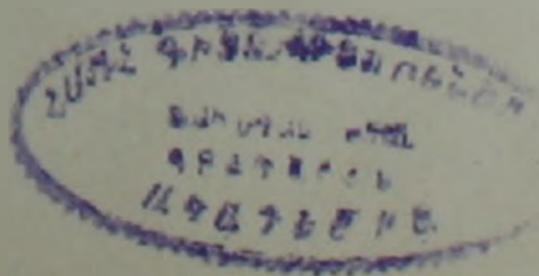
$$\langle \varphi_i, \varphi_j \rangle = \int_0^T \varphi_i(x) \overline{\varphi_j(x)} dx.$$

Тогда функция $\rho(\lambda)$ обращается в нуль только при $\lambda \in \{\lambda_n\}_{n=-\infty}^{\infty}$.

Давно было обнаружено, что солнце в течение времени меняет свою активность. Это проявляется во многих параметрах, характеризующих поведение солнца. Одна из таких характеристик — число солнечной активности по Вольфу за период с 1749 по 1924 гг. — приведена в книге Т. Андерсона (2). Там же приведены результаты вычисления Шустера и Шерфа, которые для обработки этой информации использовали классические методы. Из этих вычислений следует, что в данном процессе есть период, равный 11 годам.

Вычисления, основанные на предложенном в данной статье методе, показывают, что существуют периоды, равные 4 годам и 1,4 года.

Пользуясь случаем, автор благодарит Р. Дарбиняна за предоставление приведенных выше результатов вычисления, сделанных им на ЭВМ.



Քաճեմի մասին պարբերականությունների ի հայտ բերման խնդրի մասին

Հոգեմեծում դիտարկում է կիրառական հարցերում հաճախ հանդիպող մի խնդիր, որը կապված է դիտարկվող մեծության համար յուրահատուկ ներքին պարբերությունների ի հայտ բերման հետ: Քննարկում է այդ խնդրի լուծման սկզբունքային հնարավորության հարցը: Առաջարկում է նաև կոնկրետ ալգորիթմ, որի միջոցով կարելի է կամայական ճշտությամբ գտնել ներքին պարբերությունները:

Հոգեմեծում բերված են նաև արևի ակտիվության դիտարկումների տվյալների մշակման արդյունքները առաջարկված մեթոդով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ A. Vagarshakian, J. Integral Eq. Math. Phys., v. 1, № 1, p. 13—26 (1992).
- ² Т. Андерсон, Статистический анализ временных рядов. М., Мир, 1976.

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 517.977.58

С. В. Шахвердян, А. С. Шахвердян

Необходимые условия оптимальности для систем
 с ограничениями на полное изменение управления

(Представлено чл.-корр. НАН Армении А. А. Терзяном 27/IX 1993)

Задачи оптимального управления системами с ограничениями на полное изменение скалярного и векторного управления часто встречаются в приложениях, в особенности в ситуациях, когда решение имеет вид скользящих режимов.

Обычно задачи со скользящими режимами решаются путем стандартного дифференциального включения скорости фазовой точки в выпуклую оболочку множества скоростей с последующим переносом меры на временную ось^(1,2). В результате непрерывная задача заменяется дискретной, для которой понятия «скользящие режимы» не существует. Однако известно, что если непрерывная задача принадлежит к классу задач со скользящими режимами, то для дискретного ее аналога обычный принцип максимума не справедлив^(3,4). Поэтому для задач со скользящими режимами вообще и при наличии ограничений на изменение управления в особенности необходимость построения условий оптимальности очевидна.

В данной работе получены необходимые условия оптимальности для систем с ограничениями на полное изменение скалярного и векторного управления, справедливые и для класса задач, для которых обычный принцип максимума оказывается не приемлемым.

Задача 1. Пусть объект управления описывается системой

$$\dot{x} = f(x, u), \quad x(0) = x^0, \quad x(T) = x^T, \quad (1)$$

где $x = [x_1, \dots, x_n]'$ — n -мерный вектор фазовых координат; $f = [f_1, \dots, f_n]'$; $u = [u_1, \dots, u_m]$ — m -мерный управляющий вектор; x^0 и x^T — заданные векторы; T — период управления, не фиксирован; $'$ — знак транспонирования. На u наложены ограничения

$$|u_i| \leq a_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad i \neq j \in \{1, \dots, m\}; \quad (2)$$

$$V_j^T u_j(t) \leq S \quad (3)$$

Обозначим

$$\dot{u}_j = v_j = f_{n+1}(v_j), \quad (4)$$

т. е. u_j введем в разряд фазовых координат, а v_j примем за j -ю координату вектора управления.

Предположим, что $u_j(t)$ непрерывна и имеет кусочно-непрерывную производную по t . Тогда полное изменение функции $u_j(t)$ можно определить так:

$$V_0^T u_j(t) = \int_0^T |v_j| dt \leq S. \quad (5)$$

Требуется найти $u(t)$, $0 \leq t \leq T$, которое удовлетворяет ограничениям (2), (5), переводит объект из состояния x^0 в состояние x^T и доставляет минимум функционалу

$$J = \int_0^T f_0(x, u) dt. \quad (6)$$

Предполагается, что функции $f(x, u)$, $f_0(x, u)$ непрерывны по x и u и непрерывно дифференцируемы по x . На $u_j(t)$ стандартное ограничение типа (2) не введено ради простоты; его ввод не вносит принципиальных изменений в процесс решения задачи 1.

Неравенство (5) можно заменить равенством

$$v^T u_j(t) - S + \beta^2 = 0, \quad (7)$$

где β — дополнительный неизвестный параметр, удовлетворяющий уравнению

$$\dot{\beta} = 0. \quad (8)$$

Благодаря таким преобразованиям задача 1 сведена к типу стандартных параметрических задач с недифференцируемым ограничением.

С помощью множителей интеграл (6) можно представить так:

$$J^* = \int_0^T \left[f_0(x, u) + \lambda \left(|v_j| + \frac{1}{T} \beta^2 \right) \right] dt - \lambda S,$$

где λ — постоянный во времени множитель.

Обозначим

$$\dot{x}_0 = \bar{f}_0(x, u) + \lambda \left(|v_j| + \frac{1}{T} \beta^2 \right) = f_0(x, u, v_j, \beta),$$

$$x_0(0) = 0, \quad x_0(T) = J^* + \lambda S.$$

Тогда для задачи 1 гамильтониан будет иметь вид

$$H = \sum_{s=0}^{n+1} \Psi_s \dot{x}_s + \Psi_{n+2} \cdot 0. \quad (9)$$

где Ψ_s , $s = 0, n+2$ являются решением системы

$$\dot{\Psi}_l = - \frac{\partial H}{\partial x_l}, \quad l = \overline{0, n}, \quad \dot{\Psi}_{n+1} = - \frac{\partial H}{\partial u_j} \quad (10)$$

$$\dot{\Psi}_{n+2} = - \frac{\partial H}{\partial \beta}, \quad \Psi_{n+1}(\tau) = \Psi_{n+2}(\tau) = 0, \quad \tau = 0; T$$

Теорема. Пусть $\bar{u}^*(t) = [u^*_1(t), \dots, u^*_{j-1}(t), v^*_j(t), u^*_{j+1}(t), \dots, u^*_m(t)]$ — оптимальное управление в задаче 1, $t \in [0, T]$, $\bar{x}^* = [x^*_0, x^*$,

u^*, β^* — соответствующее управлению $\bar{u}^*(t)$ решение системы (1), (4), (7), определенное на $[0, T]$. Тогда найдутся такие $\lambda \geq 0$ и ненулевая вектор-функция $\Psi(t)$, являющаяся решением (10), что выполняются:

$$\begin{aligned} 1^\circ) & H^0(\Psi^*, \bar{x}^*, \bar{u}^*) \geq H^0(\Psi, \bar{x}, \bar{u}), \quad \forall \bar{u} \in U; \\ 2^\circ) & H(\Psi^*, \bar{x}^*, \bar{u}^*)|_T \geq 0; \\ 3^\circ) & \lambda \rightarrow \min, \\ & \text{где } H^0 = H - \lambda, \quad \lambda = \sum_{i=1}^m \int_{\tau_i}^{u_i} \left\langle \frac{\partial H}{\partial \Psi}, \frac{\partial \Psi}{\partial y_i} dy_i \right\rangle. \end{aligned} \quad (11)$$

$$U = \{u : |u| \leq a, \quad V_0^T u_j(t) \leq S\}, \quad \tau_i \in U$$

Доказательство. При доказательстве основного условия предполагается, что компоненты вектора Ψ являются функционалами от управления $\bar{u}(\cdot)$ и матрица функциональных производных $[\partial \Psi / \partial \bar{u}]$ в общем случае не нулевая. В силу этого справедливо разложение

$$H(\Psi^*, \bar{x}, \bar{u}) = H(\Psi, \bar{x}, \bar{u}) - \sum_{i=1}^m \int_{\tau_i}^{u_i} \left\langle \frac{\partial H}{\partial \Psi}, \frac{\partial \Psi}{\partial y_i} dy_i \right\rangle. \quad (12)$$

Учитывая (12) и используя стандартные схемы доказательства обычного принципа максимума, после несложных преобразований можно получить первое условие в (11) (4).

Доказательство условия 2° аналогично известным схемам для стандартных задач оптимального управления (5). Условие 3° будет доказано в ходе анализа полученных результатов.

Из условия 1° следует, что на оптимальном процессе $\{\bar{u}^*, \bar{x}^*\}$ максимума достигает функция H^0 , которая в силу своей конструкции может быть названа неполным гамильтонианом.

Нетрудно заметить, что

$$\frac{\partial H^0}{\partial \bar{u}} = \frac{\partial H}{\partial \bar{u}}. \quad (13)$$

Следовательно, решение, полученное из уравнения $\partial H^0 / \partial \bar{u} = 0$, будет совпадать с решением $\partial H / \partial \bar{u} = 0$, причем $\partial H / \partial u$ построено при фиксированном Ψ .

Так как задача параметрическая, то $\Psi_{n+2}(0) = \Psi_{n+2}(T) = 0$, и из (6) имеем

$$\Psi_{n+2} = - \int_0^t \frac{\partial H}{\partial \beta} dt = - 2\lambda \beta t / T. \quad (14)$$

Когда $t=T$, то из (14) получим $\Psi_{n+2} = 2\lambda \beta = 0$. Следовательно, на $[0, T]$

$$\lambda \beta = 0. \quad (15)$$

Из условия 1° теоремы имеем

$$\frac{\partial H^0}{\partial u_i} = 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad i \neq j; \quad (16)$$

$$\frac{\partial H^0}{\partial v_j} \Psi_{n+1} - \lambda \text{sign} v_j = 0.$$

$$N = \{t: \partial H^0 / \partial u_j \neq 0\} \subseteq [0, T];$$

$$M = \{t: \partial H^0 / \partial u_j = 0\} \subseteq [0, T].$$

Согласно (10), (16) имеем:

а) если $\beta \neq 0, \lambda = 0$, то

$$\Psi_{n+1} = \Psi'_{n+1} = -\partial H^0 / \partial u_j = 0, \quad \forall t \in [0, T],$$

т. е. $N = \emptyset, M = [0, T]$;

б) если же $\beta = 0, \lambda \neq 0, \int_0^T |v_j| dt = S$, то $N \neq \emptyset$.

Легко проверить, что когда $\partial H^0 / \partial u_j \neq 0$, тогда $v_j = 0$. В самом деле, если $\partial H^0 / \partial u_j \neq 0$ и $v_j \neq 0$, то $\Psi_{n+1} \neq 0$ и Ψ_{n+1} — переменная во времени функция, что противоречит уравнению (16). Следовательно, на N должно быть выполнено уравнение $v_j(t) = 0$. В силу этого уравнение (16) на N становится неопределенным. Однако неопределенность уравнения (16) на N не вносит неопределенности в решение задачи 1, поскольку на N $v_j(t)$ определено.

Таким образом, при $\lambda \neq 0$ оптимальное управление должно определяться из уравнений

$$\frac{\partial H^0}{\partial u_j} = 0 \text{ на } M; \quad v_j = 0 \text{ на } N, \quad M \cup N = [0, T]. \quad (17)$$

Однако при заданном λ множества M и N определяются неоднозначно, в результате и решение задачи 1 получается неоднозначным. В связи с этим возникает вопрос выбора такого λ , при котором J^* достигает минимума при заданном S .

Можно доказать, что множитель λ , обеспечивающий равенство $\int_0^T |v_j| dt = S$ и доставляющий минимум функционалу J^* , минимален.

Очевидно, что

$$|\Psi_{n+1}(t)| \begin{cases} = \lambda, & \text{при } t \in M \\ \leq \lambda, & \text{при } t \in N \end{cases}$$

Причем на N справедливо

$$\Psi_{n+1}(t) = \Psi_{n+1}(t_s) - \int_{t_s}^t \left(\frac{\partial H^0}{\partial u_j} \right)^* dt, \quad t \in \Delta t_s, \quad (18)$$

которое следует из (10) где $s = \overline{0, e}$, $t_0 = 0$, $\Delta t_s = t_{s+1} - t_s$, $t_{e+1} = T$, $\partial H^0 / \partial u_j)^* = \partial H^0 / \partial u_j |_{v_j=0}$, $N = \bigcup_1^e \Delta t_s$, $M = \bigcup_0^e \Delta t_s$, α, γ — соответственно множества четных и нечетных чисел последовательности натурального ряда до e , $e = 2k$; k — число интервалов, на которых $v_j = 0$;

$$\Psi_{n+1}(t_s) = \lambda \operatorname{sign} v_j(t_s - 0);$$

$$\Psi_{n+1}(t_{s+1}) = \lambda \operatorname{sign} v_j(t_{s+1} + 0). \quad (19)$$

Если $M_0 = \{t: \partial H^0 / \partial u_j = 0, v_j(t) = 0\} \subset M$ и $M_0 \neq \emptyset$, тогда на M_0 $\operatorname{sign} v_j(t)$ неопределен. Однако, учитывая (18), (19) и $\partial H^0 / \partial u_j = 0$ на M_0 , получим $\Psi_{n+1}(t) = \Psi_{n+1}(t_s)$, где $t \in \Delta t_s, \Delta t_s \subset M_0$, t_s — предельная слева точка подмножества Δt_s .

Неизвестные моменты времени $t_s, s = \overline{1, e}$, определяются из условия

$$Q_s = \begin{cases} \lambda \operatorname{sign} v_j(t_{s+1} + 0) - \lambda \operatorname{sign} v_j(t_s - 0), & s = \overline{2, e-2} \\ \lambda \operatorname{sign} v_j(t_{s+1} + 0) - \Psi_{n+1}(t_s), & s = 0 \\ \Psi_{n+1}(t_{s+1}) - \lambda \operatorname{sign} v_j(t_s - 0), & s = e \end{cases} \quad (20)$$

где

$$\Omega_s \equiv \int_{t_s}^{t_{s+1}} \left(\frac{\partial H^0}{\partial u_j} \right)^* dt;$$

$$\Psi_{s+1}(l) \begin{cases} \neq 0, & \text{когда } u(l) \text{ фиксировано} \\ = 0, & \text{в противном случае, } l=0: T. \end{cases}$$

Из (20) легко получить

$$|\Omega_s| \begin{cases} = 2\lambda, & \text{если } s=2, 4, \dots, e-2 \\ = \lambda, & \text{когда } \Psi_{s+1}(t_s) = 0 \\ \leq \lambda, & \text{когда } \Psi_{s+1}(t_s) \neq 0 \end{cases}, \quad s=0; e+1 \quad (21)$$

Минимальность λ следует из (21). Неотрицательность λ можно доказать известными схемами.

Задача 2. Пусть требуется минимизировать (6) при ограничениях (1), (2) и

$$V_{om}^T u(t) = \sup \sum_{k=1}^r \|u(t_k) - u(t_{k-1})\| \leq S_1, \quad (22)$$

где $V_{om}^T u(t)$ — полное изменение вектора $u(t)$ на $[0, T]$; $\|\cdot\|$ — евклидова норма; $t_r = T$; S_1 — заданное число.

Обозначим

$$\varphi = R - \|u\| = 0; \quad (23)$$

$$\dot{R} = v = f_{s+1}(v).$$

Тогда, предполагая $R(t)$ непрерывным, выражение (22) можно заменить интегралом

$$V_{om}^T u(t) = \int_0^T |v| dt \leq S_1. \quad (24)$$

Введя дополнительный параметр β_1 , неравенство (24) можно свести к равенству

$$V_{om}^T u(t) - S_1 + \beta_1^2 = 0,$$

и, поступив так же, как и выше, интеграл (6) представим в виде

$$J^* = \int_0^T \tilde{f}_0(x, u, v, \beta_1) dt - \lambda_1 S_1,$$

где

$$\tilde{f}_0 = f_0 + \mu(t)\varphi + \lambda_1 \left(|v| + \frac{1}{T} \beta_1^2 \right),$$

$\mu(t)$, λ_1 — множители Лагранжа, $\lambda_1 = \text{const}$ на $[0, T]$.

После этих преобразований задача 2, как видно, сводится к типу задачи 1, поэтому результаты ее решения без существенных изменений применимы для задачи 2.

З а м е ч а н и е. В задачах, рассмотренных выше, предполагалось, что функции $u_j(t)$ и $R(t)$ непрерывны. Однако в задачах оптимального уравнения, как правило, управляющий параметр получается кусочно-непрерывным. В силу этого интегралы (5) и (24) соответственно должны быть заменены на

$$V_0^T u_1(t) = \int_0^T |v_j| dt + \sum_{i=1}^q |\xi_{ij}| \leq S;$$

$$V_{om}^T u(t) = \int_0^T |v| dt + \sum_{i=1}^p |\xi_i| \leq S_1,$$

где

$$\xi_{ij} \equiv u_j(t_i + 0) - u_j(t_i - 0), \quad i = \overline{1, q},$$

$$\xi_i \equiv R(t_i + 0) - R(t_i - 0), \quad i = \overline{1, p}.$$

q и p — соответственно число разрывов функций $u_j(t)$ и $R(t)$ на $[0, T]$. Эта замена принципиальных изменений в полученные выше результаты не вносит. Действительно, если функции $u_j(t)$ и $R(t)$ непрерывны, тогда (4) и (23) должны быть заменены соответственно уравнениями

$$\dot{u}_j = v_j + \sum_{i=1}^q |\xi_{ij}| \delta(t - t_i);$$

$$\dot{R} = v + \sum_{i=1}^p |\xi_i| \delta(t - t_i).$$

Институт Арматом

II. Վ. ՇԱՀՎԵՐԴՅԱՆ, Ա. II. ՇԱՀՎԵՐԴՅԱՆ

Կառավարող ֆունկցիայի լրիվ փոփոխության սահմանափակմամբ համակարգերի օպտիմալության անհրաժեշտ պայմանները

Դիտարկված են համակարգերի օպտիմիզացման խնդիրներ հետևյալ տիպի սահմանափակումների դեպքում.

$$1) V_0^T u_j(t) \leq S = \text{Const},$$

$$2) V_{om}^T u(t) \leq S_1 = \text{Const}.$$

որտեղ $V_0^T u_j(t)$ -ն $u_j(t)$ ֆունկցիայի լրիվ փոփոխությունն $[0, T]$ միջակայքում, $V_{om}^T u(t)$ -ն, $u(t) = [u_1(t), \dots, u_m(t)]$ վեկտորի շափի լրիվ փոփոխությունն է $[0, T]$ միջակայքում, T -ն կառավարման տևողությունն է:

Այդ երկու խնդիրների համար ապացուցված են β երբեմնե օպտիմալության անհրաժեշտ պայմանների վերաբերյալ: β երբեմնե ապացուցման ընթացքում համալուծ վեկտորի Ψ բաղադրիչները դիտարկվում են որպես ֆունկցիոնալ կառավարման ֆունկցիայից, որոնք ունեն զրոյից տարբեր ֆունկցիոնալ ածանցյալներ:

β երբեմնե հիմնական առնչությունից հետևում է, որ օպտիմալ պրոցեսների ժամանակ մաքսիմում արժեք է ընդունում Համիլտոնի ոչ լրիվ H^0 ֆունկցիան: Այն որոշվում է որպես Համիլտոնի սովորական H ֆունկցիայի և նրա դիֆերենցիալի բոլոր համալուծ վեկտորի $\delta\Psi H$ տարբերություն: Որպես հետևանք ստացվել է $\delta H^0 / \delta u = \delta H / \delta u$, որտեղ $\delta H / \delta u$ կառուցված է սկզբված Ψ -ի ժամանակ:

Դիտարկված սահմանափակումներով օպտիմալ կառավարման համակարգերը ունեն լայն կիրառական նշանակություն հատկապես «սահող ուղիներով» խնդիրների ուսումնասիրման համար: Հոդվածում բերված օպտիմալության անհրաժեշտ պայմանները կիրառելի են նաև «սահող ուղիներով» խնդիրների լուծման ժամանակ, որոնց համար սովորական մաքսիմումի սկզբունքը կիրառելի չէ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Л. Янг. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления. М., Мир, 1974. ² Р. В. Гамкрелидзе, ДАН ССР, т. 143, № 6 (1962). ³ А. И. Пропой. Элементы теории оптимальных дискретных процессов. М., Наука, 1973. ⁴ S. V. Shahverdian. AMSE Press, Modelling & Simulation, v. 10, № 2, (1987). ⁵ Л. С. Понтрягин и др. Математическая теория оптимальных процессов. М., Наука, 1969.

УДК 519. 682.1

С. А. Ингиан

Логическая концепция языков программирования

(Представлено чл.-корр. НАН Армении Ю. Г. Шукурьяном 23/VIII 1993)

В работе рассматривается логический подход к описанию языков программирования. При этом подходе логический язык программирования определяется как язык, программами которого являются формулы некоторой логики. К программе обращаются с вопросами. Интерпретатор логического языка программирования должен по программе и соответствующему ей вопросу решать: является ли вопрос логическим следствием программы или нет. Естественно, что интерпретатор не должен «лгать», т. е. если он не в состоянии ответить на поставленный вопрос, то должен либо остановиться с неопределенным ответом, либо функционировать бесконечно. В работе дано определение логического языка программирования и показано, что всякий функциональный язык программирования ⁽¹⁾ может быть определен как логический язык программирования, т. е. определяется логическая семантика для функциональных языков программирования. В ^(1,2) показано, каким образом алгоритмический язык может быть определен как функциональный язык программирования. Объединяя эти два результата, получим, что всякий алгоритмический язык может быть определен как логический язык программирования, т. е. может быть задана логическая семантика для любого алгоритмического языка. Можно показать, что под предложенное в данной работе определение логического языка программирования подпадают такие языки логического программирования, как: Пролог ⁽³⁾, языки Σ -программирования ⁽⁴⁾, языки баз данных ⁽⁵⁾ и др.

1. **Формализация. Определение логического языка программирования.** Зафиксируем множество M , содержащее по крайней мере два элемента (true и false). Введем понятие типа: 1) множество M есть тип; 2) любое непустое подмножество типа есть тип; 3) если $\beta, \alpha_1, \dots, \alpha_k (k > 0)$ — типы, то множество всех отображений из $\alpha_1, \dots, \alpha_k$ в β (обозначим $\{\alpha_1 \times \dots \times \alpha_k \rightarrow \beta\}$) есть тип; 4) других типов, кроме определенных согласно 1—3, нет.

Пусть C — множество констант, принадлежащих некоторым типам, X — множество переменных некоторых типов. Введем понятие терма. Каждому терму t сопоставим: а) множество переменных, от которых терм t зависит, — $\text{var } t$; б) тип терма t — $\text{type } t$; в) если $\text{var } t \subset \{y_1, \dots,$

y_n), $\bar{y}_0 = \langle y_1^0, \dots, y_n^0 \rangle$, где $y_i \in \alpha_i$, α_i — тип переменной y_i , то терму t сопоставим константу $\text{val}_{\bar{y}_0}(t)$, $i=1, \dots, n$, $n > 0$.

Определение терма:

1) любая переменная $x \in X$ есть терм, $\text{var } x = \{x\}$, $\text{val}_{\bar{y}_0}(x) = y_i^0$, если $x = y_i$ ($1 \leq i \leq n$) и, если x — переменная типа α , то $\text{type } x = \alpha$;

2) любая константа $c \in C$ или $c \in \text{type } x$, где $x \in X$, есть терм, $\text{var } c = \emptyset$, $\text{val}_{\bar{y}_0}(c) = c$, $\text{type } c = \{c\}$;

3) пусть τ, t_1, \dots, t_k — термы, $\beta, \alpha_1, \dots, \alpha_k$ — типы такие, что $\text{type } \tau \subseteq \{\alpha_1 \times \dots \times \alpha_k \rightarrow \beta\}$, $\text{type } t_i \subseteq \alpha_i$, $i=1, \dots, k$, $k > 0$, тогда $\tau(t_1, \dots, t_k)$ есть терм и, если $t = \tau(t_1, \dots, t_k)$, то $\text{val}_{\bar{y}_0}(t) = \text{val}_{\bar{y}_0}(\tau)(\text{val}_{\bar{y}_0}(t_1), \dots, \text{val}_{\bar{y}_0}(t_k))$, $\text{type } t = \{\text{val}_{\langle y_i^0, \dots, y_n^0 \rangle}(t) \mid y_i^0 \in \text{type } y_i, i=1, \dots, n\}$;

4) пусть τ — терм, $x_1, \dots, x_k \in X$, $k > 0$ и, если $i \neq j$, то $x_i \neq x_j$ ($1 \leq i, j \leq k$), тогда $\lambda x_1 \dots x_k [\tau]$ есть терм и, если $t = \lambda x_1 \dots x_k [\tau]$, то $\text{var } t = \text{var } \tau \setminus \{x_1, \dots, x_k\}$, $\text{val}_{\bar{y}_0}(t) \in \{\text{type } x_1 \times \dots \times \text{type } x_k \rightarrow \text{type } \tau\}$ и, если $\text{var } t = \{y_{i_1}, \dots, y_{i_m}\}$ ($0 \leq m \leq n$), $y_0 = \langle y_{i_1}^0, \dots, y_{i_m}^0 \rangle$, то для всяких $x_j^0 \in \text{type } x_j$, $j=1, \dots, k$, $\text{val}_{\bar{y}_0}(t)(\bar{x}_0) = \text{val}_{\bar{x}_0, \bar{y}_0}(\tau)$, где $\bar{x}_0 = \langle x_1^0, \dots, x_k^0 \rangle$, $\text{type } t$ определяется так же, как в пункте 3;

5) других термов, кроме определенных согласно 1—4, нет.

Всякий терм t такой, что $\text{type } t \subseteq \{\text{true}, \text{false}\}$, назовем элементарной формулой.

Определение формулы: 1) любая элементарная формула есть формула; 2) если A, B — формулы и $x \in X$, то $\neg(A)$, $(A) \& (B)$, $(A) \vee (B)$, $(A) \supset (B)$, $(A) \sim (B)$, $\forall x (A)$, $\exists x (A)$ есть формулы; 3) других формул, кроме определенных согласно 1—2, нет.

Некоторое вхождение переменной в формулу называется связанным, если оно находится в области действия λ или одного из кванторов \forall или \exists . В противном случае это вхождение переменной называется свободным. Переменная x свободна в формуле A , если x имеет свободное вхождение в A . Пусть $A(\bar{x})$ — формула, где $\bar{x} = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ — вектор различных переменных из X , $\bar{x}_0 = \langle x_1^0, \dots, x_n^0 \rangle$, где $x_i^0 \in \text{type } x_i$, $i=1, \dots, n$, $n > 0$. Через $A(\bar{x}_0)$ обозначим формулу, которая получена в результате подстановки в формулу $A(\bar{x})$ вместо каждого свободного вхождения переменной x_i значения x_i^0 , $i=1, \dots, n$. Интерпретация I формулы A определяется заданием значений всем ее свободным переменным.

Значение формулы A на интерпретации I (обозначим $I(A)$) определяется естественным образом. Формула A называется выполнимой, если существует такая интерпретация I , что $I(A) = \text{true}$. Формулу A будем называть тождественно истинной, если значение формулы A на любой интерпретации равно true . Если A, B — формулы и формула $(A) \supset (B)$ тождественно истинна, то будем говорить, что формула B является логическим следствием формулы A и обозначать $A \models B$.

Логический язык программирования определяется заданием шестерки M, C, X, S, δ, U , где

M — непустое множество, содержащее по крайней мере два элемента true и false ;

C — множество констант, принадлежащих некоторым типам;

X — множество переменных некоторых типов;

S — множество программ, представляющее собой некоторое множество выполнимых формул, построенных с использованием C и X ;

δ — отображение, которое каждой программе $P \in S$ сопоставляет

множество формул $\delta(P)$, называемых вопросами, соответствующими программе P ;

U —интерпретатор, представляющий собой алгоритм, который для каждой программы $P \in S$ и вопроса $Q \in \delta(P)$ либо останавливается с положительным ответом, либо — с отрицательным ответом, либо — с неопределенным ответом, либо функционирует бесконечно. Положительный ответ может быть как со значением, так и без него. Если U останавливается на P и Q , то результат применения U к P и Q обозначим $U(P, Q)$. Интерпретатор U должен обладать следующими свойствами:

1) если U останавливается на P и Q с положительным ответом без значения, т. е. $U(P, Q) = \text{да}$, то $P \models Q$;

2) если U останавливается на P и Q с отрицательным ответом, т. е. $U(P, Q) = \text{нет}$, то $P \not\models Q$;

3) если U останавливается на P и Q с положительным ответом со значением, т. е. $U(P, Q) = \bar{v}_0$, где \bar{v}_0 —вектор значений вектора переменных \bar{v} , то Q имеет вид $\exists y A(\bar{y})$ и $P \models A(\bar{v}_0)$.

Интерпретатор U назовем логически полным, если из того, что $P \models Q$, следует, что U останавливается на P и Q с положительным ответом.

2. Функциональная концепция языков программирования с точки зрения логической. Рассмотрим произвольный функциональный язык программирования (см. (1)), определяемый четверкой M_1, C_1, X_1, T_1 , где M_1 частично упорядоченное множество, содержащее неопределенный элемент \perp , который является наименьшим элементом множества M_1 , и каждый элемент из M_1 сравним только с \perp и с самим собой; C_1 —некоторое множество констант, принадлежащих монотонным типам; X_1 —некоторое множество переменных монотонных типов; T_1 —некоторое подмножество термов, построенных с использованием C_1 и X_1 .

Определим монотонный тип: 1) множество M_1 есть монотонный тип; 2) если $\beta, \alpha_1, \dots, \alpha_k$ ($k > 0$) —монотонные типы, то множество всех монотонных отображений из $\alpha_1 \times \dots \times \alpha_k$ в β (обозначим $[\alpha_1 \times \dots \times \alpha_k \rightarrow \beta]$) есть монотонный тип; 3) других монотонных типов, кроме определенных согласно 1—2, нет.

Опишем шестерку M, C, X, S, δ, U , определяющую функциональный язык программирования как логический язык программирования:

$M = M_1 U(\text{true}, \text{false})$.

$C = C_1 U(=)$, где $= \in \{M_1^i \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}\}$ и для любых $m, m' \in M_1$ значение $=(m, m')$ есть true , если m совпадает с m' , и false в противном случае.

$X = X_1 U(y)$, где y —переменная типа M_1 .

S есть множество, состоящее из программ P вида

$$(F_1 = \tau_1) \& \dots \& (F_n = \tau_n), \quad (1)$$

где $F_i \in X_1$, $F_i \neq F_j$, если $i \neq j$, $\tau_i \in T_1$, $\text{type } \tau_i = \text{type } F_i$, $\text{var } \tau_i \in \{F_1, \dots, F_n\}$, $\text{type } F_i = [M_1^k \rightarrow M_1]$ ($k \geq 1$), $i, j = 1, \dots, n$, $n > 0$.

Формула (1) будет выполнимой, так как система уравнений

$$\begin{cases} F_1 = \tau_1 \\ \vdots \\ F_n = \tau_n \end{cases} \quad (2)$$

имеет решение. Решением системы (2) мы называем вектор $\bar{f} = \langle f_1, \dots, f_n \rangle$, такой, что $f_i \in \text{type } F_i$ и $\text{val } \bar{f}(\tau_i) = f_i$, $i = 1, \dots, n$. Из (1) следует, что система (2) имеет наименьшее решение. Если \bar{f} —наименьшее решение системы (2), то через f_p условимся обозначать функцию f_1 , яв-

ляющуюся семантикой функциональной программы (2).

Пусть P программа вида (1), тогда

$$\delta(P) = \{ \exists y (F_1(\bar{x}_0) = y \ \& \ y \neq \perp) \mid \bar{x}_0 = \langle x_1^0, \dots, x_k^0 \rangle, x_i^0 \in M, i = 1, \dots, k \}$$

Определим интерпретатор U . Пусть P программа вида (1), $Q \in \delta(P)$ и имеет вид $\exists y (F_1(\bar{x}_0) = y \ \& \ y \neq \perp)$. Тогда, если $f_P(\bar{x}_0) = y_0 \neq \perp$, то $U(P, Q) = y_0$, если же $f_P(\bar{x}_0) = \perp$, то U на P и Q либо функционировать бесконечно, либо $U(P, Q) = \text{нет}$.

Пусть P — программа вида (1), $Q \in \delta(P)$ и имеет вид $\exists y (F_1(\bar{x}_0) = y \ \& \ y \neq \perp)$, тогда имеют место теоремы 1 и 2.

Теорема 1.

а) $P \models Q \Leftrightarrow$ существует единственное $y_0 \in M$, такое, что $P \models F_1(\bar{x}_0) = y_0 \ \& \ y_0 \neq \perp$;

б) $f_P(\bar{x}_0) = y_0$ и $y_0 \neq \perp \Leftrightarrow P \models F_1(\bar{x}_0) = y_0 \ \& \ y_0 \neq \perp$;

с) $P \models Q \Leftrightarrow f_P(\bar{x}_0) \neq \perp$.

Теорема 2.

а) Если $U(P, Q) = y_0 \in M$, то $P \models F_1(\bar{x}_0) = y_0 \ \& \ y_0 \neq \perp$;

б) если $U(P, Q) = \text{нет}$, то $P \not\models Q$;

с) если $P \models Q$, то $U(P, Q) = f_P(\bar{x}_0) \neq \perp$.

Следствие теоремы 2. Интерпретатор U удовлетворяет условиям, налагаемым на интерпретатор логического языка программирования, и является логически полным.

Ереванский государственный университет

Ս. Ա. ՆԻՆԻԱՆ

Մաթեմատիկական լեզուների տրամաբանական կոնցեպցիա

Ճրված է ծրագրավորման տրամաբանական լեզվի և նրա սեմանտիկայի սահմանում: Ապացուցված է, որ յուրաքանչյուր ծրագրավորման ֆունկցիոնալ լեզու կարող է սահմանվել որպես ծրագրավորման տրամաբանական լեզու, այսինքն որոշվում է տրամաբանական սեմանտիկա ֆունկցիոնալ ծրագրավորման լեզուների համար: Ստացված արդյունքը տալիս է ալգորիթմական լեզուների տրամաբանական սեմանտիկայի նկարագրման միջոց, քանի որ յուրաքանչյուր ալգորիթմական լեզու կարող է սահմանվել որպես ծրագրավորման ֆունկցիոնալ լեզու:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ С. А. Нигиян, Программирование, № 5, с. 77—86, 1991. ² С. А. Нигиян, Программирование, № 2, с. 58—68, 1993. ³ У. Клоксин, К. Меллиш, Программирование на языке Пролог, М., Мир, 1987. ⁴ С. С. Гончаров, Д. И. Свириденко, Логико-математические проблемы МОЗ, Новосибирск, вып. 107, Вычислительные системы, с. 3—29, 1985. ⁵ Д. Мейер, Теория реляционных баз данных, М., Мир, 1987.

УДК 539.3

Н. С. Мелкумян

**Об антиплоском вдавливании двух жестких штампов в упругую
полуплоскость с полубесконечным вертикальным разрезом**

(Представлено чл.-корр. НАН Армении Б. Л. Абрамяном 7/VII 1992)

Рассматривается антиплоская контактная задача для упругого изотропного полупространства ($x \geq 0$) с полубесконечным вертикальным разрезом ($a < x < \infty$). На конечных участках горизонтальной границы полупространства прикреплены два штампа конечных размеров ($b \leq y \leq c$), симметрично расположенные относительно оси разреза.

Принимается, что на штампы на границе полупространства и на берегах разреза действуют силы, приводящие к состоянию антиплоской деформации.

Задача решена методом Фурье в перемещениях.

В силу кососимметрии граничных условий достаточно рассматривать только квадрат ($0 < x < \infty$, $0 < y < \infty$) с смешанными граничными условиями.

Решение задачи ищется в виде сумм интегралов Фурье. Для определения неизвестных плотностей интегралов Фурье получена система «парных» и «тройных» интегральных уравнений. Эта система в свою очередь сводится к интегральному уравнению типа Фредгольма второго рода. Доказана разрешимость этого уравнения, в частности, решение может быть найдено методом последовательных приближений.

По известным формулам можно определить напряжения вне разреза и перемещения берегов разреза. Выделена особенность и вычислен коэффициент интенсивности напряжений в начале разреза.

При приравливании значения коэффициента интенсивности напряжений к критической величине по теории хрупкого разрушения материала получается выражение, которое определяет распространение разреза и его устойчивость.

В частном случае, когда длина разреза стремится к нулю, получается антиплоская задача теории упругости для полупространства без разреза. В этом случае решение задачи получается в замкнутом виде.

В силу кососимметрии достаточно рассматривать только область квадранта, при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} \tau_{zx}(0, y) &= 0, & 0 < y < b, \quad c < y < \infty \\ u_z(0, y) &= \lambda & b < y < c \\ \tau_{xy}(x, 0) &= f_1(x), & a < x < \infty \end{aligned} \quad (1)$$

и условие кососимметрии

$$u_z(x, 0) = 0, \quad 0 < x < a \quad (2)$$

Решение задачи ищется в виде сумм интегралов Фурье

$$u_z(x, y) = \int_0^{\infty} A(\alpha) e^{-\alpha x} \sin \alpha y d\alpha + \int_0^{\infty} C(\beta) e^{-\beta y} \cos \beta x d\beta.$$

Тогда для касательных напряжений имеются:

$$\begin{aligned} \tau_{zx} &= -G \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) e^{-\alpha x} \sin \alpha y d\alpha - G \int_0^{\infty} \beta C(\beta) e^{-\beta y} \sin \beta x d\beta; \\ \tau_{zy} &= G \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) e^{-\alpha x} \cos \alpha y d\alpha - G \int_0^{\infty} \beta C(\beta) e^{-\beta y} \cos \beta x d\beta. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $A(\alpha)$ и $C(\beta)$ неизвестные функции, подлежащие определению из граничных условий (1) и (2). Удовлетворив граничным условиям (1) и (2), получается следующая система «тройных» и «парных» интегральных уравнений:

$$\begin{cases} -G \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) \sin \alpha y d\alpha = 0, & 0 < y < b \\ \int_0^{\infty} A(\alpha) \sin \alpha y d\alpha = \delta - \int_0^{\infty} C(\beta) e^{-\beta y} d\beta, & b < y < c \\ -G \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) \sin \alpha y d\alpha = 0, & c < y < \infty \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} C(\beta) \cos \beta x d\beta = 0, & 0 < x < a \\ \int_0^{\infty} \beta C(\beta) \cos \beta x d\beta = -\frac{1}{G} f_0(x) + \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) e^{-\alpha x} d\alpha, & a < x < \infty \end{cases} \quad (5)$$

«Парные» интегральные уравнения, подобные (5), рассматривались в работах (2,3) и др. Используя результаты работы (2), для функции $C(\beta)$ получается следующее выражение из (5):

$$C(\beta) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \varphi_1(r) J_1(\beta r) dr - \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) d\alpha \int_0^{\infty} r K_1(\alpha r) J_1(\beta r) dr, \quad (6)$$

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

$$\varphi_1(r) = \frac{1}{G} \int_0^{\infty} \frac{x f_1(x) dx}{\sqrt{x^2 - r^2}},$$

«Тройные» интегральные уравнения, подобные (4), рассматривались в работе (4) и др. Используя результаты работы (4), из (4) получаем:

$$A^*(\alpha) = \alpha A(\alpha); \quad (7)$$

$$A^*(z) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n^* J_{2n-1}(cz); \quad (8)$$

$$A_n = (-1)^{n+1} A_n^*; \quad (9)$$

$$A_n = 2\xi(0) \sin \frac{\lambda}{2} + 4n(1-n) \sin^3 \frac{\lambda}{2} \cdot \int_0^1 s \xi(s) F\left(n+1, -n; 2; s^2 \sin^2 \frac{\lambda}{2}\right) ds; \quad (10)$$

$$\xi(s) = \frac{4}{\pi} \int_0^s \frac{\mu \Psi' \left[2 \arcsin \left(\mu \sin \frac{\lambda}{2} \right) \right]}{\sqrt{s^2 - \mu^2}} d\mu + Q; \quad (11)$$

$$b = c \cos \frac{\lambda}{2} \quad (12)$$

$$\Psi' \left[2 \arcsin \left(\mu \sin \frac{\lambda}{2} \right) \right] = -\frac{c}{2} \mu \sin \frac{\lambda}{2} \int_0^\infty \beta c(\beta) e^{-\beta c \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\lambda}{2}}} d\beta, \quad (13)$$

где $F(\alpha, \mu, \gamma, z)$ — гипергеометрический ряд:

Q — постоянная, которая должна быть найдена путем подстановки (8) и (11) во второе уравнение из (4), при $y=b$.

Путем подстановки (6) и (9) в (8), с учетом (10), (11), (12) и (13), для определения функции $A(\alpha)$ получается интегральное уравнение типа Фредгольма второго рода:

$$A(\alpha) = Q(\alpha) + \int_0^\infty A(\gamma) K(\gamma, \alpha) d\gamma \quad (14)$$

где

$$Q(\alpha) = 2Q \sin \frac{\lambda}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_{2n-1}(c\alpha)}{\alpha (-1)^{n+1}} + 2Q \sin^3 \frac{\lambda}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(1-n)}{(-1)^{n+1}} F\left(1+n, -n; 2; \sin^2 \frac{\lambda}{2}\right) \frac{J_{2n-1}(c\alpha)}{\alpha} - \frac{8c}{\pi^2} \sin^4 \frac{\lambda}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(1-n)}{(-1)^{n+1}} F\left(1+n, -n; 2; \sin^2 \frac{\lambda}{2}\right) \frac{J_{2n-1}(c\alpha)}{\alpha} \cdot \int_0^\infty \beta d\beta \int_0^s \frac{\mu^2}{\sqrt{s^2 - \mu^2}} e^{-\beta c \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\lambda}{2}}} d\mu \int_a^\infty \varphi_1(r) J_1(\beta r) dr; \quad (15)$$

$$K(\gamma, \alpha) = \frac{8c}{\pi^2} \sin^4 \frac{\lambda}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(1-n)}{(-1)^{n+1}} F\left(1+n, -n; 2; \sin^2 \frac{\lambda}{2}\right) \frac{J_{2n-1}(c\alpha)}{\alpha} \cdot \int_0^\infty \beta d\beta \int_0^s \frac{\mu^2}{\sqrt{s^2 - \mu^2}} e^{-\beta c \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\lambda}{2}}} d\mu \cdot \int_a^\infty \gamma r K_1(\gamma r) J_1(\beta r) dr \quad (16)$$

Исходя из (4) и асимптотического разложения функций Бесселя и Макдональда для больших α получается, что

$$\lim_{\alpha \rightarrow \infty} \Omega(\alpha) = 0 \quad \text{и} \quad \int_0^{\infty} |K(\gamma, \alpha)| d\gamma < 1. \quad (17)$$

Значит, интегральное уравнение (14) можно решить методом последовательных приближений. Далее, по формуле (6) определяется искомая функция $s(\beta)$.

Напряжения и перемещения по известным формулам (2) и (3) будут определены в любой точке полуплоскости. В частности, напряжения вне разреза и перемещения берегов разреза ($y=0$) определяются формулами:

$$\begin{aligned} \tau_{xy}(x, 0) = & G \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) e^{-\alpha x} d\alpha + \\ & + \frac{2}{\pi} G \frac{\varphi_1(a)}{\sqrt{a^2 - x^2}} - \frac{2}{\pi} G \int_a^{\infty} \frac{[\varphi_1(r)]' dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} - \\ & - \frac{2}{\pi} \frac{Ga}{\sqrt{a^2 - x^2}} \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) K_1(\alpha a) d\alpha + \\ & + \frac{2}{\pi} G \int_0^{\infty} \alpha^2 A(\alpha) d\alpha \int_a^{\infty} \frac{r K_0(\alpha r) dr}{\sqrt{r^2 - x^2}}, \quad 0 < x < a; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} u_x(x, 0) = & \frac{2}{\pi} \int_a^x \frac{r \varphi_1(r) dr}{\sqrt{x^2 - r^2} (x + \sqrt{x^2 - r^2})} + \frac{2}{\pi} \int_x^{\infty} \frac{\varphi_1(r) \cos\left(\arcsin \frac{x}{r}\right) dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} - \\ & - \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) d\alpha \int_a^x \frac{r^2 K_1(\alpha r) dr}{\sqrt{x^2 - r^2} (x + \sqrt{x^2 - r^2})} - \\ & - \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) d\alpha \int_x^{\infty} \frac{r K_1(\alpha r) \cos\left(\arcsin \frac{x}{r}\right) dr}{\sqrt{r^2 - x^2}}, \quad a < x < \infty. \end{aligned} \quad (19)$$

Коэффициент особенности K_{III} имеет вид

$$K_{III} = \frac{2}{\pi} G \left\{ \varphi_1(a) + \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) a K_1(\alpha a) d\alpha \right\}. \quad (20)$$

Приравняв значение коэффициента интенсивности напряжений (20) к критической величине ($K_{III} = K_c$) по теории хрупкого разрушения (5), получается выражение, которое определяет распространение трещины и ее устойчивость.

Институт механики НАН Армения

Կիսաանվերջ ուղղահայաց ճեղքով առածգական կիսահարթության վրա երկու կոշտ դրոշմների հակահարթ ճնշման մասին

Դիտարկվում է հակահարթ կոնտակտային խնդիր կիսաանվերջ ճեղքով, առածգական, իզոտրոպ կիսատարածության համար: Կիսատարածության հորիզոնական սահմանի եզրային տեղամասերում, ճեղքի առանցքի նկատմամբ համաչափ ամրակցված են վերջավոր շափերի երկու դրոշմներ: Ընդունվում է, որ դրոշմների, կիսատարածության սահմանի և ճաքի ափերի վրա ազդում են հակահարթ ղեֆորմացիոն վիճակի հանգեցնող ուժեր: Խնդիրը լուծվում է Ֆուրյեի մեթոդով տեղափոխություններով: Եզրային պայմանների հակասիմետրիայի շնորհիվ բավական է դիտարկել միայն խառը եզրային պայմաններով քառորդ հարթությունը:

Խնդրի լուծումը փնտրվում է Ֆուրյեի ինտեգրալների գումարի տեսքով: Ինտեգրման անհայտ ֆունկցիաները որոշելու համար ստացվել է «գույգ» և «երիցս» ինտեգրալ հավասարումների համակարգ: Այդ համակարգն իր հերթին բերվում է Ֆրեդհոլմի տիպի երկրորդ սեռի ինտեգրալ հավասարման: Ապացուցված է այդ հավասարման լուծելիությունը, մասնավորապես, լուծումը կարող է գտնվել հաջորդական մոտավորությունների մեթոդով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ В. Новацкий, Теория упругости, М., Мир, 1975. ² В. С. Топоян, С. А. Мелкумян, ДАН АрмССР, т. 51, № 3 (1970). ³ Я. С. Уфлянд, Метод парных уравнений в задачах математической физики, Л., Наука, 1977. ⁴ В. С. Топоян, ДАН АрмССР, т. 37, № 3 (1963). ⁵ П. П. Черепанов, Механика хрупкого разрушения, М., Наука, 1974.

УДК 535.341

Ф. П. Сафарян, Г. Г. Демирханян

Обменная электрон-фононная передача энергии электронного возбуждения в примесных диэлектрических кристаллах

(Представлено академиком НАН Армении М. Л. Тер-Микаеляном 15/VII 1993)

1. Известно, что в кристаллах при высоких концентрациях примесных ионов, когда расстояния между ними минимальны, эффективная безызлучательная передача энергии (БПЭ) электронного возбуждения между примесными центрами может происходить по обменному механизму за счет перекрытия волновых функций донорного и акцепторного ионов. При этом процессы БПЭ могут индуцироваться как кулоновским взаимодействием примесных ионов (кулоновский механизм), так и их взаимодействием через поле фононов решетки (электрон-фононный (ЭФ) механизм). Причем возможны как резонансные переходы, когда в результате процессов БПЭ колебательное состояние кристалла не меняется, так и нерезонансные, когда БПЭ сопровождается испусканием или поглощением фононов решетки. Исследованию кулоновских обменных механизмов БПЭ посвящено много теоретических и экспериментальных работ (см., например, (1-3)), в то время как ЭФ механизму БПЭ при интерпретации экспериментальных данных не уделяется внимания. В данной статье вычисляется вероятность ЭФ резонансной обменной БПЭ между примесными ионами. Проводятся количественные оценки для вероятностей БПЭ, происходящих в кристаллах ИАГ, активизированных ионами Nd^{3+} , Er^{3+} и Yb^{3+} .

2. Допустим, что в момент времени $t=0$ возбужден первый примесный ион (донор) в состоянии λ' с энергией $\epsilon_{\lambda'}$. Нужно найти вероятность того, что в момент времени $t>0$ возбужденным окажется второй примесный ион (акцептор) в состоянии μ' с энергией $\epsilon_{\mu'}$, а донор перейдет в свое основное состояние λ . В результате энергия возбуждения донора $\epsilon_{\lambda'}$ передается акцептору. При этом будем предполагать, что имеется некоторая расстройка от резонанса, т. е. $\epsilon_{\lambda'} - \epsilon_{\mu'} = \hbar \Delta \neq 0$. Процедура вычисления вероятностей внутрицентровых и межцентровых переходов, основанная на применении метода двух-временных температурных функций Грина, развита в (4,5). Взяв за основу линейный по фононным операторам член в гамильтониане ЭФ взаимодействия системы «примесный ион + фононы решетки»

$$H = \sum_{\lambda} \epsilon_{\lambda} a_{\lambda}^{\dagger} a_{\lambda} + \sum_{\mu} \hbar \omega_{\mu} b_{\mu}^{\dagger} b_{\mu} + \sum_{\alpha \gamma \gamma'} V_{\alpha}^{(\alpha)}(\gamma \gamma') a_{\alpha}^{\dagger} a_{\alpha} (b_{\alpha}^{\dagger} + b_{\alpha}) \quad (1)$$

и проводя вычисления методом, развитым в (5), для вероятности обменной ЭФ передачи энергии получим следующее выражение:

$$W_{эф} = \frac{2\pi}{\hbar} \left| \sum_{\alpha} \frac{2\hbar\omega_{\alpha}}{\varepsilon_{\lambda\mu}^2 - (\hbar\omega_{\alpha})^2} B_{\alpha}^{(1)}(\lambda\mu) B_{\alpha}^{(1)}(\lambda'\mu') \left[1 + \frac{\Delta(2\nu_{\alpha} + 1)}{2\omega_{\alpha}} \right] \right|^2 g(\Delta), \quad (2)$$

где ω_{α} — частота фонона типа α : $\alpha+$ и $\alpha-$ (b_{α}^{+} и b_{α}^{-}) — электронные (фононные) операторы рождения и уничтожения; $B_{\alpha}^{(1)}(\nu, \nu')$ — коэффициенты ЭФ взаимодействия примесного иона с колебаниями решетки: $\nu_{\alpha} = \left[\exp\left(\frac{\hbar\omega_{\alpha}}{kT}\right) - 1 \right]^{-1}$; $g(\Delta)$ — интеграл перекрытия функций спектрального распределения $g_{\lambda\mu}(E)$ и $g_{\lambda'\mu'}(E)$ соответствующим переходам $\lambda' \rightarrow \lambda$ и $\mu \rightarrow \mu'$. Если в качестве этих функций взять лоренцевский контур линии, то для $g(\Delta)$ нетрудно получить

$$g(\Delta) = \frac{1}{\pi} \frac{(\Gamma_{\lambda\lambda} + \Gamma_{\mu'\mu}) [(\Gamma_{\lambda\lambda} - \Gamma_{\mu'\mu})^2 + \Delta^2]}{\Delta^2 + 2\Delta^2(\Gamma_{\lambda\lambda}^2 + \Gamma_{\mu'\mu}^2) + (\Gamma_{\lambda\lambda}^2 - \Gamma_{\mu'\mu}^2)^2}, \quad (3)$$

где $\Gamma_{\nu\nu} = \Gamma_{\nu} + \Gamma_{\nu}$ (Γ_{ν} — ширина уровня ν). Если ограничиться рассмотрением процессов резонансной миграции энергии ($\varepsilon_{\alpha} \ll \hbar\omega_D$, ω_D — частота Дебая кристалла), то, как видно из (2), основной вклад дают акустические фононы. Тогда, используя выражение для коэффициентов $B_{\alpha}^{(1)}(\nu, \nu')$ в длинноволновом приближении (5)

$$B_{\alpha}^{(1)}(\nu, \nu') = \sqrt{\frac{\hbar\omega_{\alpha}}{Mv_0^2}} \langle \nu | V^{(1)} | \nu' \rangle \sin \delta_{\alpha} \quad (4)$$

и переходя в (2) от суммирования по фононам к интегрированию, используя приближение Дебая для колебаний, получим

$$W_{эф} = \frac{9\omega_D}{2\hbar\pi^2\rho^2v_0^3} \left| \langle \nu | V^{(1)} | \mu \rangle \langle \lambda' | V^{(1)} | \mu' \rangle \right|^2 I(a, \Delta) g(\Delta). \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) введены следующие обозначения: M — масса кристалла, v_0 — средняя скорость акустических волн в кристалле; δ_{α} — случайная фаза колебаний; $V^{(1)}$ — однофононный член в гамильтониане ЭФ взаимодействия, зависящий от электронных операторов $\hat{r}'_{i,m}(b, \varphi)$; ρ — плотность кристалла; $a = \varepsilon_{\lambda\mu} / \hbar\omega_D$.

$$I(a, \Delta) = \left(\frac{T}{T_D} \right)^3 \int_0^{T_D/T} dx \frac{x^4}{a^2 - (Tx/T_D)^2} \left[1 + \frac{\hbar\Delta}{kT} \frac{2\nu(x) + 1}{x} \right]. \quad (6)$$

Явный вид для операторов $V^{(1)}$ для восьмикратно координированного куба приведен в (6). Отметим, что в частном случае точного резонанса

$\Delta = 0$ и $a = 0$ из (6) получаем $I(0, 0) = -\frac{1}{3}$ и (5) переходит в известное выражение (3).

Очевидно, что температурная зависимость вероятности БПЭ определяется интегралом (6) и величиной $g(\Delta)$.

Для вычисления входящих в (5) матричных элементов можно воспользоваться генеалогической схемой Рака, предварительно выразив волновые функции примесного иона в виде суперпозиции по произведениям одноэлектронных волновых функций, затем в последних со-

вершив преобразование параллельного переноса $r_2 = r_1 - R$ для получения волновой функции акцептора в системе координат, связанной с ядром донора:

$$R_{nl}(r_2)Y_{lm}(\theta_2, \varphi_2) = \sum_{k=0}^l C_{lk}(r_1 R) Y_{k,m}(\theta_1, \varphi_1).$$

После этого задача сводится к легко вычисляемым матричным элементам типа $\langle R_{nl}(r_1)Y_{lm}(\theta_1, \varphi_1) | r_1^k Y_{kl}(\theta_1, \varphi_1) | C_{lk}(r_1 R) Y_{km}(\theta_1, \varphi_1) \rangle$. В результате для матричных элементов, вычисленных на волновых функциях $(4f)^N$ электронной конфигурации, получаем следующее выражение:

$$\begin{aligned} \langle 4f^N L S M_L M_S | r^k Y_{kl} | 4f^N L' S' M'_L M'_S \rangle &= \delta_{LL'} \delta_{SS'} \delta_{M_L M'_L} \delta_{M_S M'_S} N \cdot \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi}} \times \\ &\times \sum_{k=0}^l (-1)^{k+l} R^{l-k} \langle r \rangle_{l+k;l} \sum_{L_0 S_0} (f^N L S \parallel f^{N-1} L_0 S_0) (f^{N-1} L_0 S_0 \parallel f^N L' S') \times \\ &\times \sum_{m_1 m_2 M_0} C_{k_0 l_0}^{l_0} C_{L_0 M_0 l_0}^{L M} C_{L_0 M_0 l_0}^{L' M'} C_{k m_1 m_2}^{l m} C_{k m_2 l m}^{l m} \quad (7) \end{aligned}$$

где $(f^N L S \parallel f^{N-1} L_0 S_0)$ — генеалогические коэффициенты, выражающие волновые функции f^N конфигурации через волновые функции f^{N-1} конфигурации (7), L и S — орбитальный и спиновый моменты, M_L и M_S — их проекции; C_{lmkp}^{LM} — коэффициенты Клебша—Гордана, табулированные в (8),

$$\langle r \rangle_{l+k;l} = \int dr_1 R_{ll}(r_1) \frac{r_1^{l+k+2}}{r_2^l} R_{ll}(r_2) \quad (8)$$

интеграл перекрытия радиальных волновых функций донора и акцептора, которым в основном и определяется концентрационная зависимость вероятности БПЭ. Очевидно в случае резонансной миграции энергии по одноименным ионам наибольший вклад в вероятность БПЭ дает первый член разложения $V^{(1)}$ по мультипольным моментам ($V^{(1)} = V^{(1)}_0 + V^{(1)}_1 + \dots$), т. е. член с $l=0$. Тогда из (7) сразу получаем

$$\langle 4f^N L S M_L M_S | r^0 Y_{00} | 4f^N L S M_L M_S \rangle = \frac{N}{4\pi} \langle r \rangle_{3;3}, \text{ а для вероятности БПЭ}$$

$$W_{эф} = \frac{9\omega_D^2}{2\pi^3 \rho^2 v_0^{10}} \left(\frac{8Ze^2 n}{3r_0} \right)^4 \langle r \rangle_{3;3}^4 z^2(a, \Delta) g(\Delta), \quad (9)$$

где Z — эффективный заряд ионов; r_0 — радиус первой координационной сферы примесного иона; n — число эквивалентных электронов в $4f$ -оболочке, если она заполнена менее половины, и дырок, если $4f$ -оболочка заполнена более половины. Подставляя численные значения параметров, входящих в (9), для кристаллов ИАГ — TR^{3+} ($TR^{3+} = Nd, Er, Yb$): $\rho = 4,56$ г/см³, $v_0 = 5,58 \cdot 10^5$ см/с, $r_0 = 2,37$ А, $T_A = 750$ К, $\Gamma = 1 \div 2$ см⁻¹ получим:

$$\begin{aligned} W(Nd) &= 1,1 \cdot 10^{24} Z^4 \langle r_{Nd} \rangle_{3;3}^4 \\ W(Er) &= 2,6 \cdot 10^{23} Z^4 \langle r_{Er} \rangle_{3;3}^4 \\ W(Yb) &= 1,3 \cdot 10^{23} Z^4 \langle r_{Yb} \rangle_{3;3}^4. \end{aligned} \quad (10)$$

Используя (10), по формуле $W(R_0)\tau = 1$ (τ — время жизни возбужден-

ных донорных уровней при малых концентрациях примесей) можно определить критическое расстояние R_0 между донором и акцептором, при котором вероятность БПЭ равна вероятности внутрицентровых переходов. В результате численного расчета интегралов $\langle r \rangle_{3:3}$, проведенного на базе хартри-фоковских радиальных волновых функций ионов Nd^{3+} , Er^{3+} и Yb^{3+} (⁹), для критических расстояний получим следующие значения: $R_0(Nd) = 6,7$ А, $R_0(Er) = 5,2$ А, $R_0(Yb) = 4,7$ А. При этом использовались следующие значения времен жизни метастабильных уровней примесных ионов: $\tau_{Nd}(^4F_{3/2}) = 256$ мкс, $\tau_{Er}(^4I_{13/2}) = 640$ мкс, $\tau_{Yb}(^2F_{5/2}) = 1,2$ мс.

Таким образом, обменный ЭФ механизм приводит к эффективному переносу энергии на расстояниях $R_0 \approx 5-7$ А между примесными ионами. Более того, так как вероятность обменной кулоновской миграции энергии по одноименным ионам равна (³)

$$W_{кул} = \frac{2\pi}{h} \frac{n^4 e^4}{R^2} \langle r \rangle_{3:3}, \quad (11)$$

то, как показывает сравнение выражений (9) и (11), по крайней мере для рассматриваемых кристаллических систем ЭФ механизм обменной БПЭ намного эффективнее кулоновского механизма:

$$W_{эф} = 30 \cdot R^2 W_{кул}.$$

Армянский педагогический институт им. Х. Абовяна

Ֆ. Պ. ՍԱՅԱՐՅԱՆ, Գ. Կ. ԿԵՍԻՐԻԱՆՅԱՆ

Էլեկտրոնային զրգուման էներգիայի փոխանակային էլեկտրոն-ֆոնոնային փոխանցումը խառնուրդային դիէլեկտրիկ բյուրեղներում

Հաշվված է էլեկտրոնային զրգուման էներգիայի ուղղանսային ոչ ճառագայթային փոխանցման հավանականությունը, որը պայմանավորված է խառնուրդային իոնների ալիքային ֆունկցիաների փոխադարձ ծածկումով (փոխանակային մեխանիզմ): Ենթադրվում է, որ էներգիայի փոխանցումը իրականացվում է իոնների միջև էլեկտրոն-ֆոնոնային փոխազդեցության շնորհիվ: Կատարված է այդպիսի պրոցեսների հավանականության քանակական գնահատումը YAG—TR³⁺ (TR = Nd, Er, Yb) բյուրեղային համակարգերի համար և որոշված են այդ համակարգերում էներգիայի փոխանցման կրիտիկական հեռավորությունները, երբ էներգիայի փոխանցման պրոցեսները դառնում են ավելի արդյունավետ, քան միջիոնային անցումները: Յույց է տրված, որ փոխանցման էլեկտրոն-ֆոնոնային մեխանիզմը ավելի արդյունավետ է, քան էներգիայի փոխանցման փոխանակային կոլոնյան մեխանիզմը:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ D. L. Dexter, J. of Chem. Phys., v. 21, № 3, p. 836 (1953). ² M. Inokuti, F. Niroyama, J. of Chem. Phys., v. 43, № 6, p. 1978 (1965). ³ Գ. Գ. Демирханян, Ф. П. Сафарян, Изв. АН АрмССР. Физика, т. 18, № 4, с. 212 (1983). ⁴ С. В. Тябликов, Метод функций Грина в статистической механике, М., Ф.-М., 1961. ⁵ Ф. П. Сафарян, Изв. АН АрмССР. Физика, т. 16, № 4, с. 295 (1981). ⁶ Գ. Գ. Демирханян, Ф. П. Сафарян, Уч. зап. ЕрГУ. Физика, № 2, с. 61 (1981). ⁷ C. W. Nielson, G. F. Köster, Spectroscopic coefficients for pⁿ, dⁿ and fⁿ configurations, The M. I. T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1963. ⁸ Д. А. Варшалович, А. И. Москалев, В. К. Херсонский, Квантовая теория углового момента, Л., Наука, 1975. ⁹ К. Тејлор, М. Дарби, Физика редкоземельных соединений, М., Мир, 1974.

УДК 541.15:621.315.594

Г. Э. Шахназарян, А. Г. Саркисян, В. М. Аракелян, Дж. А. Тернер
член-корреспондент НАН Армении В. М. Арутюнян

Исследование квантовой эффективности полупроводниковых фотоэлектродов $\text{Fe}_2\text{O}_3\langle\text{Zr}\rangle$

(Представлено 16/VIII 1993)

Перспективы применения фотоэлектродов из окиси железа в фотоэлектрохимических ячейках для фоторазложения воды на водород и кислород обусловлены их относительной узкозонностью, устойчивостью к фотокоррозии, а также простотой изготовления поликристаллических образцов⁽¹⁾. Однако Fe_2O_3 относится к тем материалам, в которых реализуется в основном прыжковый механизм проводимости, а для последнего, как известно, характерны низкие значения подвижности носителей заряда. С этим связаны трудности на пути использования Fe_2O_3 в качестве фотоэлектродов и, в частности, низкий квантовый выход, составляющий даже для монокристаллических образцов при больших анодных смещениях $\sim 20\%$ ⁽²⁾.

В настоящей работе исследованы спектральные зависимости квантовой эффективности фотоэлектродов из поликристаллической Fe_2O_3 , легированной 1 ат. % Zr. Исследуемые полупроводниковые образцы были получены по технологии, указанной в⁽³⁾. Методика получения спектральных характеристик описана в⁽⁴⁾.

Исследования квантовой эффективности были проведены в кислом растворе $1\text{M}\text{H}_2\text{SO}_4$ при разных электродных потенциалах, а также в щелочном растворе $0,1\text{M}\text{NaOH}; 0,1\text{M}\text{Na}_2\text{SO}_4; 0,3\text{M}\text{Na}_2\text{S}$ при электродном потенциале 0,7 В. Начало фототока исследуемых электродов соответствует длине волны ~ 650 нм. Максимальная эффективность собирания носителей наблюдается при энергии падающих фотонов $\sim 3,5$ эВ. Квантовая эффективность фотоэлектродов $\text{Fe}_2\text{O}_3\langle\text{Zr}\rangle$ в щелочном растворе значительно превышает квантовую эффективность в кислом растворе и увеличивается с ростом внешнего смещения. Ожидаемого увеличения fotocувствительности при добавлении в щелочной раствор сульфида не наблюдалось.

В соответствии с моделью Гартнера, успешно используемой для описания физических процессов на границе раздела полупроводник — электролит^(5,6), абсолютная величина фототока определяется как

$$I_{\phi} = q\Phi_0 \left[1 - \frac{\exp(-\alpha W)}{1 + \alpha L_p} \right], \quad (1)$$

где W — ширина области пространственного заряда в полупроводнике

$$W = \left(\frac{2\epsilon\epsilon_0}{qN_d} \right)^{1/2} \left(\varphi - \varphi_{пз} - \frac{kT}{q} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

Φ_p — плотность светового потока, поглощенного полупроводником, α — коэффициент поглощения, L_p — диффузионная длина неосновных носителей заряда, $\varphi_{пз}$ — потенциал плоских зон, φ — электродный потенциал, ϵ и ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость полупроводника и вакуума, соответственно, q — элементарный заряд. В (1) учтены как составляющая тока, созданная генерацией носителей внутри обедненного слоя, так и составляющая, обусловленная фотогенерацией носителей в объеме полупроводника и их последующей диффузией в область пространственного заряда.

Квантовая эффективность, определяемая как отношение числа перенесенных в электрической цепи электронов к числу поглощенных полупроводником фотонов, имеет вид

$$\eta = 1 - \frac{\exp(-xW)}{1 + \alpha L_p}. \quad (3)$$

Это уравнение с учетом выражения для W (2) может быть записано как

$$\ln(1 - \eta) = -\alpha \left(\frac{2\epsilon\epsilon_0}{qN_d} \right)^{1/2} \left(\varphi - \varphi_{пз} - \frac{kT}{q} \right)^{1/2} - \ln(1 + \alpha L_p), \quad (4)$$

откуда следует, что прямолинейные зависимости

$$\ln(1 - \eta) = i \left(\sqrt{\varphi - \varphi_{пз} - \frac{kT}{q}} \right)$$

позволяют при известном потенциале плоских зон, концентрации N_d носителей и диэлектрической проницаемости рассчитать коэффициент поглощения полупроводника и оценить диффузионную длину неосновных носителей заряда.

Результаты такого расчета коэффициента поглощения для фотоэлектродов $\text{Fe}_2\text{O}_3 < \text{Zr} >$ приведены в табл. 1. Значения концентрации ионизированных при комнатной температуре носителей заряда и потенциала плоских зон получены из исследований вольтемкостных характеристик ⁽⁷⁾, а диэлектрическая проницаемость принималась равной 120 ⁽²⁾.

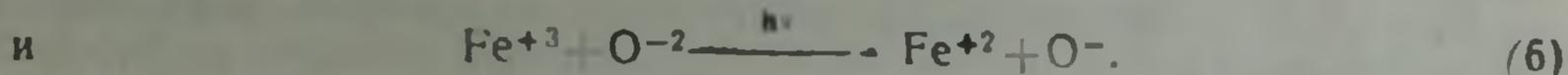
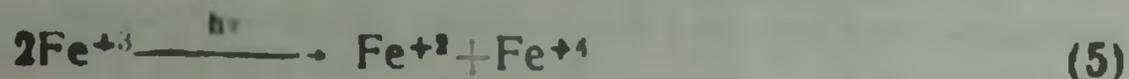
Таблица 1

λ , нм	400	420	440	460	480	500	520	540
$\alpha \cdot 10^4$, см ⁻¹	3,15	2,45	1,85	1,27	0,79	0,58	0,48	0,34

Рассчитанные из спектральных характеристик значения коэффициента поглощения меньше значений, получаемых из прямых (оптических) измерений ⁽⁸⁾. Подобное расхождение было отмечено ранее ⁽⁹⁾ и связано с возможностью существования в Fe_2O_3 различного типа переходов. В литературе нет однозначного вывода о возможных процессах генерации носителей Fe_2O_3 . Авторами ⁽¹⁰⁾ теоретически предсказано три пика оптического поглощения в гематите с энергиями 2,4,

3,2 и 5,8 эВ, соответствующих возбуждению между $d \rightarrow d$ состояниями ионов железа и $3d$ -состояниями ионов железа и $2p$ -состояниями кислорода. Согласно (1) расстояние между заполненными и пустыми d -уровнями железа $\sim 1,7$ эВ, а основное поглощение, наблюдаемое при $\sim 1,9$ эВ, связано с переходами из заполненной кислородной зоны на $3d$ -уровни железа.

В принципе ясно, что возможными процессами генерации носителей в Fe_2O_3 являются



В первом случае дырка образуется на состояниях иона железа, во втором — в кислородной валентной зоне. Большие значения коэффициента поглощения, получаемые при оптических измерениях, говорят о перекрывании этих двух процессов. Основной вклад в ток фотоэлектролиза, вероятно, дают дырки, образующиеся на состояниях кислорода в валентной зоне согласно процессу (6), так как дырки Fe^{+4} из-за малых значений подвижности не в состоянии выделять кислород из воды. В то же время есть вероятность, что захваченные ионами железа Fe^{+2} электроны не могут свободно передвигаться и вносить вклад в ток фотоэлектролиза.

Вблизи края поглощения, как известно, коэффициент поглощения следует зависимости

$$\alpha = A \frac{(h\nu - E_g)^{n/2}}{h\nu} \quad (7)$$

где A — постоянная, не зависящая от энергии падающих фотонов $h\nu$, E_g — ширина запрещенной зоны полупроводника. Показатель n определяется типом переходов: $n=4$ для непрямых и $n=2$ для прямых переходов. Рассчитанная нами спектральная зависимость коэффициента поглощения спрямляется в координатах $\{(\alpha h\nu)^{1/2}, h\nu\}$. Это означает, что в фотоэлектродах $\text{Fe}_2\text{O}_3 \langle \text{Zr} \rangle$ имеют место непрямые переходы. Полученная прямая позволила оценить значения ширины перехода (1,95 эВ) и постоянной A ($6,4 \cdot 10^4$).

При выполнении условий $\alpha L_p \ll 1$ и $\alpha W \ll 1$, обычно имеющих место в используемых в фотоэлектрохимических ячейках полупроводниковых фотоэлектродах, получим соответственно

$$\eta = \alpha (W + L_p) \quad (8)$$

$$\eta = A (W + L_p) \cdot \frac{(h\nu - E_g)^{n/2}}{h\nu} \quad (9)$$

откуда

$$(\eta h\nu)^{2/n} = A^{2/n} (W + L_p)^{2/n} (h\nu - E_g) \quad (10)$$

Зависимость $((\eta h\nu)^{2/n} = f(h\nu))$ позволяет определить ширину перехода, а также при известном значении A оценить величину $W + L_p$.

Анализ спектральных характеристик фотоэлектродов позволил помимо указанного выше непрямого перехода шириной 1,95 эВ установить еще один непрямо́й переход шириной 2,17 эВ и прямой переход шириной 2,68 эВ.

Таблица 2

Состав электрода	$\sigma, \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	$N_d \cdot 10^{18}, \text{ см}^{-3}$	$L_p \cdot 10^{-7}, \text{ см}$	$\varphi, \text{ В/НКЭ/}$	$W \cdot 10^{-7}, \text{ см}$	$L_E \cdot 10^{-7}, \text{ см}$	$L \cdot 10^{-7}, \text{ см}$
$\text{Fe}_{1,93}\text{Zr}_{0,07}\text{O}_3$	0.127	3.5	3.0	0.05	10.0	1.38	3.77
				0.25	28.6	3.10	4.93
				0.45	40.9	3.88	5.51
				0.7	147.0	3.53	5.25

В табл. 2 приведены рассчитанные значения средней диффузионной длины неосновных носителей заряда, ширины области пространственного заряда, дрейфовой длины

$$L_E = \frac{q}{kT} \cdot \frac{L_p^2 V_H}{W} \quad (11)$$

(V_H — изгиб зон в полупроводнике) и глубины слоя, из которого фотогенерированные носители могут достичь межфазной границы и принять участие в процессе выделения кислорода из воды

$$L = \frac{2L_p^2}{\sqrt{L_E^2 + 4L_p^2} - L_E} \quad (12)$$

Как видно, диффузионная длина дырок и глубина L в образцах $\text{Fe}_2\text{O}_3\langle\text{Zr}\rangle$ меньше ширины области пространственного заряда. Следовательно, фотогенерированные вне области пространственного заряда носители в принципе не могут вносить вклад в ток фотоэлектролиза. Учитывая, что глубина проникновения света значительно превышает ширину пространственного заряда (например, при $\lambda \sim 400 \text{ нм}$ $l \sim 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$), можно заключить, что основные потери тока фотоэлектролиза обусловлены рекомбинацией в объеме полупроводника. Можно ожидать, что при выполнении условия $l/\alpha < W + L_p$, при котором большая часть падающего излучения будет поглощаться в пределах области пространственного заряда, значения квантового выхода будут выше. С большими значениями $W + L_p$, вероятно, связаны и относительно большие значения эффективности сбора носителей заряда в щелочном растворе.

Таким образом, проведенные нами исследования спектральных зависимостей квантовой эффективности фотоэлектродов $\text{Fe}_2\text{O}_3\langle\text{Zr}\rangle$ позволили оценить такие важные параметры, как коэффициенты поглощения, диффузионная и дрейфовая длины, ширина области пространственного заряда и глубина слоя L , а также установить ширину переходов. Основной причиной низкой квантовой эффективности исследуемых фотоэлектродов являются, по-видимому, малые значения диффузионной длины. Вследствие этого рекомбинация как в объеме, так и в области пространственного заряда приводит к значительным потерям фототока. Из приведенных оценок следует также, что улучшение фотоэлектрохимического поведения фотоэлектродов $\text{Fe}_2\text{O}_3\langle\text{Zr}\rangle$ можно ожидать при уменьшении концентрации легирующего элемента до некоторой оптимальной величины, обеспечивающей одновременно минимальные омические потери и максимально возможную диффузионную длину.

Գ. Է. ՇԱՆՈՋԱՐՅԱՆ Ա. Գ. ՍԱՐԴՍՅԱՆ, Վ. Մ. ԱՌԱՅԵԼՅԱՆ,
Զ. Ա. ԲԻՐՆԵՐ, Հայաստանի ԳԱԱ բզբակից սեղամ Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

$Fe_2O_3 < Zr >$ կիսահաղորդչային ֆոտոէլեկտրոդների բվանտային
էֆեկտիվության նետագոսումը

Հետագոտվել են 1 առ. % Zr լեգիրացված բազմաբյուրեղային կիսահաղորդչային Fe_2O_3 -ից պատրաստված ֆոտոէլեկտրոդների բվանտային էֆեկտիվության սպեկտրայ կախվածությունները: Հաստատված է հետագոտվող նմուշներում երկու ոչ ուղիղ և մեկ ուղիղ անցումների առկայությունը համապատասխանաբար 1,95, 2,17 և 2,68 էվ լայնությամբ: Հաշված են կլանման գործակիցը և ոչ հիմնական լիցքակիրների դիֆուզիոն երկարությունը, ինչպես նաև տարածական լիցքի տիրույթի լայնությունը, լիցքակիրների դրեյֆտ երկարությունը և այն շերտի խորությունը, որտեղից ֆոտոզենեբրացված լիցքակիրները հասնում են միջֆազային սահման և մասնակցում ջրի օքսիդացման ռեակցիային: Ֆույց է տրված, որ լիցքակիրների դիֆուզիոն փոքր երկարության պատճառով ֆոտոէլեկտրոլիզի հոսանքի կորուստները պայմանավորված են ինչպես ծավալային, այնպես էլ կիսահաղորդչի տարածական լիցքի տիրույթում ընթացող ռեկոմբինացիայով:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Ю. В. Плесков. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. М. Химия, 1980. ² R. K. Quin, R. D. Nasby, R. J. Vaughan, Mat. Res. Bull. v. 11, p. 1011—1018 (1976). ³ В. М. Арутюнян, А. Г. Саркисян, В. М. Аракелян и др. Учен. зап. ЕГУ, № 1, с. 73—78, 1984. ⁴ J. E. Turner, M. Hendewerk, J. Parmeter et al., J. Electrochem. Soc., v. 131, p. 1777—1783 (1984). ⁵ M. T. Gutierrez, P. Salvador, Solar Energy Materials, v. 15, p. 99—113 (1987). ⁶ В. М. Арутюнян УФН, т. 158, с. 255—291 (1989). ⁷ В. М. Арутюнян, А. Г. Саркисян, Дж. А. Тернер и др. в кн.: Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии. Новосибирск. Наука, с. 181—185, 1987. ⁸ R. F. G. Gardner, F. Sweett, D. W. Tanner, J. Phys. Chem. Solids, v. 24, p. 1183—1196 (1963). ⁹ J. H. Kennedy, K. W. Frese, J. Electrochem. Soc., v. 125, p. 709—714 (1978). ¹⁰ N. C. Debnath, A. B. Anderson, J. Electrochem. Soc., v. 129, p. 2169—2174 (1982). ¹¹ F. J. Morin, Phys. Rev. v. 93, p. 1195—1199 (1954).

УДК 576.314

Г. А. Сарибекян, С. А. Баджиян, Т. Н. Арутюнян

О действии липосомальной формы иммунокорректирующего препарата миелопид при экспериментальной острой лучевой болезни

(Представлено чл.-корр. НАН Армении С. С. Оганесяном 20/VIII 1993)

Применение липосом для направленной доставки лекарственных препаратов и биологически активных соединений — одно из наиболее интенсивно развиваемых направлений в биологии и медицине. Преимущества этой транспортной системы определяются отсутствием цитотоксичности, деградацией в биологических системах, иммунологической инертностью. Список препаратов, включаемых в липосомы к настоящему времени, очень велик. К ним относятся антибиотики, цитотоксические вещества, применяемые при лечении новообразований, ферменты, различные вакцины, гормоны и другие соединения (1-4).

В 1974 г. из костного мозга был выделен и охарактеризован медиатор иммунной системы — миелопид, представляющий соединение пептидной природы, обладающий также и способностью восстанавливать показатели иммунитета при вторичных иммунодефицитных состояниях (5,6). Изучено действие различных доз и схем применения этого препарата на выживаемость и параметры иммунного статуса летально облученных животных (7,8). Целью настоящей работы являлось исследование липосомальной формы этого препарата при экспериментально вызванной острой лучевой болезни.

Опыты проводили на 60 мышах линии СВА массой 20—25 г. Животных облучали однократно на цезиевой установке в дозе 6,2 Гр. Миелопид вводили внутривенно после облучения в 1-е и 3-и сутки. Количество лимфоцитов селезенки (спленоцитов) и стволовых клеток костного мозга определяли микроскопически.

Большие однослойные липосомы, состоящие из лецитина и холестерина в соотношении 7:3, готовили методом обращения фаз (9). Полученные липосомы отделяли от невключившегося раствора миелопида центрифугированием 100 000 г 60 мин. Процент захвата миелопида липосомами определяли путем йодирования миелопида. Йодированный миелопид ($3 \cdot 10^5$ имп/мкг белка) использовали для включения в липосомы. Для счета радиоактивности брали аликвоту ресуспендированного осадка липосом. Захват миелопида липосомами составляет примерно 10—15% от начальной концентрации.

Для исследования биораспределения липосом, содержащих миелопид, полученные липосомы в конечном объеме 200 мкл. общей ра-

диоактивностью $12 \cdot 10^6$ имп/мин вводили мышам в хвостовую вену. Через 0,5, 1,5 и 20 ч животных декапитировали и определяли распределение липосом в крови, печени, селезенке, почках и костном мозге. Радиоактивность просчитывали на гамма-счетчике «Тракор Аналитик».

В работе использованы яичный лецитин производства Харьковского завода бактериальных препаратов, холестерин, йодоген фирмы «Sigma». Миелопид выделен и любезно предоставлен Р. Н. Степаненко из Института иммунологии АМН России.

Результаты, полученные по влиянию миелопида, включенного в липосомы, на некоторые параметры иммунной системы, представлены в табл. 1. Из приведенных данных следует, что уже на 5-й день после облучения у мышей, которым вводили инкапсулированный миелопид, количество спленоцитов выше в 2 раза по сравнению с животными, которым ввели миелопид в свободной форме. На 10-й день число спленоцитов возрастает еще на 36%. К 20-у дню после облучения этот показатель приближается к биоконтрольному уровню. В течение наблюдаемого периода происходит и нарастание количества стволовых клеток костного мозга, также практически приближающееся к биоконтрольному уровню, в отличие от действия свободного миелопида.

Таблица 1

Количество спленоцитов и стволовых клеток костного мозга у животных, которым вводили миелопид в свободной и липосомальной формах

Исследуемые параметры и сроки	Биоконтроль	Контроль (облучение)	Миелопид свободный, 100 мкг	Миелопид в липосомах
Спленоциты $\cdot 10^6$				
5 сутки	$8,04 \pm 0,16$	$2,3 \pm 0,03$	$3,30 \pm 0,22$	$5,74 \pm 0,32$
10 сутки		$1,86 \pm 0,20$	$6,47 \pm 0,18$	$7,84 \pm 0,30$
20 сутки		$1,60 \pm 0,04$	$5,21 \pm 0,28$	$7,95 \pm 0,20$
Стволовые клетки кост. мозга $\cdot 10^6$	$12,0 \pm 0,1$			
5 сутки		$1,25 \pm 0,03$	$1,70 \pm 0,04$	$3,55 \pm 0,80$
10 сутки		$3,75 \pm 0,12$	$6,90 \pm 0,12$	$7,08 \pm 0,81$
20 сутки		$2,55 \pm 0,35$	$6,35 \pm 0,15$	$9,87 \pm 1,2$

Результаты, полученные в экспериментах по исследованию биораспределения липосом, содержащих ^{125}J -миелопид, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение липосом с включенным ^{125}J -миелопидом в различные сроки после внутривенного введения

Исследуемый орган	Радиоактивность ткани через 0,5 ч (имп/мин)	Радиоактивность ткани через 1,5 ч (имп/мин)	Радиоактивность ткани через 20 ч (имп/мин)
Кровь	4070	2830	236
Почки	1800	900	1254
Селезенка	3210	4350	4737
Печень	5179	6779	10380
Костный мозг	1980	1867	2865

Измерение радиоактивности различных тканей выявило, что через 30 мин после введения липосом самая высокая активность обнаруживается в крови, печени и селезенке. Через 1,5 ч радиоактивность крови снижена, и самый высокий уровень наблюдается в печени и селе-

зенке. Через 20 ч радиоактивность в крови почти не обнаруживается. В печени она максимальная, в селезенке поддерживается первоначальный уровень, а в костном мозге она повышена.

Полученные нами ранее (7) и в данной работе результаты свидетельствуют о том, что введение миелопида в ранний период после облучения приводит к увеличению выживаемости животных, что обусловлено, по-видимому, ускоренным восстановлением клеточности костного мозга и селезенки. Данные результаты согласуются и с фактами о влиянии миелопида на процессы дифференцировки иммунокомпетентных клеток, являющихся предшественниками фагоцитирующих клеток у необлученных животных и в системах *in vitro* (10).

Включение миелопида в липосомы из лецитина и холестерина приводит к ускорению процессов дифференцировки стволовых клеток костного мозга и лимфоцитов селезенки в 2 раза по сравнению со свободной формой этого препарата. Высокая эффективность действия липосомальной формы миелопида, вещества пептидной природы, обусловлена, по-видимому, защищенностью от протеолитических ферментов, быстрым выведением его из кровотока и накоплением в определенных органах, о чем свидетельствуют полученные нами данные по биораспределению миелопида. Более того, есть и литературные данные, указывающие на значительное накопление липосом в костном мозге, в частности, в его фагоцитирующих клетках (11). Необходимо учесть также, что содержание миелопида в липосомах составляет 8—10 мкг, а наблюдаемый эффект превосходит таковой, оказываемый дозой 100 мкг в свободной форме.

Полученные результаты позволяют предположить, что применение липосомальной формы миелопида может стать перспективным методом в комплексном лечении лучевой болезни.

Институт радиационной и народной медицины МЗ Армении

Գ. Ա. ՍԱՐԻԲԵԿՅԱՆ, Ս. Ա. ԲԱԶԻՆՅԱՆ, Տ. Ն. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Իմունոկարգավորիչ միելոպիդի դեղանյութի լիպոսոմալ ձևի ազդեցությունը փորձառական սուր ճառագայթային հիվանդության ժամանակ

Ցույց է տրված, որ իմունոկարգավորիչ միելոպիդի դեղանյութը ունի ազդեցողական ազդեցություն: Ուսումնասիրվել է միելոպիդի ազդեցությունը փայծախի իմֆոցիտների և ոսկրածծի բջիջների վրա:

Ներկայացված են տվյալները կենդանիների օրգանիզմում միելոպիդի պարունակող լիպոսոմների բաշխման մասին: Ցույց է տրված, որ միելոպիդի լիպոսոմալ ձևը 2 անգամ ավելի էֆեկտիվ է վերականգնում նշված բջիջների քանակը ճառագայթային հիվանդության ժամանակ:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 Finkelstein, Weissman, J. of Lipid Res., v. 19, p. 291 (1978). 2 K. K. Eklund, P. K. Kinnunen, Duodecim, 105 (1), p. 21—28 (1989). 3 J. F. Fidler, J. Immunology v. 127, № 2, p. 1719—1726 (1981). 4 D. A. Tyrrell, T. D. Heath, C. M. Colley, BBA, v. 457, p. 259—302 (1976). 5 Л. А. Захарова, Н. Е. Галкина, Бюл. эксп. биол. № 9, с. 67—69, (1974). 6 А. А. Михайлова, Л. А. Захарова, Журн. Всес. хим. о-ва им. Д. Менделеева, т. 33, № 5, с. 545 (1988). 7 С. А. Баджиян, Г. А. Сарибекян, М. С. Сычева и др., в кн.: Совр. аспекты рад. медицины, с. 59—63. 8 Р. Н. Степаненко, С. А. Баджиян, Б. Б. Мороз и др. Иммунология, № 3, с. 53—60, 1993. 9 F. JR., Szoka, D. Parahadjopoulos, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, v. 75, № 9, p. 4194—4198 (1978). 10 Д. Н. Линднер, О. Н. Стеценко, Л. В. Талапова, Иммунология, № 4, с. 44—49 (1988). 11 J. Senior, J. C. W. Crawley, G. Gregoriadis, BBA, v. 839, p. 1—8 (1985).

УДК 577.37

А. С. Оганесян, член-корреспондент ПАН Армении С. С. Оганесян

Изменение кинетических параметров гемолиза эритроцитов в присутствии кальций антагонистов

(Представлено 7/IX 1993)

Присутствие медленных кальциевых каналов в мембране эритроцитов⁽¹⁾, кардиомиоцитов и мышц, вариабельность чувствительности этих каналов к верапамилу могут быть отражены в степени изменчивости кинетических параметров разного типа гемолиза эритроцитов.

Целью настоящей работы было выявление механизмов взаимодействия верапамила с эритроцитами с помощью анализа кинетики осмотического, сапонинового и кислотного гемолиза.

Автоматическую регистрацию хода гемолиза проводили модифицированным методом на лазерном агрегометре. Анализ кривых гемолиза проводили по методу А. Г. Агамаяна, С. С. Оганесяна⁽²⁾. Разработанный метод требовал всего 20 мкл крови, 20 мкл исследуемого вещества и 500 мкл гемолитической среды на каждую пробу. Гемолиз проводили при $t=37^{\circ}\text{C}$ с быстрым перемешиванием, что позволяло сократить время диффузии исследуемого вещества к мембранам эритроцитов. Очищенные эритроциты получали по общепризнанному методу⁽³⁾. Обработку результатов проводили статистическим пакетом SWP4 на компьютере. Использованы: верапамил (изоптин) гидрохлорида фирмы «ЛЕК» и сапонины фирмы «Merk».

Верапамил в микромолярных концентрациях не вызывал лизиса клеток, после инкубации в течение часа с эритроцитами в изотонической среде. Однако его влияние обнаруживалось на кинетике процесса гемолиза при пороговых значениях гемолизирующих факторов. В табл. 1 приведены значения константы скорости гипоосмотического и сапонинового гемолиза на прямолинейном участке гемолиза, а в табл. 2—длительность начальной фазы сапонинового гемолиза, при разных концентрациях верапамила.

Бифазный профиль взаимодействия верапамила с эритроцитами для гипоосмотического гемолиза, относительно контрольного значения, указывает на схожесть характера взаимодействия с анестетиками, которые в анестезирующих дозах оказывают антигемолитическое действие⁽⁴⁾. С другой стороны, высокие концентрации верапамила могут действовать на биомембрану как катионы, аналогично ионам кальция. Проникая через липидный слой в цитоплазму клетки, верапамил может замещать ионы кальция на кальцийсвязывающих участках⁽⁵⁾.

Таблица 1

Влияние верапамила на константу скорости гемолиза эритроцитов человека
(среднее из 4-х измерений)

Верапамил в среде	Осмотический гемолиз (0,35% NaCl Трис/НСl буфер, рН 7,4)				Сапоциновый гемолиз (0,025 мг сап + 0,9% NaCl Трис/НСl буфер, рН 7,4)			
	Испытуемые				Испытуемые			
	1-ый	2-ой	3-ий	4-ый	1-ый	2-ой	3-ий	4-ый
$5 \cdot 10^{-3}$ М	$0,2 \pm 0,05$	$0,1 \pm 0,02$	$0,2 \pm 0,00$	$0,1 \pm 0,00$	$3,9 \pm 0,17$	$2,1 \pm 0,11$	$1,9 \pm 0,03$	$1,6 \pm 0,08$
$5 \cdot 10^{-4}$ М	$1,7 \pm 0,09$	$0,2 \pm 0,00$	$0,2 \pm 0,00$	$0,6 \pm 0,00$	$1,9 \pm 0,10$	$1,0 \pm 0,05$	$0,8 \pm 0,05$	$0,7 \pm 0,05$
$5 \cdot 10^{-5}$ М	$2,0 \pm 0,05$	$0,4 \pm 0,01$	$2,7 \pm 0,03$	$1,0 \pm 0,14$	$2,1 \pm 0,26$	$0,8 \pm 0,03$	$0,6 \pm 0,03$	$0,5 \pm 0,03$
$5 \cdot 10^{-6}$ М	$2,0 \pm 0,14$	$0,4 \pm 0,01$	$3,0 \pm 0,03$	$0,9 \pm 0,03$	$1,5 \pm 0,08$	$0,7 \pm 0,03$	$0,6 \pm 0,05$	$0,4 \pm 0,10$
$5 \cdot 10^{-7}$ М	$2,3 \pm 0,21$	$0,3 \pm 0,05$	$2,8 \pm 0,15$	$0,8 \pm 0,03$	$1,6 \pm 0,30$	$0,8 \pm 0,03$	$0,7 \pm 0,06$	$0,3 \pm 0,03$
$5 \cdot 10^{-8}$ М	$1,7 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,26$	$2,9 \pm 0,06$	$0,9 \pm 0,07$	$1,8 \pm 0,00$	$0,8 \pm 0,03$	$0,5 \pm 0,06$	$0,3 \pm 0,00$
Без верапамила	$0,9 \pm 0,03$	$0,2 \pm 0,03$	$1,6 \pm 0,03$	$0,3 \pm 0,02$	$2,8 \pm 0,43$	$0,8 \pm 0,05$	$0,8 \pm 0,06$	$0,6 \pm 0,06$

Концентрация 2,2 мкмоль/л эквивалентна количеству верапамила, рекомендуемого для терапевтического использования в клинике (1).

Таблица 2.

Влияние верапамила на длительность начальной фазы (в сек) сапонинового гемолиза эритроцитов человека (средние данные из 4-х измерений у отдельных лиц)

Верапамил в среде	Испытуемые			
	1-ый	2-ой	3-ий	4-ый
$5 \cdot 10^{-3}$ М	$37 \pm 1,15$	$61 \pm 2,94$	$55 \pm 2,32$	$62 \pm 1,68$
$5 \cdot 10^{-4}$ М	$68 \pm 6,00$	$100 \pm 3,11$	$109 \pm 6,91$	$113 \pm 4,80$
$5 \cdot 10^{-5}$ М	$62 \pm 9,16$	$153 \pm 14,57$	$128 \pm 6,49$	$115 \pm 3,80$
$5 \cdot 10^{-6}$ М	$61 \pm 0,88$	$118 \pm 1,89$	$121 \pm 6,61$	$128 \pm 8,10$
$5 \cdot 10^{-7}$ М	$66 \pm 9,50$	$105 \pm 5,50$	$120 \pm 7,88$	$120 \pm 5,21$
$5 \cdot 10^{-8}$ М	$63 \pm 3,00$	$115 \pm 2,38$	$130 \pm 6,83$	$134 \pm 4,04$
Без вера- памила	$47 \pm 3,67$	$110 \pm 5,31$	$112 \pm 10,32$	$110 \pm 5,79$

тем самым увеличивая концентрацию свободного кальция в цитозоле. Повышение внутриклеточного кальция вызывает потерю ионов калия, гидролиз АТФ, трансформацию в эхиноциты, делая эритроциты более осмотически резистентными и менее деформируемыми (⁶). Верапамил специфически угнетает связывание кальция с низкоаффинными участками в концентрации 1,4 мкмоль, снижая кальцийсвязывающую емкость клетки и уменьшая таким образом количество потока кальция внутрь через медленные каналы (⁷).

Известно, что гипоосмотический гемолиз эритроцитов имеет три фазы: увеличение объема при сохранении постоянной величины площади поверхности, увеличение поверхности за счет растяжения мембраны и переход в пульсирующую фазу, заканчивающуюся появлением пор и лизисом клетки (⁸). Установление действия верапамила на каждую из этих фаз способствует выяснению механизма его взаимодействия с компонентами мембраны. Так при сфероцитозе, вызванном термическим взаимодействием ($+47^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$) или действием хлорпромазина (400 мкмоль/л) имеет место частичное блокирование медленных кальциевых каналов терапевтическими дозами верапамила ($5 \cdot 10^{-6}\text{M}$) (¹).

Молекулы сапонины способны формировать комплексы с мембранным холестерином и, удаляя их, вызывать гемолиз эритроцитов (⁹). Верапамил в высоких концентрациях вызывает перераспределение отдельных липидов, тем самым увеличивая доступ молекул детергента к холестериновым участкам, приводя в конечном итоге к укорочению начальной фазы и увеличению константы скорости сапонинового гемолиза на прямолинейном участке гемолиза.

Достаточно заметных изменений константы скорости и длительности начальной фазы кислотного гемолиза, вызванного верапамилем, не выявлено.

Аналогичное действие верапамила обнаружено при гемолизе отмытых эритроцитов для каждого исследуемого типа гемолиза.

Полученные результаты указывают на возможность четкого обнаружения эффекта биологически активных соединений на фоне малейших изменений состояния биомембран в условиях оценки кинетики их разрушения.

Էրիթրոցիտների հեմոլիզի կինետիկական չափանիշների փոփոխությունը
 Ca^{2+} -անտազոնիստների ազդեցության ներքո

Մշակվել է հատուկ եղանակ արյան կարմիր բջիջների կենսաթաղանթի քայքայման կինետիկական չափանիշների արձանագրության օգնությամբ թաղանթների վրա ազդող դեղանյութերի ուսումնասիրման համար: Ցույց է տրվել, որ կենսաթաղանթները քայքայող գործոնների շեմքային քանակների ներկայությունը միջավայրում զգալի չափով բարձրացնում է զգայնությունը թաղանթային Ca^{2+} -ի անցուղիների արգելակիչների հանդեպ և հնարավորություն է տալիս ստանալու ավելի ծավալուն ինֆորմացիա:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ R. Johnsson, N. E. Saris, Clinica Chemica Acta, v. 174, p. 141—148 (1988). ² А. Г. Агамаян, С. С. Оганесян. Космическая биология и авиакосмическая медицина, т. 6, с. 60—62). ³ Биополямеры, ред. Ю. Изаняси, Мир, М., (1988). ⁴ Е. А. Черницкий, А. В. Воробей. Структура и функции эритроцитарных мембран, Минск, Наука и техника, (1981). ⁵ М. А. Кайфаджян, Биол. журн. Армении, т. 40, № 7, с. 554—559 (1987). ⁶ J. W. Eaton, R. F. Bronda, Amer. J. Hemotol., v. 9, p. 391—399 (1980). ⁷ А. Флекенштейн, Г. Флекенштейн-Грюн, В кн.: Физиология и патофизиология сердца, ред. Н. Сперелакис, т. 1, с. 476—503. М., Медицина, (1990). ⁸ Ю. М. Петренко, Ю. А. Владимиров, Биофизика, т. 32, 3, с. 448—453 (1987). ⁹ E. Peuchant, Ch. Salles, Clinica Chemica Acta, v. 178, p. 271—282 (1988).

УДК 577.151.05+577.175.82

А. А. Симонян, Р. А. Степанян

**Функционирование митохондрий печени крыс при совместном
воздействии на организм низкой температуры, ультрафиолетового
облучения и гормонов**

(Представлено чл.-корр. НАН Армении С. С. Оганесяном 24/XI 1993)

В работе была поставлена цель изучить функционирование митохондрий (МХ) печени при совместном воздействии ультрафиолетового облучения (УФО) и гормонов при глубоком охлаждении крыс. Определяли интенсивность дыхания и окислительного фосфорилирования (ОФ) в интактных митохондриях печени крыс и влияние тироксина (Т4) и эстрадиола (ЭД) на эти процессы. Предпринята попытка изучения перекисного окисления липидов (ПОЛ), играющих важную роль в ответной реакции организма на изменения окружающей среды, в условиях эксперимента.

Опыты проводили на митохондриальной фракции печени 46 одномесячных крыс. Животных охлаждали непосредственно перед началом эксперимента в холодильной камере при -20°C в течение 20 мин. Источником облучения служила ртутно-кварцевая лампа типа ПРК-2. Облучение проводили в течение всего опытного периода (4 дня) с экспозицией 3 мин в день с фокусным расстоянием 0,6 м от животных. В опытах с применением гормонов крысам вводили тироксин и эстрадиол внутривенно в течение четырех дней по 10 мкг/г массы (¹). Выделение митохондриальной фракции из печени, поглощение кислорода, эстерификацию неорганического фосфата и ПОЛ определяли по методам, подробно приведенным в наших предыдущих работах (^{2,3}).

Данные изменения скорости окисления в митохондриях, выделенных из печени крыс, подвергшихся одновременному охлаждению и УФО, сведены в табл. 1. Как явствует из приведенных результатов, охлаждение и особенно УФО вызывает резкий подъем дыхания, тогда как при совместном действии этих факторов интенсивность поглощения кислорода падает даже ниже контрольных цифр. Совсем иная картина наблюдается в процессе эстерификации неорганического фосфата. Если низкая температура не меняет скорость фосфорилирования, то УФО в два раза подавляет эстерификацию фосфата митохондрий печени крыс. При совместном действии охлаждения и УФО утилизация неорганического фосфата, по сравнению с контролем, понижается почти в 4 раза. Соответственно уменьшается величина Р/О. Как показывают полученные результаты, охлаждение и УФО совместно с введением

Таблица 1

Интенсивность дыхания и окислительного фосфорилирования в МХ печени крыс, подверженных охлаждению, ультрафиолетовому облучению и действию гормонов (ΔO и ΔP в мкатомах/мг белка/45 мин) $n=10$.

Варианты опыта	ΔO	ΔP	P/O
Контроль	3,72	4,27	1,20
Охлаждение	4,07	4,62	1,21
Введение тироксина	4,39	0,95	0,22
Охлаждение и введение тироксина	4,41	2,75	0,62
УФО	5,37	2,41	0,50
УФО и охлаждение	3,01	1,27	0,62
УФО и введение тироксина	5,70	0,50	0,07
УФО, охлаждение и введение тироксина	3,34	3,73	1,04
УФО, охлаждение и введение эстрадиола	4,77	4,69	0,98

гормонов значительно стимулирует интенсивность дыхания, однако эстерификацию неорганического фосфата во всех случаях резко подавляет, за исключением УФО+эстрадиол+охлаждение. Соответственно реагирует на эти изменения и величина соотношения P/O.

Параллельное исследование аскорбатзависимого ПОЛ (табл. 2) во всех исследуемых вариантах показало, что скорость окисления пере-

Таблица 2

Содержание перекисей липидов в митохондриях печени крыс (нмоль малонового диальдегида на мг белка) $n=10$.

В а р и а н т ы о п ы т а			
Контроль	1,28	УФО и охлаждение	0,95
Охлаждение	1,95	УФО и введение тироксина	1,91
Введение тироксина	1,28	УФО, охлаждение и введение тироксина	1,10
Охлаждение и введение тироксина	1,48	УФО, охлаждение и введение эстрадиола	2,40
УФО	1,25		

кисей липидов чувствительно возрастает при охлаждении и в вариантах охлаждение+тироксин, УФО+тироксин и УФО+ЭД+охлаждение. В остальных случаях количество перекисей или не меняется, или падает.

Рассмотренные выше данные о накоплении липидных перекисей в митохондриях печени параллельно возрастанию интенсивности дыхания могут свидетельствовать о том, что в условиях нашего эксперимента количество перекисей, по всей вероятности, недостаточно для ингибирования процесса дыхания и в некоторых случаях фосфорилирования.

Подводя итоги наших опытов, можно заключить, что при адаптации животных к изменяющимся условиям внешней среды, в частности, к низким температурам, УФО не всегда способствует более скорому выходу животного из стрессового состояния, тогда как гормональные добавки больше благоприятствуют стабилизации окислительного фосфорилирования.

Առնեստի լյարդի միտոխոնդրիումների գուծառումը օրգանիզմի վրա ցածր թերմատիմանների, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների և հորմոնների համատեղ ազդեցության դեպքում

Ուսումնասիրվել է խորը սառեցման (-20°C), թիրոքսին և էստրադիոլ հորմոնների, ինչպես նաև ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների (ՈՒՄՃ) ազդեցությունը 1-ամսական սպիտակ առնետների լյարդից անջատված միտոքոնդրիումներում թթվածնի կլանման, անօրգանական ֆոսֆատի էսթերիֆիկացման, ինչպես նաև լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման վրա: Ցույց է տրվել, որ ինչպես սառեցման, այնպես էլ ՈՒՄՃ ազդեցությամբ լյարդի միտոքոնդրիումներում թթվածնի կլանումը զգալիորեն խթանվում է, սակայն այդ դորժոնների համատեղ ներգործության դեպքում այն նորմալի սահմանից իջնում է ցած: ՈՒՄՃ ազդեցությամբ ստուգիչի համեմատությամբ երկու անգամ ճնշվում է նաև ֆոսֆատի էսթերիֆիկացումը: Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման պրոցեսը լյարդի միտոքոնդրիումներում զգալիորեն խթանվում է կենդանիների սառեցման, ինչպես նաև սառեցման + թիրոքսինի ու ՈՒՄՃ համատեղ օգտագործման դեպքում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Н. Х. Абляев, Т. Ю. Шулакова-Коваль, Д. Х. Хамидов. Онтогенез, т. 12, № 1, с. 46—50 (1981). ² А. А. Симонян, Р. А. Степанян, Р. Б. Бадалян и др., Биол. журн. Армении, т. 38, № 3, с. 209—215 (1985). ³ Р. А. Степанян, А. А. Симонян, Журн. эволюционной биохимии и физиологии, т. 26, № 1, с. 73—77 (1990).

УДК 612.53

К. Р. Арутюнян, Л. А. Саакова, Р. А. Арутюнян, Дж. К. Хачатрян

Роль норадренергических структур в соматотропиновой регуляции температурного гомеостаза организма при разных температурах среды

(Представлено академиком НАН Армении В. В. Фанарджяном 7/VI 1993)

Одним из активных пептидов, выделяемых аденогипофизом, является соматотропин, который приводит к повышению синтеза белка, регулирует жировой и углеводный обмен, способствует росту скелета. Доказано, что секреция соматотропина усиливается стрессорными стимуляторами и опосредуется через норадренергические структуры организма (1-4).

Нами установлено, что соматотропин участвует в регуляции температурного гомеостаза организма, что реализуется через его норадренергические структуры. Введение соматотропина в организм на фоне нормотермии и блокады его бета-адренорецепторов вызывает гипотермический эффект, а введение этого пептида на фоне блокады альфа-адренорецепторов вначале вызывает гипо-, а затем гипертермический эффект. В настоящей работе мы попытались выяснить особенности соматотропиновой регуляции температурного гомеостаза и роль адренорецепторов в этой регуляции на высоком и низком температурном фоне организма и среды. Эксперименты проводились в двух сериях. В первой серии изучали роль адренорецепторов в соматотропиновой регуляции температурного гомеостаза организма на его низком температурном фоне, в условиях температуры среды $+7^{\circ}\text{C}$. Во второй серии проводились аналогичные эксперименты на высоком температурном фоне при температуре среды $+37^{\circ}\text{C}$.

В экспериментах изучалась динамика изменения температуры «ядра» в области ободочной кишки, бедренных мышц и «оболочки» организма, в области хвостовой артерии. Температуру ободочной кишки регистрировали на глубине 4—5 см. «Рабочие» спай медно-константовых термодпар, регистрирующие мышечную температуру, с помощью инъекционной иглы вводили в мышцы бедра перед каждым опытом, на глубину 1,5—2 см. Термодпару, измеряющую артериальную температуру, прикрепляли в области хвостовой артерии. Запись исследуемых температурных точек производили 12-канальным самопишущим потенциометром типа ЭППО9-МЗ, который подключался к выходу фотоэлектрического усилителя типа Ф-116/2 с чувствительностью измерения $0,013^{\circ}\text{C}$ для температуры «ядра» и $0,13^{\circ}\text{C}$ для температуры «оболочки» организма и термокамеры.

Работа выполнена на 36-ти крысах и проведено 12 месточасовых хронических экспериментов. Порядок ведения опыта был следующим: вначале в течение 30 мин проводили контрольную регистрацию с целью установления плато исследуемых показателей, затем двум группам экспериментальных крыс (по 18 животных в каждой группе), соответственно, внутривенно вводили альфа-адреноблокатор (фентоламин в дозе 0,3 мл/на 100 г массы) или бета-адреноблокатор (обзидан в дозе 0,2 мг/на 100 г массы), а третьей, контрольной, группе вводили физиологический раствор в дозе 0,3 мл/на 100 г массы. Через 30 мин после блокады адренорецепторов всем трем группам животных внутривенно вводили соматотропин в дозе 0,28 мг/на 100 г массы. Далее в течение 60 мин продолжалось синхронное термограммирование исследуемых показателей органов «ядра» и «оболочки» организма под воздействием соматотропина на фоне блокады адренорецепторов в условиях низкой или высокой температуры окружающей среды.

1. Роль бета-адренергических структур в соматотропиновой регуляции температурного гомеостаза организма. Полученные данные экспериментов этой серии показали, что в условиях высоких температур среды системное введение соматотропина на фоне блокады бета-адренорецепторов повышало температуру ободочной кишки значительно меньше, чем введение этого пептида в организм на фоне физиологического раствора. Из табл. 1 видно, что в первом случае кишечная температура повышалась на $1,26^{\circ}$, а во втором — на $1,61^{\circ}$ ($P < 0,001$). Мышечная температура повышалась, соответственно, на $1,90$ и $1,72^{\circ}\text{C}$ ($P < 0,01$). Что касается температуры кожных сосудов, то в обоих случаях она повышалась на $3,8^{\circ}\text{C}$ ($P < 0,001$).

В условиях низкой температуры окружающей среды введение соматотропина в организм на фоне блокады бета-адренорецепторов не изменяло температуру тела, тогда как в аналогичных условиях введение соматотропина на фоне физиологического раствора вызывало обратный эффект и кишечная температура повышалась в среднем на $0,39^{\circ}$. Что касается температуры скелетной мускулатуры, то она в обоих случаях снижалась в пределах $1,07$ — $1,12^{\circ}$ ($P < 0,05$), а температура кожных сосудов в первом случае снижалась на $4,61$, а во втором — на $3,54^{\circ}$ ($P < 0,05$).

2. Роль альфа-адренергических структур в соматотропиновой регуляции температурного гомеостаза организма. Табл. 2 показывает, что в условиях высоких температур среды внутривенная инъекция соматотропина как на фоне блокады альфа-адренорецепторов, так и на фоне физиологического раствора вызывала одинаковый эффект, и в обоих случаях кишечная и мышечная температура повышалась соответственно на $1,55$ и $1,98^{\circ}\text{C}$ ($P < 0,001$), а температура «оболочки» организма повышалась в пределах $2,5$ — $3,0^{\circ}$ ($P < 0,001$).

В условиях низких температур среды введение этого пептида в организм на фоне физиологического раствора и на фоне блокады его альфа-адренорецепторов снижало кишечную температуру соответственно на $0,63$ и $0,73^{\circ}\text{C}$, а температура скелетной мускулатуры повышалась в первом случае на $0,15$, а во втором — на $0,24^{\circ}\text{C}$. Температура «оболочки» организма под воздействием соматотропина на фоне блокады альфа-адренорецепторов повышалась на $0,1^{\circ}$, а на фоне физиологического раствора, наоборот, снижалась на $1,11^{\circ}\text{C}$.

Из полученных данных следует, что в условиях высоких температур среды блокада бета-адренергических структур уменьшает калоригенный эффект соматотропина и кишечная температура повышается меньше, чем в контроле.

В условиях низких температур среды введение этого препарата в

Таблица 1

Изменение температуры «ядра» и «оболочки» организма после введения соматотропина на фоне блокады бета-адренорецепторов в условиях низкой и высокой температуры среды

Место измерения температуры	Контроль		После введения соматотропина			
	низкая температура $M \pm m$	высокая температура $M \pm m$	на фоне физиологического раствора		на фоне обзидана	
			низкая температура $M \pm m$	высокая температура $M \pm m$	низкая температура $M \pm m$	высокая температура $M \pm m$
Ободочная кишка	$37,5 \pm 0,32$	$38,39 \pm 0,27^*$	$37,89 \pm 0,92$	$40,0 \pm 0,23^*$	$37,5 \pm 1,22$	$39,65 \pm 0,27^*$
Скелетные мышцы	$36,97 \pm 0,58^*$	$37,88 \pm 0,2^*$	$35,9 \pm 0,2^*$	$39,6 \pm 0,21$	$35,85 \pm 0,44$	$39,78 \pm 0,27^*$
Хвостовая артерия	$23,11 \pm 1,8^*$	$34,91 \pm 0,44^*$	$19,57 \pm 0,3$	$38,79 \pm 0,75^*$	$18,5 \pm 0,83$	$38,73 \pm 0,25^*$

Примечание: * — степень достоверности (P) по сравнению с контролем не меньше ($P < 0,05$).

Таблица 2

Изменение температуры «ядра» и «оболочки» организма после введения соматотропина на фоне блокады альфа-адренорецепторов в условиях низкой и высокой температуры среды

Место измерения температуры	Контроль		После введения соматотропина			
	низкая температура $M \pm m$	высокая температура $M \pm m$	на фоне физиологического раствора		на фоне фентоламина	
			низкая температура $M \pm m$	высокая температура $M \pm m$	низкая температура $M \pm m$	высокая температура $M \pm m$
Ободочная кишка	$37,43 \pm 0,18$	$38,45 \pm 0,12$	$36,70 \pm 1,43^*$	$40,1 \pm 0,32$	$36,80 \pm 0,15$	$40,0 \pm 1,08$
Скелетные мышцы	$36,43 \pm 0,16$	$37,9 \pm 0,31^*$	$36,58 \pm 0,01$	$39,88 \pm 0,54^*$	$36,77 \pm 0,06$	$39,88 \pm 0,31^*$
Хвостовая артерия	$17,6 \pm 0,83^*$	$35,8 \pm 0,94$	$16,49 \pm 1,55$	$38,7 \pm 0,51^*$	$17,7 \pm 0,93^*$	$38,88 \pm 1,1$

Примечание: * — степень достоверности (P) по сравнению с контролем не меньше ($P < 0,05$).

организм на фоне блокады бета-адренорецепторов не вызывает калоригенного эффекта, и температура внутренней среды организма остается неизменной. Калоригенный эффект соматотропина не изменяется и на фоне блокады альфа-адренорецепторов организма. Введение пептида в организм на фоне блокады данных рецепторов как в условиях высоких, так и низких температур среды изменяет внутреннюю температуру почти одинаково (всего на $0,1^{\circ}$). Низкий калоригенный эффект соматотропина на фоне блокады бета-адренорецепторов в условиях высоких температур среды объясняется снижением несократительного термогенеза, уменьшением общего метаболизма и теплопродукции в организме. Такое заключение подтверждается данными нашей лаборатории, из которых следует, что в условиях термонеutralной зоны окружающей среды терморегуляторный эффект соматотропина осуществляется через бета-адренергические структуры организма, и данными^(5,6), показавшими, что раздражение бета-адренорецепторов стимулирует метаболизм в организме, повышает общее потребление кислорода и термогенез в буром жире, уменьшает терморегуляторный тонус мышц и другие эффекторные реакции термогенеза.

Известно, что альфа-адренорецепторы являются тормозным рецептором в центральной нервной системе. Следовательно, отсутствие калоригенного эффекта соматотропина на фоне блокады этих рецепторов объясняется выключением поступления эффекторных импульсов к периферическим вазоконстрикторам и усилением теплоотдачи организма. Такое заключение подтверждается повышением температуры кожных сосудов до $+0,1^{\circ}$, против снижения их при контроле до $-1,11^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, можно сделать вывод, что калоригенный эффект соматотропина осуществляется в основном через бета-адренергические структуры организма и хорошо проявляется в условиях высоких температур среды.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели
НАН Армении

Ք. Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Լ. Ա. ԽԱՀԱՎՈՎԱ,
Ռ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Զ. Կ. ԽԱԶԱՏՐՅԱՆ

Նոստրոգեներգիկ համակարգերի դերը օրգանիզմի ջերմային հոմեոստազի Շ սոմատրոպինային կարգավորման մեջ՝ միջավայրի տարբեր ջերմության պայմաններում

Ապացուցված է, որ սոմատոտրոպինի կալորիզեն հատկությունը դրսևորվում է միջավայրի բարձր ջերմության պայմաններում և իրացվում է բետա-ադրենարենկալիչների միջոցով: Վերջիններիս շրջափակումը այդպիսի ջերմության սրայմաններում իջեցնում է սոմատոտրոպինի կալորիզեն հատկությունը:

Միջավայրի ինչպես բարձր, այնպես էլ ցածր ջերմության պայմաններում ալֆա-ադրենարենկալիչների շրջափակումը չի ազդում սոմատոտրոպինի կալորիզեն հատկության վրա:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ П. Ф. Боранова, Руководство по физиологии, М., Наука, 1979. ² Г. И. Чиненс, А. П. Повар и др., в кн. Современные вопросы эндокринологии, вып. 4, М., 1972. ³ Ю. В. Луцандиц, Эксп. биология и медицина, т. 84, № 8, с. 133—135 (1977). ⁴ Ю. Ф. Пастухов, в кн.: Физиологические исследования адаптации к природным факторам высоких широт. Изд-во Ин-та биол. проблем Севера АН СССР, с. 39—53, 1974. ⁵ H. M. Goodman, Endocrinologes, v. 7, p. 1134—1140 (1965). ⁶ T. J. Merime, A survey of growth hormone secretion and active metabolism, v. 82, p. 235—239 (1973).

УДК 612.821.6+612.822.6

Академик НАН Армении В. В. Фанурджян, Е. В. Шапоян,
О. В. Геворкян, В. И. Погосян

Влияние разрушения вентролатерального ядра таламуса на процесс переключения нисходящих влияний при выработке инструментальных рефлексов у крыс

(Представлено 18/II 1994)

Ранее (1-4) было показано, что предварительная перерезка рубро-спинального тракта облегчает восстановление инструментальных рефлексов и компенсаторные процессы, наступающие у крыс после разрушения красного ядра или вентролатерального ядра таламуса. Эти результаты объясняются гипотезой, согласно которой мозжечек и рубро-оливарная проекция выполняют функцию переключающего устройства между кортико-спинальной и рубро-спинальной системами (1,2,5). При этом вентролатеральное ядро таламуса рассматривается как основное релейное образование передачи восходящих влияний мозжечка на кору мозга, приводящих к подключению под кортико-спинальный контроль структур ствола мозга и спинного мозга, лишенных рубральных влияний. Наряду с этим на обезьянах и кошках показано (5), что после выработки двигательных рефлексов передача мозжечково-корковых сигналов, опосредованных вентролатеральным ядром таламуса, перестает играть решающую роль. Возможность наличия такого механизма у крыс не исследована.

Целью настоящего сообщения является изучение компенсаторных механизмов переключения у крыс с предварительно разрушенным вентролатеральным ядром таламуса.

Опыты были выполнены на 11 нелинейных белых крысах в возрасте 2—3 месяцев с массой тела 210—250 г. У всех животных предварительно под нембуталовым наркозом (50 мг/кг, внутрибрюшинно)* производили одностороннее электролитическое разрушение вентролатерального ядра таламуса согласно стереотаксическим координатам (6). На 10 день после операции (см. табл. 1, пункт 2) крысы начинали обучаться инструментальному (оперантному) рефлексу балансировать и ходить на медленно вращающемся (9 оборотов в 1 мин) горизонтальном бруске диаметром 2 см и длиной 30 см, закрепленном на высоте

* Все оперативные вмешательства производились под наркозом при аналогичной дозировке нембутала.

90 см над мягкой подушкой. Критерием выполняемости рефлекса считалось время нахождения животного на вращающемся бруске не менее 250 с. Ежедневный эксперимент состоял из 10 испытаний (1³).

После выработки инструментального рефлекса у всех крыс осуществлялось второе оперативное вмешательство в среднем через 25 дней после первой операции. Оно заключалось в поперечной перерезке контралатерального (по отношению к разрушенному вентролатеральному ядру таламуса) дорсо-латерального канатика спинного мозга, в области его шейных сегментов, в которой проходит рубро-спинальный тракт. Через неделю (табл. 1, пункт 6) у крыс возобновлялась выработка инструментальных рефлексов.

Третье оперативное вмешательство представляло электролитическое разрушение ипсилатерального красного ядра, которое производилось через 40 дней после второй операции (табл. 1, пункт 11). Исследование инструментальных рефлексов возобновлялось спустя неделю после последней операции (табл. 1, пункт 12).

На протяжении всей работы параллельно проводилось неврологическое обследование двигательных расстройств у подопытных животных. По окончании опытов осуществлялась морфологическая верификация точности разрушения исследуемых структур.

Полученные результаты представлены в табл. 1. Выработка инструментальных рефлексов у крыс с разрушенным вентролатеральным ядром таламуса показала, что у четырех крыс (№3, 4, 6, 7) на 18, 19 и 22 опытный день выявился прочный рефлекс. У двух крыс (№ 2, 8) удалось выработать лишь непрочный рефлекс, у крысы № 5 инструментальный рефлекс был очень слабо выражен (см. табл. 1, пункт 3). После второго оперативного вмешательства — поперечной перерезки дорсолатерального канатика — прочные рефлексы восстановились у крыс № 2 и 7, соответственно на 5 и 15 опытный день. У остальных животных инструментальные рефлексы были непрочными (табл. 1, пункт 8). После разрушения красного ядра остались только четыре крысы. У двух из них инструментальный рефлекс был непрочным или слабо выраженным, у двух остальных он перестал выявляться (табл. 1, пункт 13).

Контролем для проведенных экспериментов могли служить интактные крысы, у которых первоначально осуществлялась выработка инструментальных рефлексов, а затем последовательно были произведены поперечная перерезка дорсо-латерального канатика, разрушение красного ядра или вентролатерального ядра таламуса.

Основные результаты этих экспериментов опубликованы (3⁴), однако до сих пор не был проведен анализ динамики становления инструментальных рефлексов у подопытных животных этой серии после отмеченных вмешательств. У 48 интактных животных была осуществлена выработка инструментальных рефлексов. В среднем прочный рефлекс появлялся на 3 опытный день. Из них у четырех крыс прочные инструментальные рефлексы были выявлены на 2—4 день (табл. 2, пункт 1). После поперечной перерезки дорсо-латерального канатика эти животные на 7—8 день брались на опыт. У трех крыс (№ 9, 11, 12) прочный рефлекс был обнаружен на 13—15 день, у крысы № 10 он обнаружился на 4 опытный день (табл. 2, пункт 5). Спустя 58 дней после первой операции у крыс № 9 и 10 было электролитически разрушено вентролатеральное ядро таламуса, а у крыс № 11 и 12 — красное ядро. Через 6 дней у животных возобновилась выработка рефлекса. У крыс № 9 и 10 прочный рефлекс восстановился на 7 и 3 день соответственно; у крыс № 11 и 12 — на 6 и 5 опытный день (табл. 2, пункт 10).

ДИНАМИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ РЕФЛЕКСОВ

№ п.п.	Номер подопытной крысы							
		2	3	4	5	6	7	8
1	Область повреждения	Вентролатеральное ядро						
2	День взятия на опыт после операции	10	10	10	10	10	10	
3	Опытный день выявления рефлекса прочного (Пр) непрочного (Н)*	2Н	19 Пр	22 Пр	слаб.	18 Пр	18 Пр	
4	Число опытных дней	26	26	25	25	25	23	21
5	Область второго повреждения	Дорсо-латеральный канатик						
6	Срок, прошедший после первой операции	48		49	49	49	49	49
7	День взятия на опыт после второй операции	7	вздох	7	7	7	7	7
8	Опытный день восстановления рефлекса прочного (Пр) непрочного (Н)	5Пр		3Н	слаб.	2Н	15Пр	5Н
9	Число опытных дней	20		20	20	22	22	22
10	Область третьего повреждения	Красное ядро						
11	Срок, прошедший после второй операции	40		40	40	40		
12	День взятия на опыт после третьей операции	7		7	7	7	вздох	вздох
13	Опытный день восстановления рефлекса прочного (Пр) непрочного (Н)	10Н		нет реф.	слаб.	нет реф.		
14	Число опытных дней	15		10	14	12		

* Обозначения. Прочным рефлексом считается выявление положительных ответов на все испытания в течение опытного дня (100% ответы) на протяжении не менее 6 опытных дней. Если такой рефлекс обнаруживается менее 6 дней подряд, он считается непрочным. Обнаружение положительных ответов не на все 10 испытаний в опытном дне рассматривается как проявление слабого рефлекса (слаб.). Невыявление положительных ответов на предъявляемые испытания в опытном дне считается исчезновением инструментального рефлекса (нет реф.).

ДИНАМИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ РЕФЛЕКСОВ

№ пп	Номер подопытной крысы	9	10	11	12
1	Опытный день выявления рефлекса <u>прочного (Пр)</u> <u>непрочного (Н)</u>	2Пр	4Пр	4Пр	3Пр
2	Число опытных дней	8	12	12	12
3	Область повреждения	Дорсо-латеральный канатик			
4	День взятия на опыт после операции	8	8	7	7
5	Опытный день восстановления рефлекса <u>прочного (Пр)</u> <u>непрочного (Н)</u>	13Пр	4Пр	15Пр	14Пр
6	Число опытных дней	18	18	18	16
7	Область второго повреждения	Вентролатеральное ядро		Красное ядро	
8	Срок, прошедший после первой операции	58	58	58	58
9	День взятия на опыт после второй операции	6	6	6	6
10	Опытный день восстановления рефлекса <u>прочного (Пр)</u> <u>непрочного (Н)</u>	7Пр	3Пр	6Пр	5Пр
11	Число опытных дней	18	18	18	19

Сопоставление результатов описанных серий экспериментов четко показывает, что предварительное разрушение вентролатерального ядра таламуса существенно ослабляет инструментальные рефлексы, которые после поперечной перерезки дорсо-латерального канатика становятся непрочными, а после разрушения красного ядра у некоторых животных даже перестают выявляться. Эти результаты отличаются от таковых, обнаруживаемых у крыс, у которых разрушение вентролатерального ядра таламуса (или красного ядра) предварялось выработкой инструментальных рефлексов и поперечной перерезкой дорсо-латерального канатика (рубро-спинального тракта). Инструментальные рефлексы у этих животных восстанавливались за сравнительно короткий срок после второго вмешательства и, главное, неизменно имели прочный характер (см. также (3,4)).

Отмеченное еще раз подтверждает ведущую роль вентролатерального ядра таламуса в процессе переключения нисходящих корковых влияний на новый контекст движений. Предварительное выключение вентролатерального ядра таламуса фактически лишает механизмы мозга путей и восходящих, сигнализирующих о дефектах, упреждающих воздействий на кортико-спинальную систему, без своевременной мобилизации которой затруднена или невозможна ее контрольно-корректирующая функция при нисходящих влияниях на двигательный аппарат.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели
НАН Армении

Հայաստանի ԽՍՀ ակադեմիկոս Վ. Բ. ՅԱՆԱՐՋՅԱՆ, և Վ. ՊԱՊՈՅԱՆ,
Օ. Վ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Վ. Հ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

Առնետների տեսարմբի վենտրոլատերալ կորիզի ԲայՆայման ազդեցութլուր
վարերթաց փոխարկումների գործրերթացի վրա, ինստրումենտալ
ռեֆլեկսներ մշակելիս

Սպիտակ ոչ գծային առնետների կարմիր կորիզ-ողնուղեղային ուղու նախնական ընդլայնման հատումը հեշտացնում է ինստրումենտալ ռեֆլեքսների վերականգնումը տարակողմ կարմիր կորիզի քայքայումից հետո: Տեսաթմբի վենտրոլատերալ կորիզի նախնական քայքայումը վերացնում է այդ հեշտացնող ազդեցութլուրը և վատացնում փոխհատուցման գործրերթացը: Ենթադրվում է, որ տեսաթմբի վենտրոլատերալ կորիզի նախնական քայքայումը ընդհատում է ուղիները և թերութլուրների մասին ազդարարող վերրերթաց ազդեցութլուրները կեղև-ողնուղեղային համակարգի վրա, որի ոչ ժամանակին մորլիզացումը դժվարացնում կամ անհնար է դարձնում շարժողական ապարատի վրա նրա վարրերթաց ազդեցութլան վերահսկող-ճշգրտող ֆունկցիան:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ P. R. Kennedy, D. R. Humphry, Neurosci Res., v. 5, № 1, p. 39—62 (1987).
² P. R. Kennedy, Trends Neurosci, v. 13, № 12, p. 474—479 (1990). ³ В. В. Фанарджян, Е. В. Папоян, О. В. Геворкян, В. И. Погосян, ДАН Армении, т. 94, № 1, с. 59—64 (1993). ⁴ В. В. Фанарджян, Е. В. Папоян, О. В. Геворкян, В. И. Погосян, Журн. высшей нервной деятельности, т. 43, № 6, с. 1210—1217 (1993). ⁵ M. Ito, The Cerebellum and Neuronal Control, N. Y., Raven Press, 1984. ⁶ G. Paxinos, Ch. Watson, The rat brain in stereotaxic coordinates. Sydney, Academic Press, 1986.