

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
 ДОКЛАДЫ

Том 97 № 4

1997

Խմբագրական կոլեգիա

ԳԱԱՐՉՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. քեկնածու (պատ. քարտուղար), ԷԳԱՅՐԻԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ԳԵԲԱՂՄԱՍՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ԷՍԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՎՎԴՈՎԼԱԹՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագրի տեղակալ), ԱԱԹԱԼԱԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՎՀՀԱՄԲԱՐՑՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, ՎՀԴՍԶԱՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՎԳԴԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՅՈՒՀՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ՃՏԱՍՐԳՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, ԴՍՍԵՂՐԱԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագիր), ՎԲՃԱՆԱՐՉՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս

Редакционная коллегия

Վ.Ա.ԱՄԲԱՐՑՄՅԱՆ, академик, Г.А.АРЗУМАНЯՆ, канд. техн. наук (отв. секретарь), Э.Г.АФРИКЯՆ, академик НАН Армении, Г.Ե.ԲԱԳԴԱՏԱՐՅԱՆ, академик НАН Армении, Э.С.ԳԱԲՐԻՅԼՅԱՆ, академик НАН Армении, В.Վ.ԴՈՎԼԱԿՅԱՆ, академик НАН Армении (зам. отв. редактора), В.Օ.ԿԱՅԱՐՅԱՆ, академик НАН Армении, К.Գ.ԿԱՐԱԳԵՅՅԱՆ, академик НАН Армении, Փ.Դ.ՏԱՐԿԻՏՅԱՆ, академик НАН Армении, Դ.Մ.ՏԵԴՐԱԿՅԱՆ, академик НАН Армении (отв. редактор), Ա.Ա.ԿԱԼԱԼՅԱՆ, академик НАН Армении, Յ.Գ.ՇԱԿՈՒՐՅԱՆ, академик НАН Армении, Վ.Վ.ՓԱՆԱՐԴՅԱՆ, академик НАН Армении

ԲՈՎԱՆ ԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

- Ռ.Ռ.ՔԱՄԱԼՅԱՆ, Ա.Ն.ՄՐՈՒՄՅԱՆ – Որոշակի դասի երկկողմանի գրաֆ-
ների միջակայքային կողային ներկումներ. 3
- Ռ.Ա.ՔԱՂԱՅԱՆ – Անհավասարություններ կամայական անումով ամբողջ
ֆունկցիաների կոտորակային կարգի ածանցյալների համար. 6
- Լ.Չ.ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ – Էկվիպարունորմալ օպերատորների լոկալ սպեկտրալ
տեսությունը. 11

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

- Վ.Վ.ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Թ.Թ.ՄԵԼԻՔՅԱՆ – Շարժական օբյեկտի դեկավարելի
փնտրումը ուղղանկյուն տիրույթում հետագծերի մի ընտանիքում. 17
- Մ.Ա.ՉԱԴՈՅԱՆ – Լարումները սալի անկյունային կետի շրջակայքում. 25

ԱՌԱՉԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

- Ա.Վ.ՍԱՀԱԿՅԱՆ – Կոմպլեքս գործակցով երկրորդ սեռի սինգուլյար ին-
տեգրալ հավասարման լուծման թվային եղանակ. 32
- Ս.Ա.ՄԵԼԻՔՈՒՄՅԱՆ, Ա.Ժ.ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ – Վերջավոր ուղղաձիգ նեղով օր-
թոտրոպ կիսահարթության ոչ համաչափ կոնտակտային խնդիրը. 37

ՖԻԶԻԿԱ

- Վ.Վ.ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ – Հոսանքակիրների դիֆուզիայի ազդեցությունը ին-
ժեկցիոն-թուղջային դիոդների բարձր հաճախականային բնութագրերի վրա. 25

ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ

- Ա.Հ.ՄԱՆԹԱՇՅԱՆ, Կ.Ա.ՄԱՆԹԱՇՅԱՆ – Կապարի երկօքսիդի էմիսիայի
փոխարկման հետերաֆազ պրոցես ածխաջրածինների օքսիդացման շղթայա-
կան ռեակցիայի ազդեցությամբ. 51

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

- Մ.Ա.ՍԱԹՅԱՆ – Սերպենտինիտների գեոէկոլոգիայի մասին. 59

ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Կ.Գ.ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ, Ա.Ա.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ռ.Լ.ԴԱՆԻՆՈՎԱ, Լ.Մ.ՀՈՎ-
ՍԵՓՅԱՆ, Կ.Մ.ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ – Սպիտակ առնետների լյարդի միտոքոնդրի-
ումների թաղանթների ֆոսֆոլիպիդների որակական և քանակական փոփոխու-
թյունները հայտնանային նարկոզի ժամանակ և նատրիումի թիոսուլֆատի կա-
նոնավորիչ ազդեցությունը. 62
- Կ.Գ.ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ, Ա.Ա.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Մ.Ա.ՇԱՔԱՐՅԱՆ, Մ.ՀՈՎՍԵՓ-
ՅԱՆ, Ռ.Լ.ԴԱՆԻՆՈՎԱ, Կ.Մ.ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ – Սպիտակ առնետների ուղեղային
հյուսվածքների ֆոսֆոլիպիդների մետաբոլիկ խանգարումները և վերջինների
դերը գալոտանային նարկոզի տոքսիկ էֆեկտների պաթոգենեզի զարգացման
մեջ. 70
- Կ.Գ.ԻՍԱԽԱՆՈՎԱ, Վ.Ն.ՎԵՐԲԵՆԿՈ, Ժ.Ա.ԿՇՈՅԱՆ, Ն.Ն.ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Վ.ՎԱԿԵՐԵՍՅԱՆ, Կ.Գ.ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ – S. derby K89-ի pSD89 Cm^r քնական
պլազմիդը, որը կոմպենսացնում է E. coli K-12-ի polA մուտացիան. 75
- Մ.Ա.ՔԱԼԱՅԱՆ, Ա.ՉՓԵՓՈՅԱՆ, Հ.Գ.ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Կ.Գ.ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ –
Salmonella derby ռադիոկայուն և ռադիոզգայուն քիչների թաղանթային կա-
ռուցվածքակազմակերպվածությունը. 79

ՄՈՐՖՈԼՈԳԻԱ

- Ա.Բ.ՄԵԼԻՔՄՈՒՄՅԱՆ, Վ.Բ.ՖԱՆԱՐՉՅԱՆ – Կատվի ուղեղիկ-տեսաթմբա-
յին պրոյեկցիաների կազմակերպման առանձնահատկությունները: Լույսային
և էլեկտրոնային միկրոսկոպիա. 84

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Р.Р. Камалаян, А.Н. Мирумян* – Интервальные реберные раскраски двудольных графов одного класса. 3
- Р.А. Багрян* – Неравенства для дробных производных целых функций произвольного роста. 6
- Л.З. Геворкян* – Локальная спектральная теория эквиваранормальных операторов. 11

МЕХАНИКА

- В.В. Аветисян, Т.Т. Меликян* – Управляемый поиск подвижного объекта в одном семействе траекторий в прямоугольной области. 17
- М.А. Задоян* – Напряжения в окрестности угловой точки плиты. 25

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- А.В. Саякян* – Численный метод решения сингулярных интегральных уравнений второго рода с комплексным коэффициентом. 32
- С.А. Мелкумян, А.Ж. Григорян* – Несимметричная контактная задача для ортотропной полуплоскости с вертикальным конечным разрезом. 37

ФИЗИКА

- В.В. Бунятыан* – Влияние диффузии подвижных носителей гока на ВЧ характеристики ИПД. 44

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- А.А. Манташян, К.А. Манташян* – Гетерофазный процесс химического превращения оксидов свинца под воздействием цепной газофазной реакции окисления углеводородов. 51

ЭКОЛОГИЯ

- М.А. Сатян* – О геоэкологии серпентинитов. 59

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

- К.Г. Карагезян, А.А. Оганесян, Р.Л. Данилова, Л.М. Овсепян, М.К. Карагезян* – Нарушения состава и содержания фосфолипидов в мембранах митохондрий печени белых крыс при галотановом наркозе и нормализующее влияние тиосульфата натрия на этом фоне. 62

- К.Г. Карагезян, А.А. Оганесян, М.А. Шакарян, Л.М. Овсепян, Р.Л. Данилова, М.К. Карагезян* – Нарушения метаболизма фосфолипидов в мозговой ткани белых крыс и их место в патогенетическом комплексе токсических эффектов галотанового наркоза. 70

- К.Г. Исаханова, В.Н. Вербенко, Ж.А. Кцоян, И.Н. Саркисян, И.В. Вартересян, К.Г. Карагезян* – Природная плазмида рSD89 Cm^r из *Salmonella derby* K89, компенсирующая мутацию pol A⁻ у *Escherichia coli* K-12. 75

- М.А. Балаян, А.З. Лепоян, Г.Г. Бадалян, К.Г. Карагезян* – Структурная организация мембран радиорезистентных и радиочувствительных клеток *Salmonella derby*. 79

МОРФОЛОГИЯ

- А.Б. Мелик-Мусян, В.В. Фанарджян* – Особенности организации мозжечково-таламических проекций у кошки. Световая и электронная микроскопия. 84

CONTENTS

MATHEMATICS

- R.R.Kamalian, A.N.Mirumian* – Interval edge colorings of bipartite graphs of some set 3
- R.A.Baghian* – Inequalities for the fractional derivatives of the entire function with any finite growth 6
- L.Z.Gevorkyan* – The local spectral theory of equiparanormal operators 11

MECHANICS

- V.V.Avetisian, T.T.Melikian* – Controlled search of moving object in one class of trajectories in a rectangular area 17
- M.A.Zadoyan* – Stresses in the vicinity of plate corner point 25

THEORY OF ELASTICITY

- A.V.Sahakian* – The numerical method of solution of singular integral equations of second kind with complex coefficient 32
- S.A.Melkumyan, A.J.Grigoryan* – A non-symmetric contact problem for an orthotropic semi-plane with a vertical finite crack 37

PHYSICS

- V.V.Buniatian* – The influence of diffusion effects of current carriers on the microwave characteristics of baritt diodes 44

CHEMICAL PHYSICS

- A.A.Mantashyan, K.A.Mantashyan* – The heterophase chemical conversion of load oxides under the effect of hydrocarbon oxidation gas phase chain reaction 51

ECOLOGY

- M.A.Satian* – On the geocology of the serpentinites 59

MOLECULAR BIOLOGY

- K.G.Karageuzyan, A.A.Oganessian, R.L.Danilova, L.M.Hovsepyan, M.K.Karageuzyan* – Abnormalities of phospholipids content in rat liver mitochondria membranes under halothane anesthesia and normalizing effect of sodium thiosulfate on this background 62
- K.G.Karageuzyan, A.A.Oganessian, M.A.Shakaryan, L.M.Hovsepyan, R.L.Danilova, M.K.Karageuzyan* – Phospholipid metabolism disorders in rat brain tissue and their role in pathogenetic complexes of halothane anesthesia toxic effects 70
- K.G.Isakhanova, V.N.Verbenko, G.A.Ktsoyan, N.N.Sarkisyan, I.V.Varteresyan, K.G.Karageuzyan* – Natural plasmid pSD89 Cm^r from *Salmonella derby* K89 compensating pol A⁻ mutation in *Escherichia coli* K-12 75
- M.A.Balayan, A.Z.Pepoyan, G.G.Badalyan, K.G.Karageuzian* – The structural organization of *Salmonella derby* radioresistant and radiosensitive cells 79

MORPHOLOGY

- A.B.Melik-Moussian, V.V.Funardjian* – Peculiarities of organization of the cerebello-thalamic projections at the cat.light and electron-microscopy 84

Сдано в набор 25.11.97. Подписано к печати 21.01.98.

Формат А3. Набор компьютерный. Бумага офсетная. Печ. лист 5.

Усл. печ. л. 7. Тираж 200. Заказ № 37. Цена договорная.

Адр.ред. 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна 24-г, IIIэт, к.13, т.27-36-95
Издательство "Гитутюн" НАН РА 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24-г.

УДК 519.1

Р. Р. Камалян, А. Н. Мирумян

Интервальные реберные раскраски двудольных графов одного класса

(Представлено академиком НАН Армении Ю. Г. Шукурьяном 22/V 1997)

В работе ⁽¹⁾ введено понятие интервальной реберной раскраски мультиграфа и исследованы задачи о существовании и построении интервальных реберных раскрасок графов некоторых классов. В ⁽²⁾ исследованы интервальные реберные раскраски полных двудольных графов и деревьев. В ⁽³⁾ рассмотрены некоторые задачи о существовании и построении интервальных реберных раскрасок, а также даны оценки количества цветов в таких раскрасках для некоторых классов графов. В ⁽⁴⁾ установлена NP-полнота задачи о существовании интервальной реберной раскраски произвольного двудольного графа. Не определяемые понятия можно найти в ⁽⁵⁻⁷⁾. Задачи об интервальных реберных раскрасках двудольных мультиграфов представляют практический интерес в связи с тем, что они являются графовыми аналогами задач об учебных расписаниях без "окон".

В работе рассматривается задача о существовании интервальной реберной раскраски двудольного графа $G=(X,Y,E)$ с $d_G(y)=2$ для $\forall y \in Y$, $d_G(x)=\Delta=\Delta(G)$ для $\forall x \in X$, $|X|=n$, $|Y|=m$. Обозначим через L_Δ множество всех таких графов.

Доказано, что если $G \in L_\Delta$, то при четном Δ G имеет интервальную Δ -раскраску, а при нечетном Δ – интервальную $(\Delta+1)$ -раскраску.

Отображение $f:E \rightarrow N=\{1,2,\dots\}$ называется раскраской f графа $G=(X,Y,E)$, а $f(e)$ называется цветом ребра e , $e \in E$. f называется правильной раскраской, если $f(e') \neq f(e'')$ для любых смежных ребер e' и e'' . Правильную раскраску f назовем k -раскраской, если f отображает E на множество $\{1,2,\dots,k\}$. k -раскраску f назовем интервальной k -раскраской, если для любой вершины x графа G инцидентные ей ребра окрашены $d_G(x)$ последовательными цветами.

Для раскраски f графа G , вершины $x \in V(G)$ и произвольного натурального q положим $d_{G,f}(x,q) = |\{e \in E(G) / e \text{ инцидентно } x, f(e)=q\}|$.

Для произвольного подмножества R множества вершин графа G и любой вершины x положим $d_G(x,R) = |\{y \in R / (x,y) \in E(G)\}|$.

Лемма 1. Пусть $G=(X,Y,E) \in L_\Delta$ и $|X|=3$. Тогда G имеет интервальную Δ -раскраску.

Лемма 2. Если $G=(X,Y,E) \in L_4$, то G имеет интервальную 4-раскраску.

Систему $\{R_1, R_2, \dots, R_t\}$ непустых попарно непересекающихся подмножеств Y назовем разбиением множества Y , если $\bigcup_{i=1}^t R_i = Y$.

Пусть $F = \{R_1, R_2, \dots, R_t\}$ является разбиением множества Y и $x \in X$. Скажем, что вершина x является 2-регулярной относительно F , если $d_G(x, R_i) = 2, i=1, \dots, t$. Разбиение F назовем каноническим разбиением Y , если любая вершина x из X 2-регулярна относительно F . Разбиение $F = \{R_1, R_2, \dots, R_t\}$ назовем (3,1)-ограниченным, если для любой вершины $x \in X, 1 \leq d_G(x, R_i) \leq 3, i=1, \dots, t$.

Легко видеть, что для графа $G=(X,Y,E)$ из L_Δ при четном Δ интервальная Δ -раскраска существует тогда и только тогда, когда существует каноническое разбиение множества Y .

Лемма 3. Пусть $G=(X,Y,E) \in L_{2l}, l \geq 3$. Тогда существует (3,1)-ограниченное разбиение $F = \{R_1, R_2, \dots, R_l\}$ множества Y .

Лемма 4. Пусть $G=(X,Y,E) \in L_{2l}, l \geq 3$. Тогда существует (3,1)-ограниченное разбиение $F = \{R_1, R_2, \dots, R_l\}$ множества Y такое, что для любой вершины $x \in X$ существует не более одного $i_0, 1 \leq i_0 \leq l$ и не более одного $j_0, 1 \leq j_0 \leq l$, для которых $d_G(x, R_{i_0}) = 3, d_G(x, R_{j_0}) = 1$.

Лемма 5. Пусть $G=(X,Y,E) \in L_{2l}, l \geq 3$ и $F = \{R_1, R_2, \dots, R_l\}$ является неканоническим (3,1)-ограниченным разбиением множества Y . Тогда существует разбиение $F' = \{R'_1, \dots, R'_l\}$ такое, что число 2-регулярных относительно F' вершин X больше числа 2-регулярных относительно F вершин X .

С помощью лемм 2–5 устанавливается

Теорема 1. Для любого $G=(X,Y,E) \in L_\Delta$ при любом четном Δ существует интервальная Δ -раскраска G .

Теорема 2. Для любого $G=(X,Y,E) \in L_\Delta$ при любом нечетном Δ существует интервальная $(\Delta + 1)$ -раскраска G .

Институт проблем информатики и автоматизации НАН Армении и
Ереванского государственного университета

Որոշակի դասի երկկողմանի գրաֆների միջակայքային կողային ներկուծներ

Աշխատանքում շարունակվում է Ա.Ս.Հասրաթյանի և Ռ.Ռ.Քամալյանի կողմից սահմանված գրաֆների միջակայքային կողային ներկուծների ուսումնասիրությունը: Գրաֆի կողերի ներկուծը կոչվում է միջակայքային, k գույներով, եթե $1, \dots, k$ գույներից յուրաքանչյուրը օգտագործված է առնվազն մեկ կողի համար, և յուրաքանչյուր գագաթին կից կողերը ներկված են հաջորդական գույներով: Դիտարկված են երկկողմանի գրաֆներ, որոնց մի կողմի բոլոր գագաթների աստիճանները հավասար են 2-ի, իսկ մյուս կողմի բոլոր գագաթների աստիճանները հավասար են Δ -ի:

Ապացուցված է, որ գույն Δ -ի դեպքում այդպիսի գրաֆն ունի միջակայքային ներկում Δ գույներով, իսկ կենտ Δ -ի դեպքում $\Delta + 1$ գույներով:

ЛИТЕРАТУРА – ՎՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А.С.Асратян, Р.Р.Камалян, Прикладная математика, Ереван, вып.5, с.25-34, 1987. ² Р.Р.Камалян, Интервальные раскраски полных двудольных графов и деревьев. Препринт ВЦ АН Арм.ССР. Ереван. 1989. ³ Р.Р.Камалян, Интервальные реберные раскраски графов. Канд.дис. Ин-т математики СО АН СССР. Новосибирск, 1990. ⁴ С.В.Севастьянов, Методы дискретного анализа в решении экстремальных задач. Ин-т математики СО АН СССР, Новосибирск, вып.50, с.61-72 (1990). ⁵ А.С.Асратян, Р.Р.Камалян, J. of Combinatorial Theory, Ser. B, v.62, №1, p.34-43 (1994). ⁶ Ф.Харари, Теория графов М., Мир, 1973. ⁷ А.А.Зыков, Теория конечных графов. Новосибирск. Наука, 1969.

УДК 517.53

Р. А. Багиян

Неравенства для дробных производных целых функций произвольного роста

(Представлено академиком НАН Армении В.С.Захаряном 26 / V 1997)

Как известно, неравенство С.Н.Бернштейна оценивает норму производной целой функции экспоненциального типа σ , ограниченной на действительной оси, с нормой самой функции, т.е.

$$\sup_{-\infty < x < +\infty} |f^{(n)}(x)| \leq \sigma^n \sup_{-\infty < x < +\infty} |f(x)|, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

В статье (1) обобщено это неравенство на случай целой функции произвольного роста (ρ, σ) . На пути достижения этой цели введен класс $B_{\sigma}^{(\rho)}$ ($1 \leq \rho < 2; 0 < \sigma < +\infty$) целых функций конечного роста (ρ, σ) , ограниченных в специальных угловых областях комплексной плоскости. При $\rho = 1$ это класс целых функций экспоненциального типа, ограниченных на вещественной оси. Получена связь между классами $B_{\sigma}^{(\rho)}$ и B_{σ} , т.е., если $F(z) \in B_{\sigma}^{(\rho)}$, то

$$F(z) = \int_0^{+\infty} f(zt) \Phi_{\rho, \mu}(t) dt, \quad (2)$$

где $f(z) \in B_{\sigma^{1/\rho}}$, а $\Phi_{\rho, \mu}(t)$ – функция, подробно исследованная в (2). В (3) этот результат дополняется, а именно устанавливается, что функция $f(z)$, фигурирующая в представлении (2), принадлежит более узкому классу $W_{\sigma^{1/\rho}}^2 \subset B_{\sigma^{1/\rho}}$ ($W_{\sigma^{1/\rho}}^2$ – класс целых функций экспоненциального типа $\sigma^{1/\rho}$, суммируемых с квадратом на всей вещественной оси). Этот результат вместе с формулой обращения для интегрального представления (2) позволил уточнить известное неравенство (1) С.Н.Бернштейна на случай целой функции произвольного роста, а именно, установлено что при

$$F(z) \in B_{\sigma}^{(\rho)} \quad (1 \leq \rho < 2, 0 < \sigma < +\infty, \frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho})$$

имеет место точное неравенство

$$\sup_x |F^{(k)}(x)| \leq \sigma^{\frac{k}{\rho}} \frac{\Gamma(1+k)}{\Gamma(\mu + \frac{k}{\rho})} \sup_x \left| \Phi(1+x \frac{d}{dx}) F(x) \right|, \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (3)$$

где

$$\Phi(s) = \frac{\Gamma(\mu + \frac{s-1}{\rho})}{\Gamma(1+s)}, \quad (4)$$

а $\Phi(1+x \frac{d}{dx}) F(x)$ – оператор, смысл которого рассмотрен в монографии (4) (см. с.90).

Целью данной работы является получение неравенства (3) в терминах дробной Лиувилевской производной. В случае классического неравенства С.Н.Бернштейна (1) это сделано П.И.Лизоркиным (5) (см. также (6)).

Прежде чем приступить к решению поставленной задачи, приведем некоторые предварительные сведения. Дробные интеграл и производная произвольного порядка α в смысле Римана – Лиувилля определяются посредством соотношений

$$D^{-\alpha} f(x) \equiv \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{-\infty}^x (x-t)^{\alpha-1} f(t) dt, \quad x \in (-\infty, l),$$

$$D^{\alpha} f(x) \equiv \frac{d^{p-1}}{dx^{p-1}} \{ D^{-(p-\alpha)} f(x) \}, \quad p-1 < \alpha < p, \quad p \geq 1, \quad p - \text{целое.}$$

где $f(x)$ – произвольная функция, интегрируемая в промежутке $(-\infty, l)$. Непосредственным применением этих операторов устанавливаются:

Лемма 1. Если $\omega(t)$ – функция ограниченной вариации на $(-\sigma, \sigma)$ и

$$g(x) = \int_{-\sigma}^{\sigma} e^{ux} d\omega(t), \quad (5)$$

то

$$D^{\alpha} g(x) \equiv g^{\alpha}(x) = \int_{-\sigma}^{\sigma} (it)^{\alpha} e^{ux} d\omega(t), \quad (6)$$

где $(it)^{\alpha} = e^{i\frac{\pi}{2}\alpha} t^{\alpha}$, $t > 0$; $(it)^{\alpha} = e^{i\frac{3\pi}{2}\alpha} |t|^{\alpha}$; $t < 0$.

Лемма 2. Если $\alpha > 0$ и

$$F(x) = \int_0^{+\infty} f(xt)^{\alpha} \Phi_{\rho, \mu}(t) dt,$$

то

$$D^{\alpha} \{ F(x) \} = \int_0^{+\infty} D^{\alpha} \{ f(xt) \} t^{\alpha} \Phi_{\rho, \mu}(t) dt.$$

Следующие два предложения существенно будут использованы в дальнейшем (см. (2), с.501 и теорему 2 из (5) при $\rho = +\infty$).

1. Пусть параметры ρ и μ удовлетворяют условию

$$1 < \rho < +\infty, -\infty < \mu < +\infty..$$

Тогда справедлива формула

$$\frac{\Gamma(1+z)}{\Gamma(\mu + \frac{z}{\rho})} = \int_0^{+\infty} \tau^\alpha \Phi_{\rho, \mu}(\tau) d\tau, \operatorname{Re} z > -1. \quad (7)$$

2. Если (5) и (6) имеют место, то

$$\|g^\alpha(x)\|_\infty \leq \sigma^\alpha \|g(x)\|_\infty, \quad (8)$$

где

$$\|g(x)\|_\infty = \sup_x |g(x)|.$$

Теперь приведем основной результат данной работы.

Теорема. Пусть $F(z) \in B_\sigma^{(\rho)}$ ($1 \leq \rho < 2, 0 < \sigma < +\infty, \frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho}$).

Тогда при любом вещественном $\alpha > 1$ имеет место точное обобщенное неравенство Бернштейна

$$\|D^\alpha \{F(x)\}\|_\infty \leq \sigma^{\frac{\alpha}{\rho}} \frac{\Gamma(1+\alpha)}{\Gamma(\mu + \frac{\alpha}{\rho})} \left\| \Phi(1+x \frac{d}{dx}) F(x) \right\|_\infty, \quad (9)$$

где $\Phi(s)$ определяется (4).

Доказательство. Применяя теорему 1 из (3), получим, что функция $F(z) \in B_\sigma^{(\rho)}$ допускает представление (2), где $f(z) \in W_{\sigma^{1/\rho}}^2$. В силу теоремы Винера – Пэли имеем

$$f(z) = \int_{-\sigma^{1/\rho}}^{\sigma^{1/\rho}} e^{i\lambda z} \varphi(\lambda) d\lambda, \in L^2(-\sigma^{1/\rho}; \sigma^{1/\rho}). \quad (10)$$

Но для таких функций имеет место верхнее предложение, т.е. справедливо (8)

$$\|f^\alpha(x)\|_\infty \leq \sigma^{\frac{\alpha}{\rho}} \|f(x)\|_\infty. \quad (11)$$

Из представления (2) в силу леммы 2 будем иметь

$$D^\alpha \{F(x)\} = F^{(\alpha)}(x) = \int_0^{+\infty} D^\alpha \{f(xt)\} t^\alpha \Phi_{\rho, \mu}(t) dt.$$

Оценивая \sup – норму этого выражения с последующим использованием (7), (11) и формулы обращения для представления (2) (см. (3), с.198), получим

$$\begin{aligned} \sup_x |D^\alpha \{F(x)\}| &\leq \sup_x |D^\alpha \{f(xt)\}| \cdot \int_0^{+\infty} t^\alpha \Phi_{\rho, \mu}(t) dt = \\ &= \sup_x |D^\alpha \{f(xt)\}| \frac{\Gamma(1+\alpha)}{\Gamma(\mu+\alpha/\rho)} \leq \sigma^{\alpha/\rho} \frac{\Gamma(1+\alpha)}{\Gamma(\mu+\alpha/\rho)} \sup |f(x)| = \\ &= \sigma^{\alpha/\rho} \frac{\Gamma(1+\alpha)}{\Gamma(\mu+\alpha/\rho)} \sup_x \left| \Phi\left(1+x \frac{d}{dx}\right) \{F(x)\} \right|. \end{aligned}$$

Таким образом, теорема доказана. Рассмотрим частные случаи. Если α – целое, то получится теорема 2 из статьи автора (см. (3), с.200).

Если $\rho = \mu = 1$, то

$$F(x) = f(x), \quad \Phi\left(1+x \frac{d}{dx}\right) \{F(x)\} = f(x) = F(x),$$

и мы получим неравенство Лизоркина – Сайвина (8).

Если $\rho = \mu = 1$, α – целое, получим классическое неравенство С.Н. Бернштейна.

Полученное нами неравенство (9) точное. Оно достигается на функции типа Миттаг – Леффлера

$$E_\rho(-z, \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-z)^k}{\Gamma(\mu + \frac{k}{\rho})}.$$

Действительно, в этом случае тип $\sigma = 1$

$$\Phi\left(1+x \frac{d}{dx}\right) \{E_\rho(-x; \mu)\} = e^{-x}; \quad \sup \left| \Phi\left(1+x \frac{d}{dx}\right) \{E_\rho(-x; \mu)\} \right| = 1, \quad \left| x \in [0, +\infty) \right|,$$

и мы получим

$$E_\rho^{(\alpha)}(-x; \mu) \leq \frac{\Gamma(1+\alpha)}{\Gamma(\mu + \frac{\alpha}{\rho})}, \quad x \in [0, +\infty). \quad (12)$$

Легко видеть элементарным подсчетом, что знак равенства в (12) так же, как и в случае целых показателей, достигается в точке $x=0$.

Государственный инженерный университет Армении

Ռ. Ա. ԲԱՂԻՅԱՆ

Անհավասարություններ կամայական ածումով ամբողջ ֆունկցիաների կոտորակային կարգի ածանցյալների համար

Ինչպես հայտնի է Բեռնշտեյնի դասական անհավասարությունը գնահատում է իրական առանցքի վրա սահմանափակված էքսպոնենցիալ տիպի ամբողջ ֆունկցիայի ածանցյալի նորման ամբողջ ֆունկցիայի նորմայի հետ: Հեղինակի աշխատանքներից մեկում ⁽¹⁾ ընդհանրացվել է այդ անհավասարությունը կամայական ածումով ամբողջ ֆունկցիաների համար:

Ներկա հոդվածում ընդհանրացվում է այդ անհավասարությունը կոտորակային կարգի ածանցյալների դեպքում: Ստացված է ճշգրիտ անհավասարություն, որը հասանելի է $x=0$ կետում: Դիտարկվում են օրինակներ:

ЛИТЕРАТУРА – ՎՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 *Ր.Ա.Բաղյան*, Изв.АН Арм.ССР, Математика, т.15, №3, с.191-208 (1980).
- 2 *М.М.Джрбашян, Ր.Ա.Բաղյան*, Изв.АН Арм.ССР, Математика, т.10, №6, с.483-508 (1975); ДАН СССР, т.223, №6, с.1297-1300.
- 3 *Ր.Ա.Բաղյան*, ДАН Арм.ССР, т.73, №4, с.195-201 (1981).
- 4 *М.М.Джрбашян*, Интегральные преобразования и представления функций в комплексной плоскости, М., Наука, 1966.
- 5 *П.И.Лизоркин*, Изв.АН СССР, Сер. Матем., т.29, №5, с.109-126 (1965).
- 6 *P.Civil*, Duke Math. J., v.8, №4, p.656-665, (1941).

УДК 517.984

Л. З. Геворкян

**Локальная спектральная теория
эквиваранормальных операторов**

(Представлено академиком НАН Армении В.С.Захаряном 25/VI 1997)

0. В настоящей заметке показано, что эквиваранормальные операторы удовлетворяют условиям спектральности (A) и (C) Дагфорда. Доказана также теорема о пересечении образов.

1. Пусть X банахово пространство, A – (ограниченный) оператор в X . $N(A)$ и $R(A)$ – ядро и образ оператора A соответственно, $\rho(A)$ – его спектральный радиус и spA – его спектр.

Определение 1. Оператор называется паранормальным, если для любого элемента $x \in X$ имеет место неравенство

$$\|Ax\|^2 \leq \|A^2x\| \cdot \|x\|. \quad (1)$$

Пример 1. Пусть A гипонормальный оператор, действующий в гильбертовом пространстве, т.е. $\|A^*x\| \leq \|Ax\|$ для произвольного элемента x .

Тогда $\|Ax\|^2 = (Ax, Ax) = (A^*Ax, x) \leq \|A^*Ax\| \cdot \|x\| \leq \|A^2x\| \cdot \|x\|$, следовательно,

любой гипонормальный оператор паранормален. Нетрудно заметить, что

$$\|A^n x\|^2 = \|AA^{n-1}x\|^2 \leq \|A^{n+1}x\| \cdot \|A^{n-1}x\|.$$

Обозначим $s_n = \|A^n x\|$. Тогда это неравенство примет вид

$$s_n^2 \leq s_{n+1} \cdot s_{n-1} \quad (2)$$

Определение 2. Числовая последовательность s_n , удовлетворяющая неравенству (2), называется супергеометрической.

Пользуясь методом математической индукции, нетрудно установить справедливость следующего неравенства:

$$s_n^{p+q} \leq s_{n+p}^q \cdot s_{n-p}^p, n, p, q \in \mathbb{Z}^+, q \leq n.$$

Оно нам понадобится для двух частных случаев:

$$s_1^n \leq s_n \cdot s_0^{n-1}, \quad (3)$$

$$s_n^{n+1} \leq s_{n+1} \cdot s_0. \quad (4)$$

Предложение 1. *Для паранормального оператора его норма и спектральный радиус совпадают.*

Действительно, в силу неравенства (3)

$$\|Ax\| \leq \|A^n x\|^{\frac{1}{n}} \cdot \|x\|^{1-\frac{1}{n}} \leq \|A^n\|^{\frac{1}{n}} \cdot \|x\|,$$

откуда

$$\|Ax\| \leq \|x\| \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \|A^n\|^{\frac{1}{n}} = r(A) \cdot \|x\|,$$

т.е. $\|A\| \leq r(A)$. Так как противоположное неравенство справедливо для произвольного оператора, то $\|A\| = r(A)$.

Заметим, что данное предположение является обобщением результата Андо (1) и Стампли (2), доказавших это равенство для гипонормальных операторов. Напомним некоторые факты из данфордовской теории спектральных операторов. Как хорошо известно (3), резольвента $R_\lambda(A)$ произвольного оператора A является аналитической вектор-функцией на резольвентном множестве $\rho(A)$. Для любого элемента $x \in X$ вектор-функция $x(\lambda) = R_\lambda(A)x$ аналитична по меньшей мере на $\rho(A)$. В некоторых случаях она допускает распространение на более обширное, чем $\rho(A)$, множество $D_{x(\lambda)}$. Очевидно, что на $D_{x(\lambda)}$ функция $x(\lambda)$ удовлетворяет равенству $(A - \lambda I)x(\lambda) = x$.

Дифференцируя это равенство и пользуясь принципом математической индукции, нетрудно установить также формулу

$$(A - \lambda I)^{n+1} \frac{x^{(n)}(\lambda)}{n!} = x. \quad (5)$$

Определение 3. *Будем говорить, что функция $x(\lambda)$ допускает однозначное распространение в точке μ , если функция $x(\lambda) \equiv 0$ есть единственное аналитическое в некоторой окрестности μ решение уравнения $(A - \lambda I)f(\lambda) \equiv 0$.*

Определение 4. *Будем говорить, что оператор A удовлетворяет условию (A) Данфорда, если функция $x(\lambda)$ допускает однозначное распространение в любой точке. Объединение областей определения $D_{x(\lambda)}$ всевозможных распространений обозначим через $\rho(x)$ и назовем резольвентным*

множеством элемента x , а его дополнение – спектром элемента и обозначим через $\sigma(x)$.

Введем обозначение

$$Q(A) = \{x \in X : \lim_{n \rightarrow \infty} \|A^n x\|^{\frac{1}{n}} = 0\}.$$

Предложение 2. Для паранормального оператора множество $Q(A)$ совпадает с ядром $N(A)$ оператора A .

Включение $N(A) \subset Q(A)$ очевидно. Если $x \in Q(A)$, то

$$0 \leq \|Ax\| \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \|A^n\|^{\frac{1}{n}} \cdot \|x\|^{1-\frac{1}{n}} = 0.$$

Это предложение в случае самосопряженного оператора установлено Бродским ((4), лемма 7.1).

Предложение 3. Паранормальный оператор A обладает свойством однозначного аналитического распространения в точке 0.

Доказательство этого предложения основано на одном результате Мбекта ((5), предложение 1.10), согласно которому из замкнутости множества $Q(A)$ следует однозначность аналитического распространения функции $x(\lambda)$ в точке 0.

Определение 5. Оператор A называется эквипаранормальным, если для любого λ оператор $A - \lambda I$ паранормален.

Нетрудно заметить, что любой гипонормальный оператор эквипаранормален.

Предложение 4. Эквипаранормальный оператор удовлетворяет условию (A) спектральности Данфорда.

Аналогичное предложение для гипонормальных операторов было установлено Раджабалипуром ((6)).

Предложение 5. Пусть оператор A эквипаранормален. Тогда

$$\|x(\lambda)\| \leq \frac{\|x\|}{\text{dist}(\lambda, \sigma(x))}. \quad (6)$$

где $\text{dist}(\lambda, \sigma(x))$ есть расстояние от точки λ до множества $\sigma(x)$.

Установим сначала одно важное неравенство. Пусть z произвольный элемент из X . Неравенство (4) принимает вид

$$\|(A - \lambda I)^n z\| \leq \|(A - \lambda I)^{n+1} z\|^{\frac{n}{n+1}} \cdot \|z\|^{\frac{n!}{n+1}}.$$

Подставим теперь $z = \frac{x^{(n)}(\lambda)}{n!}$. Тогда

$$\|x(\lambda)\| \leq \|x\| \frac{\|x^{(n)}(\lambda)\|}{n!}.$$

Аналитическая вектор-функция $x(\lambda)$ допускает разложение

$$x(\mu) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{(n)}(\lambda)}{n!} (\mu - \lambda)^n.$$

Радиус сходимости этого ряда, согласно формуле Коши – Адамара, удовлетворяет равенству

$$\frac{1}{R} = \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \left\| \frac{x(\lambda)}{n!} \right\|^{\frac{1}{n}}.$$

С другой стороны, R равен расстоянию от точки λ до ближайшей точки неаналитичности функции $x(\lambda)$, т.е. $\text{dist}(\lambda, \sigma(x))$. Тогда

$$\|x(\lambda)\| \leq \frac{\|x\|}{\text{dist}(\lambda, \sigma(x))}.$$

Это неравенство установлено также Путнамом (7) для гипонормальных операторов и точек λ , не принадлежащих спектру. Стампфли (8) доказал его для гипонормальных операторов с пустым точечным спектром и точек, принадлежащих резольвентному множеству элемента.

Рассмотрим множество $M(F) = \{x: x \in X, \sigma(x) \subset F\}$, где $F \subset \mathbb{C}$. Легко видеть, что $M(F)$ является инвариантным относительно A линейным многообразием. Оно называется спектральным подпространством, порожденным множеством F .

Определение 6. Будем говорить, что оператор A удовлетворяет условию (С) спектральности Данфорда, если для любого замкнутого множества F спектральное многообразие $M(F)$ замкнуто.

Предложение 6. Эквипаранормальный оператор удовлетворяет условию (С) спектральности Данфорда.

Пусть $\{x_n\} \subset M(F)$ последовательность, сходящаяся к некоторому x , и λ произвольная точка из дополнения к F . Очевидно, что $\delta = \text{dist}(\lambda, F) > 0$. Тогда

$$\|x_n(\lambda)\| \leq \frac{\|x_n\|}{\text{dist}(\lambda, \sigma(x))} \leq \frac{\|x_n\|}{\delta} \leq \frac{\text{const}}{\delta}.$$

Согласно теореме Монтея последовательность функций $\{x_n(\lambda)\}$ является нормальным семейством, поэтому существует ее сходящаяся равномерно на компактных подмножествах к некоторой аналитической функции $f(\lambda)$ подпоследовательность $\{x_{n_k}(\lambda)\}$. Тогда

$$(A - \lambda I)f(\lambda) = \lim_{k \rightarrow \infty} (A - \lambda I)x_{n_k}(\lambda) = \lim_{k \rightarrow \infty} x_{n_k} = x.$$

Так как A обладает свойством однозначного аналитического распространения, то $f(\lambda) = x(\lambda)$, чем и завершается доказательство.

Замечание 1. Это предложение доказал также Ли Шао Куан ⁽⁹⁾ (при дополнительном предположении об однозначном аналитическом распространении резольвенты оператора A).

Замечание 2. Раджабалипур ⁽¹⁰⁾ показал, что любой гипонормальный оператор обладает свойством (С).

Определение 7. Оператор A , действующий в гильбертовом пространстве H , называется доминантным, если для любого $\lambda \in \mathbb{C}$ имеет место включение $R(A - \lambda I) \subset R(A^* - \bar{\lambda}I)$.

Отметим, что любой гипонормальный оператор доминантен. Из определения доминантного оператора легко следует, что любой собственный элемент оператора A является собственным элементом также оператора A^* . Таким образом, замкнутая линейная оболочка собственных элементов приводит оператор A , а сужение A на это подпространство нормально.

Пусть δ произвольное подмножество комплексной плоскости. Введем обозначение

$$Z_\delta(A) = \{x: x \in \bigcap_{\lambda \in \delta} R(A - \lambda I)\}.$$

Нетрудно заметить, что условие $x \in Z_\delta(A)$ эквивалентно существованию функции $f: \mathbb{C} \setminus \delta \rightarrow X$ такой, что $(A - \lambda I)f(\lambda) \equiv x$.

Предложение 7. Пусть оператор A эквианормален и доминантен, а множество δ замкнуто. Тогда $Z_\delta(A) = M(\delta)$.

Доказательство основано на теореме Бэра о категориях, неравенстве (6) и нижеследующей серии вспомогательных утверждений. Так как это предложение очевидным образом справедливо для нормальных операторов с чисто точечным спектром, то можно предположить, что оператор A имеет пустой точечный спектр.

Лемма (Клэнси ⁽¹¹⁾). Пусть $x \in Z_\delta(A)$. Тогда функция $\|f(\lambda)\|$ полунепрерывна снизу на $\mathbb{C} \setminus \delta$.

Лемма (Стампли и Вадхва ⁽¹²⁾). Пусть оператор A доминантен, множество δ замкнуто и функция $f: \mathbb{C} \setminus \delta \rightarrow H$, удовлетворяющая условию $(A - \lambda I)f(\lambda) \equiv x$, ограничена. Тогда f аналитична на $\mathbb{C} \setminus \delta$.

Էկվիպարանորմալ օպերատորների լոկալ սպեկտրալ տեսությունը

Ցույց է տրված, որ Բանախի տարածությունում գործող էկվիպարանորմալ օպերատորի սպեկտրալ շառավիղը հավասար է նրա նորմին և այդ օպերատորների համար տեղի ունեն Դանֆորդի սպեկտրալության (A) և (C) պայմանները:

Ապացուցված է նաև օպերատորների պատկերների հատման մասին թեորեմը: Ստացված արդյունքները ընդհանրացնում և ճշգրտում են ավելի վաղ այլոց կողմից ապացուցված պնդումները:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ T.Ando, Proc Amer Math.Soc., v.14, p.290-291 (1963). ² J.Stampfli, Pacific J.Math., v.12, p.1543-1458 (1962). ³ Н.Данфорд, Дж.Т.Шварц, Линейные операторы, т.3, Спектральные операторы, М., Мир, 1973. ⁴ М.С.Бродский, Треугольные и жордановы представления линейных операторов, М., Наука, 1969. ⁵ М.Мbekhta, Proc Amer Math. Soc., v.110, №3, p.621-631 (1990). ⁶ M.Radjabalipour, Illinois J.Math., v.21, p.70-75 (1977). ⁷ C.R.Putman, Commutation Properties of Hilbert space Operators and Related Topics, Springer-Verlag, Berlin, 1967. ⁸ J.Stampfli, Trans.Amer.Math.Soc., v.217, p.285-297 (1976). ⁹ Li Shao Kuan, Chinese Ann.Math., v.3, №3, p.303-308 (1982). ¹⁰ M.Radjabalipour, Proc.Amer.Math.Soc., v.62, №1, p.105-110 (1977). ¹¹ K.Clancey, Proc Amer.Math.Soc., v.72, №3, p.473-479 (1978). ¹² J.Stampfli, B.Wadhwa, Monatsh. Math., v.84, №2, p.143-155 (1977).

УДК 531.1

В. В. Аветисян, Т. Т. Меликян

**Управляемый поиск подвижного объекта
в одном семействе траекторий в прямоугольной области**

(Представлено академиком НАН Армении Л.А. Агаловяном 29/VII 1997)

1. Рассмотрим систему двух управляемых объектов X и Y

$$\begin{aligned} X: \dot{x} &= u, x(t_0) = x^0; |u(t)| \leq U, x, u \in R^2, \\ Y: \dot{y} &= v, y(t_0) = y^0; |v(t)| \leq V, y, v \in R^2, U > V, t \geq t_0, \\ x(t) &\in D, y(t) \in D, t \geq t_0, D \subset R^2. \end{aligned} \quad (1.1)$$

В (1.1) $u(t)$ и $v(t)$ допустимые управления из класса кусочно-непрерывных функций, а D есть прямоугольник $D = \{(x_1, x_2): 0 \leq x_1 \leq a, 0 \leq x_2 \leq b\}$. Скажем, что поисковый объект (ПО) X обнаруживает или наблюдает искомый объект (ИО) Y в некоторый момент времени $t \geq t_0$ в том и только в том случае, когда выполняется условие

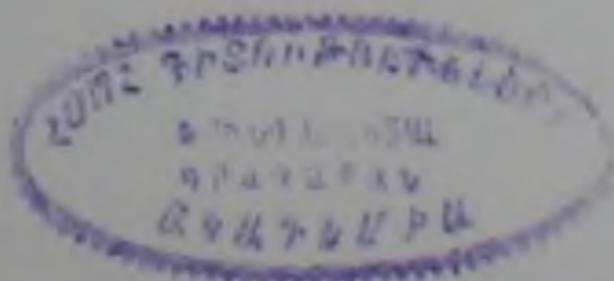
$$y(t) \in G(x(t)), \quad (1.2)$$

где $G(x(t)) \subset R^2$ – некоторое подвижное выпуклое компактное множество, связанное с текущим значением фазового вектора $x(t)$.

Сформулируем задачу гарантированного поиска (1).

Задача. Найти начальный вектор $x^0 \in D$, число $T \geq t_0$ и допустимое управление $u(t)$ поискового объекта X на интервале времени $[t_0, T]$, для которых при любом начальном векторе $y^0 \in D$ и любом допустимом управлении $v(t)$ искомого объекта Y на интервале $[t_0, T]$ гарантируется выполнение условия (1.2) в некоторый момент $t \in [t_0, T]$.

Отметим, что X , выбирая свое управление, опирается лишь на информацию (1.1), не имея при этом информации об управлении $v(t)$, о его начальном $y(t_0)$ и текущем $y(t)$ фазовых состояниях.



2. Пусть проекция области $G(x(t))$ на оси OX_1 есть отрезок $[x_1(t) - \delta^{\min}, x_1(t) + \delta^{\max}]$. Тогда область $G(x(t))$ можно представить в виде совокупности областей $L_{\delta/\delta \in \Delta}, \Delta = [-\delta^{\min}, \delta^{\max}]$, где L_{δ} множество точек, образующее параллельный оси OX_2 отрезок, имеющий длину $l_{\delta} = L_{\delta}^+ - L_{\delta}^-$ и проекцию $x_1^{\delta} = x_1(t) + \delta$ на оси OX_1 . Условие наблюдения (1.2) перепишем в виде

$$y(t) \in G(x) \equiv \bigcup_{\delta \in \Delta} L_{\delta}, \quad (2.1)$$

где $L_{\delta} = \{(\xi_1, \xi_2) \in R^2: \xi_1 = x_1(t) + \delta, x_2(t) + L_{\delta}^+ \leq \xi_2 \leq x_2(t) + L_{\delta}^-\}, \Delta = [-\delta^{\min}, \delta^{\max}]$.

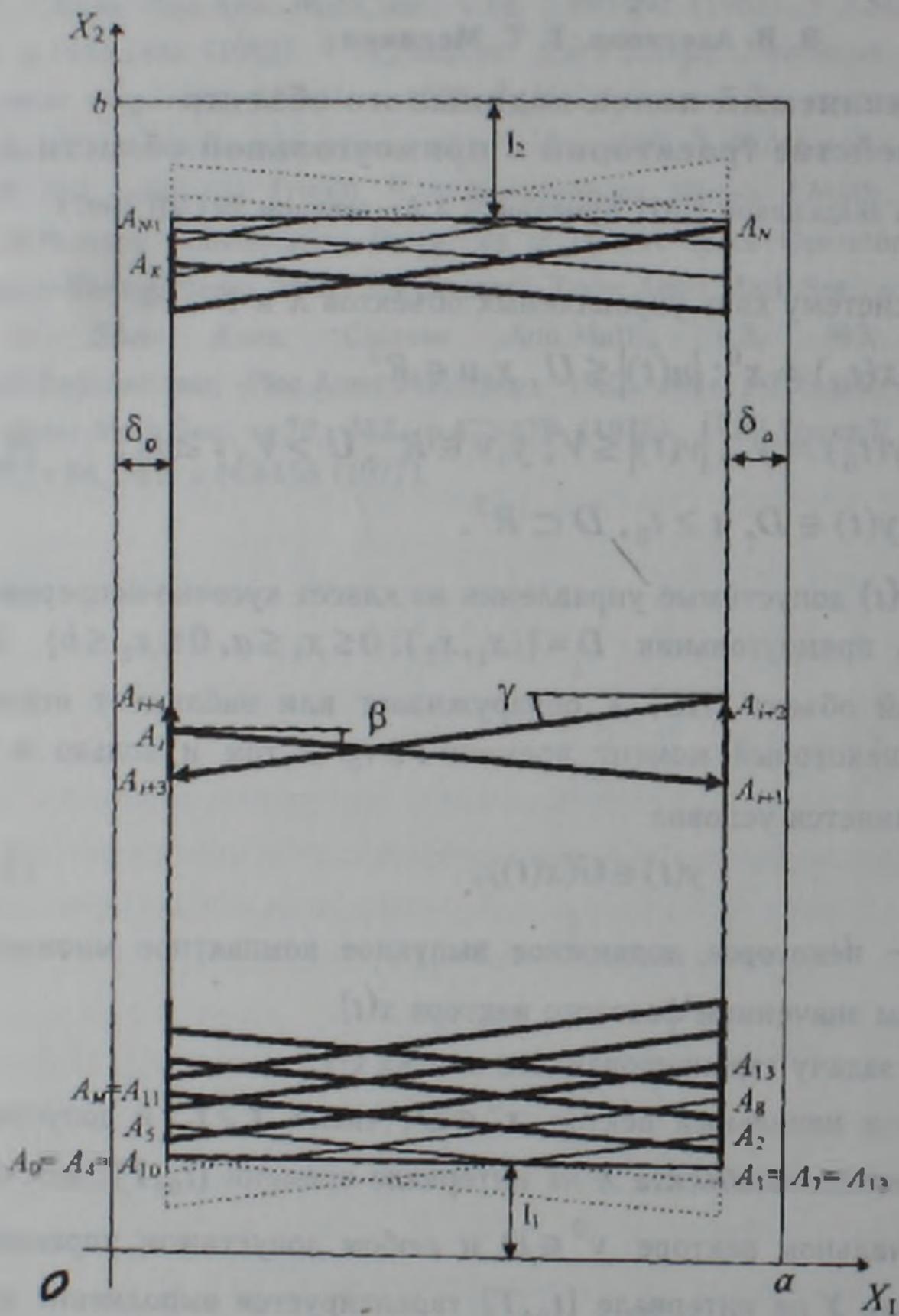


Рис.1

Опишем сначала предлагаемый способ управления, а затем определим условия на входящие в него параметры, при которых решается задача. Представим траекторию движения X с помощью ломаных так, как это показано на рис.1, где направление движения X , начиная с A_0 с координатами $(\delta_0, l_1 = \min\{L_{\delta/\delta=\delta_0}^-, L_{\delta/\delta=\delta_a}^-\})$ и кончая в A_N с координатами $(a - \delta_a, l_2 = \min\{L_{\delta/\delta=\delta_0}^+, L_{\delta/\delta=\delta_a}^+\})$, совпадает с направлением возрастания индексов вершин $A_i, i=0, \dots, N$, а углы β, γ определяют наклоны участков $A_i A_{i+1}, A_{i+2} A_{i+3}$ относительно оси OX_1 соответственно, $-\pi/2 < \beta < \pi/2, -\pi/2 < \gamma < \pi/2$. Величину максимальной скорости по каждому участку траектории определим максимальной $|u(t)| = U$. Как видно из рис.1, представленные траектории, начиная с некоторой промежуточной вершины $A_M, M > 0$, лежащей на прямой $x_1 = \delta_0$ и кончая в некоторой вершине $A_K, K = M + 4J$ (J – неотрицательное число), лежащей на той же прямой, повторяются с каждой пятой вершины $A_{M+4j}, j=0, 1, \dots, J-1$, со сдвигом на некоторую величину $h > 0$ и удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{aligned} & A_i A_{i+1} \parallel A_{i+4} A_{i+5}, |A_i A_{i+1}| = |A_{i+4} A_{i+5}|, h = x_2^{i+4} - x_2^i > 0, \\ & A_i = (\delta_0, x_2^i), A_{i+1} = (a - \delta_a, x_2^{i+1}), A_{i+2} = (a - \delta_a, x_2^{i+2}), \\ & A_{i+3} = (\delta_0, x_2^{i+3}), A_{i+4} = (\delta_0, x_2^{i+4}), A_{i+5} = (a - \delta_a, x_2^{i+5}), \\ & 0 \leq \delta_0 \leq \delta^{\min}, 0 \leq \delta_a \leq \delta^{\max}, i = M + 4j, j = 0, 1, \dots, J, J \in \mathbb{N}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Для фиксированного $i, i = M + 4j, j = 0, 1, \dots, J-1$, ломаную $A_{i,j+4} = A_i \dots A_{i+4}$, зависящую от четырех параметров $x_2^{i+m}, m = 1, 2, 3, 4$, и от параметров $\delta_0, \delta_a, (0 \leq \delta_0 \leq \delta^{\min}, 0 \leq \delta_a \leq \delta^{\max})$, назовем полным циклом траектории движения X , а число J – количеством полных циклов. Траектории с началами A_0, A_K и концами A_M, A_N соответственно, представляющие собой неполные циклы, отличаются от полных тем, что участки траекторий (на рис.1 показаны мелкими пунктирами), лежащие вне прямоугольника $\bar{D} = \{(x_1, x_2) \in D, \delta_0 \leq x_1 \leq a - \delta_a, l_1 \leq x_2 \leq b - l_2\}$, заменены соответствующими отрезками на горизонтальных сторонах прямоугольника \bar{D} . Очевидно, что от значений параметров $x_2^{i+m}, \delta_0, \delta_a$ зависит структура как промежуточного полного цикла $A_{i,j+4} = A_i \dots A_{i+4}$, так и всей траектории $A_{0,N} = A_0 \dots A_N$.

Обозначим через $\Delta_s \subset [t_0, T], s = 1, \dots, S$, время перемещения X от вертикальной стороны $x_1 = \delta_0, 0 \leq \delta_0 \leq \delta^{\min}$ к другой вертикальной стороне $x_1 = a - \delta_a, 0 \leq \delta_a \leq \delta^{\max}$ (или наоборот), где S определяет число перемещений между боковыми сторонами. Очевидно, что при каждом таком переходе, при любом допустимом управлении существует $u(t), t \in \Delta_s$, некоторый непустой

интервал времени $\Delta t'_i \subseteq \Delta t_i$, на котором абсцисса $y_1(\tau), \tau \in \Delta t'_i$, совпадает с абсциссами некоторых отрезков $L_{\delta/\delta \in \Delta'}$, где подобласть $\Delta' \subseteq \Delta$ зависит от управления $v(t)$. Чем ближе находится ИО Y у боковых сторон $x_1 = 0, x_1 = a$ области D , тем в меньшее количество отрезков L_{δ} объект Y может попасть (Δ' уменьшается). Во всех случаях абсцисса Y равняется с абсциссой хотя бы одного отрезка $L_{\delta/\delta \in \Delta'}$, поскольку $\Delta' = \Delta(v(t)) \neq \emptyset$.

Определение. Назовем $D_i, D_i \subseteq D$, областью безопасного передвижения Y в момент времени t , если для любой точки $M' \in D_i$ существует начальное положение $y(t_0) \in D$ и допустимое управление $v(\tau), t_0 \leq \tau \leq t$, при которых Y может за время $t - t_0$ достичь точки M' , избегав наблюдения. Кривую $\Gamma_i = |D_i| \setminus D_i$, где $|D_i|$ есть замыкание области D_i , назовем предельной для Y .

Лемма. Пусть X перемещается по некоторой траектории $A_{0,N}$ с промежуточным полным циклом (2.2) и $t_0, t_1, \dots, t_N = T$ — моменты прохождения X вершин A_0, A_1, \dots, A_N соответственно. Тогда для того, чтобы обнаружение (2.1) ИО Y осуществилось не позже времени $t_N = T$, достаточно, чтобы для произвольного $s=1, \dots, S$ при любом допустимом управлении $v(t), t \in \Delta t_s$, выполнялось условие

$$\exists \delta \in \Delta'(v) \subset \Delta, \text{ что } y_2(\tau) \leq x_2(\tau) + L_{\delta}^-, \text{ когда } y_1(\tau) = x_1(\tau) + \delta. \quad (2.3)$$

Таким образом, задача поиска заключается в определении таких условий на параметры задачи, задающие структуру траектории $A_{0,N}$, при которых гарантируется выполнение условия (2.3) на всем интервале времени $[t_0, T]$.

Пусть поиск завершается в некоторый момент $t \geq t_0$. Тогда условие обнаружения (2.1) выполняется при прохождении поискового объекта по ломаной некоторого полного или неполного цикла. Поскольку время прохождения X по ломаной полного цикла больше соответствующего времени прохождения любого неполного цикла, то исследование выполнения условия (2.3) достаточно провести при перемещении X по некоторой $A_{i,i+4}, i=M+4j, j=0, \dots, J-1$.

3. Допустим, что ПО X , начиная движение из вершины $A_0(\delta_0, l_1)$, по описанному выше способу в момент времени $t = t_{i+1}$ (в предположении, что условие (2.3) выполнено к этому моменту) приходит к вершине $A_{i+1}(a - \delta_a, x_2^{i+1})$, где

$$x_2^{i+1} = x_2^{i+1}(\mu) = x_2^i + (a - \delta_0 - \delta_a)\mu, \mu = tg\beta, |\beta| < \pi/2. \quad (3.1)$$

С момента $t = t_{i+1}$ движение X происходит по вертикали $x_1 = a - \delta_a$ из точки $A_{i+1}(a - \delta_a, x_2^{i+1})$ в точку $A_{i+2}(a - \delta_a, x_2^{i+2})$ с ординатой

$$x_2^{i+2} = x_2^{i+2}(\mu, d_a) = x_2^i + (a - \delta_0 - \delta_a)\mu + d_a, 0 \leq d_a \leq d_a^{\max}. \quad (3.2)$$

Здесь d_a^{\max} — та максимальная величина продвижения по вертикали $x_1 = a - \delta_a$, при которой кривая $\Gamma_{i+2} = \Gamma_{i+2}(\mu, d_a) = [D_{i+2}] \setminus D_{i+2}$ касается с областью наблюдения $G(x(t_{i+2}))$.

4. Найдем координаты вершины A_{i+3} , приходя в которую по прямой $A_{i+2}A_{i+3}$ объект X обеспечивает выполнение условия (2.3) для произвольного $t, t_{i+2} \leq t \leq t_{i+3}$. Для этого нижнюю точку $(a - \delta_a + \delta, x_2^{i+2} + L_\delta^-)$ отрезка $L_{\delta/\delta \in \Delta}$ области наблюдения $G(x(t_{i+2}))$ поисковой системы X рассмотрим в качестве преследуемого объекта, а произвольную точку на предельной кривой Γ_{i+2} — в качестве преследуемого объекта. Тогда множество встреч объектов X и Y представится семейством кругов Апполония (2)

$$K(x_1^0, x_2^0, x_1^1, x_2^1) \leq 0, \text{ при } (x_1^0, x_2^0) = (a - \delta_a + \delta, x_2^{i+2} - l), (x_1^1, x_2^1) \in \Gamma_{i+2}, \delta \in \Delta$$

$$K(x_1^0, x_2^0, x_1^1, x_2^1) = (x_1 - x_1^1)^2 + (x_2 - x_2^1)^2 - ((x_1 - x_1^0)^2 + (x_2 - x_2^0)^2)q^2, q = V/U. \text{ П}$$

усть $\partial K_{i+2}^-(\delta)$ есть нижняя часть границы области $K_{i+2}(\delta)$, лежащей в области D

$$K_{i+2}(\delta) = \left(\bigcup_{(x_1^1, x_2^1) \in \Gamma_{i+2}} K(x_1^0, x_2^0, x_1^1, x_2^1) \right) \cap D.$$

Обозначим через $\sigma = (x_2^{i+1} - x_2^{i+3} + d_a) / (a - \delta_0 - \delta_a) = \text{tg} \gamma$, где γ — угол наклона $A_{i+2}A_{i+3}$ относительно оси OX_1 . При движении объекта X по участку $A_{i+2}A_{i+3}$ все отрезки $L_{\delta/\delta \in \Delta}$ проходят одно и то же расстояние $a - \delta_0 - \delta_a$ по абсциссной оси OX_1 , и нижняя точка L_δ^- отрезка $L_{\delta/\delta \in \Delta}$ либо во все время движения $[t_{i+2}, t_{i+3}]$ остается выше соответствующих кривых $\partial K_{i+2}^-(\delta)$, либо пересекается с ней, либо остается ниже ее. Обозначим через $\mathfrak{N}_\delta(\sigma) \subseteq [0, a]$ подобласть оси OX_1 , где движение нижней точки L_δ^- отрезка L_δ области наблюдения проходит ниже кривой $\partial K_{i+2}^-(\delta)$. Выберем величину наклона σ отрезка $A_{i+2}A_{i+3}$ из условия

$$\sigma^0 = \min \left\{ \sigma : \bigcup_{\delta \in \Delta} \mathfrak{N}_\delta(\sigma) \subseteq [0, a] \right\}.$$

Тогда справедлива

Лемма. Движение X из точки $A_{i+2}(t_{i+2})$ в точку $A_{i+3}(t_{i+3})$ по наклону σ^0 обеспечивает выполнение условия (2.3) к моменту $t = t_{i+3}$. Любое другое продвижение по отрезку $A_{i+2}\tilde{A}_{i+3}$, где $\tilde{A}_{i+3} = (a, \tilde{x}_2^{i+3})$, $\tilde{x}_2^{i+3} > x_2^{i+3}$, не гарантирует выполнение условия (2.3).

Ординату x_2^{i+3} , удовлетворяющую лемме, можно определить таким образом:

$$x_2^{i+3} = x_2^{i+3}(\mu, d_a) = x_2^i + (a - \delta_0 - \delta_a)(\mu - \sigma^0) + d_a \quad (4.1)$$

5. Как и в случае перехода X из точки A_{i+1} в точку A_{i+2} , на интервале времени $|t_{i+3}, t_{i+4}|$ при переходе X из точки A_{i+3} в точку A_{i+4} можно построить соответственно предельные кривые $\Gamma_{i+3} = \Gamma_{i+3}(\mu, d_a, \delta_0, \delta_a)$, $\Gamma_{i+4} = \Gamma_{i+4}(\mu, d_a, d_0, \delta_0, \delta_a)$, ординату

$$x_2^{i+4}(\mu, d_a, d_0, \delta_0, \delta_a) = x_2^{i+3} + d_0, 0 \leq d_0 \leq d_0^{\max}, \quad (5.1)$$

где d_0^{\max} определяется аналогично d_a^{\max} (3.2), а также величину $\mu' = \mu'(\mu, d_0, d_a, \delta_0, \delta_a) = (x_2^{i+5} - x_2^{i+4}) / a = \operatorname{tg} \beta'$, где β' есть угол наклона прямой A_4, A_5 относительно оси OX_1 . Чтобы удовлетворить условиям (2.2), следует выбрать параметр d_0 (определяющий величину $h = d_0 - d_0'$ продвижения по области D) из интервала $d_0' \leq d_0 \leq d_0^{\max}$, где $d_0' = x_2^i - x_2^{i+3}$, если $0 < x_2^i - x_2^{i+3} < d_0^{\max}$, и $d_0' = 0$, если $x_2^i - x_2^{i+3} \leq 0$.

Для нахождения параметра d_0 , обеспечивающего движение X по требуемой траектории (2.3), необходимо разрешить относительно d_0 уравнение

$$\mu = \mu'(\mu, d_0, d_a, \delta_0, \delta_a). \quad (5.2)$$

Для заданных параметров задачи a, l, U, V , при фиксированных параметрах d_a, μ, δ_0 и δ_a , в случае разрешимости уравнения (5.2) однозначно определяются параметр $d_0 = d_0(\mu, d_a, \delta_0, \delta_a)$ и $x_2^{i+4} = x_2^{i+4}(\mu, d_a, \delta_0, \delta_a)$. Таким образом, находя координаты $x_2^{i+m} = x_2^{i+m}(\mu, d_a, \delta_0, \delta_a)$, $m = 1, 2, 3, 4$, согласно (3.1), (3.2), (4.1), (5.1), можно определить структуру траектории полного цикла и, следовательно, структуру всей траектории движения X по области D , обеспечивая тем самым выполнение условия (2.3), что гарантирует обнаружение Y не позже времени T . Поскольку не для всех значений параметров μ и d_a задача имеет решение, то при фиксированных значениях δ_0 и δ_a , обозначая через

$$H_{\delta_0, \delta_a}(\mu, d_a) \subset \{(\mu, d_a) : |\mu| < \infty, 0 \leq d_a \leq d_a^{\max}, \mu = \mu'\}$$

область на плоскости параметров (μ, d_a) , для каждой точки которой существует решение задачи, получим семейство траекторий, обеспечивающих обнаружение Y в некоторый момент $t \leq T$. Однако не для всех значений параметров задачи соответствующая область $H_{\delta_0, \delta_a}(\mu, d_a)$ непуста. Найдем соотношения между a, l, U, V , при которых $H(\mu, d_a) \neq \emptyset$. Нахождение искомым соотноше-

ний равносильно построению на плоскости переменных $p=U/a$, $q=V/U$, $l = \max_{\delta \in \Delta} (L_{\delta}^+ - L_{\delta}^-)$, области

$$\tilde{H}(p, q) = \bigcup_{\delta_0} \left(\bigcup_{\delta_a} \tilde{H}_{\delta_0, \delta_a}(p, q) \right),$$

где $\tilde{H}_{\delta_0, \delta_a}(p, q) = \tilde{H}_{\delta_0, \delta_a}(a, l, U, V) = \{(p, q) : H(\mu, d_a) \neq \emptyset\}$ область на плоскости (p, q) при фиксированных значениях δ_0 и δ_a , для каждой точки которой решение задачи поиска существует.

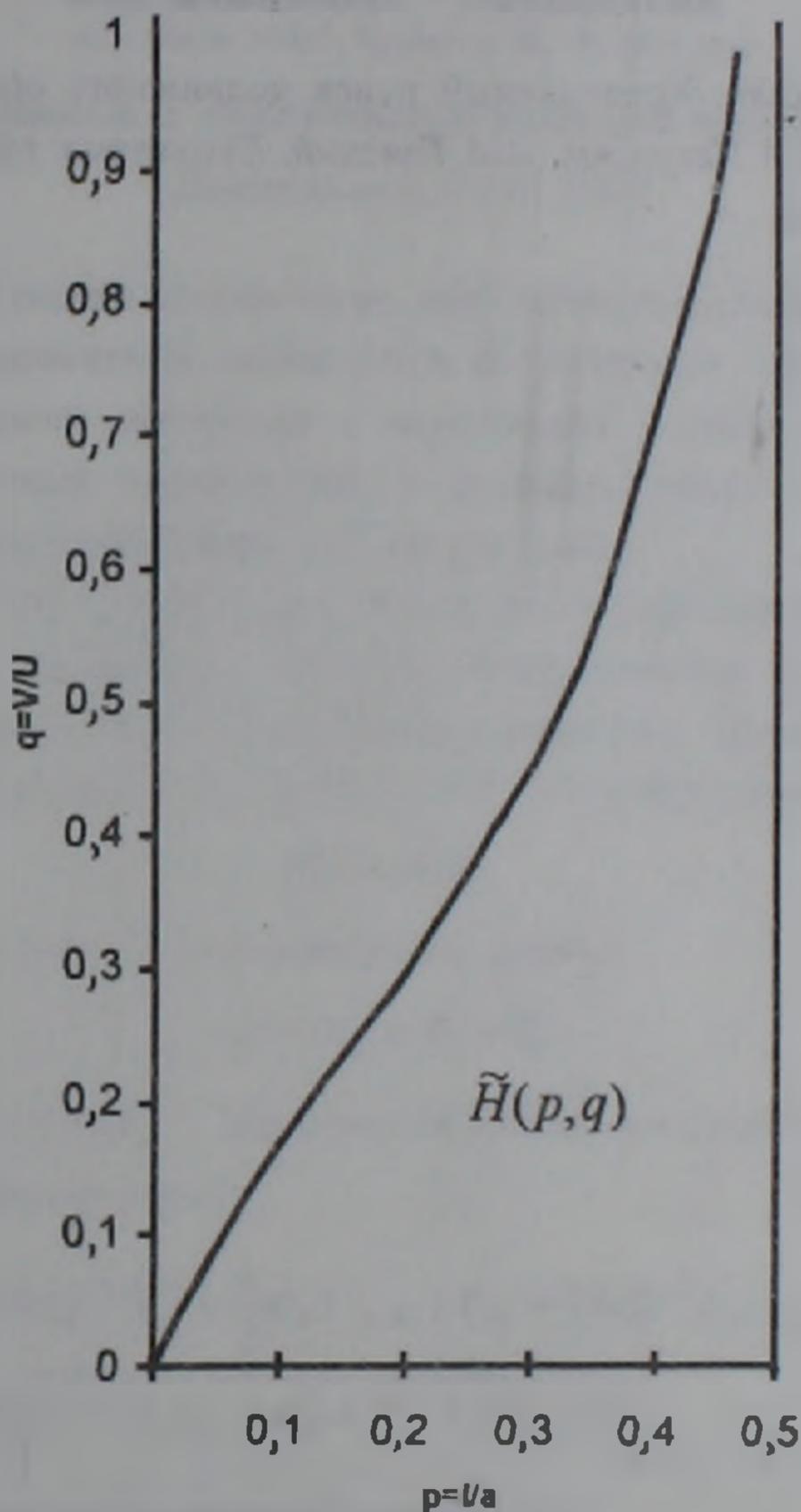


Рис.2

На рис.2 показана численно построенная область $\tilde{H}(p, q)$ в случае, когда область наблюдения представляет собой квадрат с диагональю, равной $2l$.

Շարժական օբյեկտի դեկավարելի փնտրումը ուղղանկյուն տիրույթում հետագծերի մի ընտանիքում

Աշխատանքում ուղղանկյուն փակ տիրույթում դիտարկվում է շարժական օբյեկտի դեկավարելի փնտրման խնդիրը ⁽¹⁾ կամայական փակ և ուռուցիկ դիտման տիրույթի միջոցով: Վերջավոր ժամանակում օբյեկտի հայտնաբերումն ապահովելու համար առաջարկվում է փնտրումն իրականացնել բազմապարամետրանոց հետագծերի ընտանիքում, որն իր մեջ պարունակում է ⁽²⁾ -ում տրված հետագծերը և շարժական օբյեկտի հայտնաբերումն իրականացնում է խնդրի մեջ մտնող պարամետրերի փոփոխման ավելի լայն դասի համար:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ *Ф.Л.Черноусько*, Управляемый поиск подвижного объекта, ПММ, т.44, вып.1 (1980). ² *Л.А.Петросян, А.А.Томский*, Геометрия простого преследования, Изд.ЛГУ, 1980.

УДК 239.374

Академик НАН Армении М. А. Задоян

Напряжения в окрестности угловой точки плиты

(Представлено 26/IX 1997)

Классическая теория изгиба плит, как отмечено Б.Галеркиным ⁽¹⁾ еще в 20-х годах, из-за известных недостатков не позволяет получить правильную картину напряженного состояния в окрестности угловой точки плиты. Для исследования местных напряжений в угловых точках плиты естественно использовать уточненные теории ⁽²⁻⁴⁾ изгиба плит.

Рассматривается напряженное состояние в окрестности краевого ребра плиты при учете поперечных сдвигов, изготовленного из несжимаемого и упрочняющегося по степенному закону материала. Принимаем, что между интенсивностями напряжений и деформаций существует зависимость

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

При учете условия несжимаемости материала

$$\varepsilon_r + \varepsilon_\theta + \varepsilon_z = 0,$$

а также пренебрежении σ_z , зависимости между компонентами напряжений и деформаций принимают форму

$$\sigma_r = 4k\varepsilon_0^{m-1} \left(\varepsilon_r + \frac{1}{2} \varepsilon_\theta \right)_{(r,\theta)}; \tau_{r\theta} = 2k\varepsilon_0^{m-1} \gamma_{r\theta} \quad (r,\theta,z); \quad (1)$$

$$\varepsilon_0 = 2\sqrt{\varepsilon_r^2 + \varepsilon_r \varepsilon_\theta + \varepsilon_\theta^2 + \gamma_{r\theta}^2 + \gamma_{\theta z}^2 + \gamma_{rz}^2} .$$

Имеем дифференциальное уравнение равновесия

$$\frac{\partial M_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial M_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{M_r - M_\theta}{r} + Q_r = 0,$$

$$\frac{\partial M_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial M_\theta}{\partial \theta} + \frac{2}{r} M_{r\theta} + Q_\theta = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{r} Q_r = 0$$

Следуя Вашидзу (2), разлагая перемещения в ряд Тейлора по степеням z , берем их в следующей форме:

$$u = z\phi(r, \theta), v = z\Psi(r, \theta), w = w(r, \theta), \quad (3)$$

где ϕ, Ψ, w — искомые функции r, θ .

Таким образом, будем иметь

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\gamma^2 + 4\omega^2 z^2},$$

где:

$$\gamma^2 = \left(\phi + \frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 + \left(\Psi + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right)^2,$$

$$\omega^2 = \left(\frac{\partial \phi}{\partial r} \right)^2 + \frac{\partial \phi}{\partial r} \left(\frac{\phi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right) + \left(\frac{\phi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial r} - \frac{\Psi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right)^2.$$

Компоненты напряжения представляются в форме:

$$\sigma_{ij} = \frac{4kzF_{ij}(r, \theta)}{\left| \sqrt{\gamma^2 + 4\omega^2 z^2} \right|^{1-m}}, \quad \tau_{zi} = \frac{kG_{zi}(r, \theta)}{\left| \sqrt{\gamma^2 + 4\omega^2 z^2} \right|^{1-m}},$$

причем в первой формуле вместо ij имеем r, θ и $r\theta$, а во второй формуле вместо i индексы r и θ , где

$$\begin{aligned} F_r &= \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{1}{2} \left(\frac{\phi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right), & G_r &= \phi + \frac{\partial w}{\partial r}, \\ F_\theta &= \frac{\phi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} + \frac{1}{2} \frac{\partial \phi}{\partial r}, & G_\theta &= \Psi + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta}, \\ F_{r\theta} &= \frac{\partial \Psi}{\partial r} - \frac{\Psi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta}, \end{aligned}$$

Моменты и перерезывающие силы будут определены из следующих выражений:

$$\begin{aligned} M_r &= kJ\omega^{m-1} F_r(r, \theta), \quad M_{r\theta} = \frac{1}{4} kJ\omega^{m-1} F_{r\theta}, \\ Q_r &= kl\omega^{m-1} \left(\phi + \frac{\partial w}{\partial r} \right), \quad Q_\theta = kl\omega^{m-1} \left(\Psi + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$J(r, \theta) = \int_0^h \frac{x^2 dx}{\left| \sqrt{x^2 + q^2} \right|^{1-m}}, \quad I(r, \theta) = \int_0^h \frac{dx}{\left| \sqrt{x^2 + q^2} \right|^{1-m}} \quad (5)$$

$$q = \frac{\gamma}{\omega} = \frac{\sqrt{\left(\phi + \frac{\partial w}{\partial r}\right)^2 + \left(\Psi + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial r}\right)^2 + \frac{\partial \phi}{\partial r} \left(\frac{\phi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta}\right) + \left(\frac{\phi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial r} - \frac{\Psi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta}\right)^2}}. \quad (6)$$

Содержащиеся в (3) неизвестные функции ищем в следующей форме:

$$\phi = r^\lambda \varphi(\theta, \lambda), \quad \Psi = r^\lambda \psi(\theta, \lambda), \quad w = r^{\lambda+1} f(\theta, \lambda), \quad (7)$$

где φ, ψ, f неопределенные функции θ , а λ неопределенный параметр.

Из (5) получаем

$$q = rM(\theta),$$

где

$$M = \frac{\sqrt{(f' + \psi)^2 + [\varphi + (\lambda + 1)f]^2}}{\sqrt{\psi'^2 + (\lambda + 2)\varphi\psi' + (\lambda^2 + \lambda + 1)\varphi^2 + \frac{1}{4}[\varphi' + (\lambda - 1)\psi]^2}}. \quad (8)$$

Моменты из выражения (4) перепишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} M_r &= kJr^{(\lambda-1)m} \left[\left(\lambda + \frac{1}{2} \right) \varphi + \frac{1}{2} \psi' \right] \chi, \\ M_\theta &= kJr^{(\lambda-1)m} \left[\left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi + \psi' \right] \chi, \\ M_{r\theta} &= \frac{1}{4} kJr^{(\lambda-1)m} [\varphi' + (\lambda - 1)\psi] \chi, \end{aligned} \quad (9)$$

а перерезывающих сил:

$$\begin{aligned} Q_r &= klr^{(\lambda-1)m+1} [\varphi + (\lambda + 1)f] \chi, \\ Q_\theta &= klr^{(\lambda-1)m+1} (f' + \psi) \chi, \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\chi = \left(\sqrt{\psi'^2 + (\lambda + 2)\varphi\psi' + (\lambda^2 + \lambda + 1)\varphi^2 + \frac{1}{4}[\varphi' + (\lambda - 1)\psi]^2} \right)^{m-1}.$$

Из (5) и (8) легко получить, что при $r \rightarrow 0$

$$J = h^{m+2} / (m + 2), \quad I = h^m / m.$$

Подставляя (9) и (10) в (2), для окрестности $r=0$ получаем систему из трех дифференциальных уравнений

$$\left\{ \left[\varphi' + (\lambda - 1)\psi \right] \chi \right\}' + 2 \left\{ [(\lambda - 1)m - 1] \psi' + (\lambda - 1) [1 + (2\lambda + 1)m] \varphi \right\} \chi = 0,$$

$$\left\{ \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right] \chi \right\}' + \frac{1}{4} [(\lambda - 1)m + 2] \left\{ \varphi' + (\lambda - 1)\psi \right\} \chi = 0, \quad (11)$$

$$[(f' + \psi)\chi]' + [(\lambda - 1)m + 2] [\varphi + (\lambda + 1)f] \chi = 0.$$

Возможны различные комбинации граничных условий. Когда боковые стороны плиты $\theta = \pm\alpha$ свободны от внешних воздействий, имеем

$$M_\theta = M_{r\theta} = Q_\theta = 0, \text{ при } \theta = \pm\alpha.$$

Согласно (9) и (10) будем иметь

$$\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi = 0, \quad \varphi' + (\lambda - 1)\psi = 0,$$

$$f' + \psi = 0 \text{ при } \theta = \pm\alpha. \quad (12)$$

Систему (11), с однородными условиями (12), можно рассматривать как задачу собственного значения, определяющую в принципе λ в зависимости от параметров α и m .

Первая пара уравнений (11), с граничными условиями первой строки (12), составляет самостоятельную задачу для определения $\lambda = \lambda(\alpha, m)$.

Указанную систему дифференциальных уравнений можно привести к каноническому виду. С этой целью предварительно определяем соотношения

$$\chi' / \chi = -\frac{1-m}{S} \left\{ 4 \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right] \psi'' + \left[\varphi' + (\lambda - 1)\psi \right] \varphi'' + \right.$$

$$\left. + 3(\lambda + 1)\varphi'\psi' + (\lambda - 1)^2 \psi\psi' + 4(\lambda^2 + \lambda + 1)\varphi\varphi' \right\},$$

$$S = 4 \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 + \left[\varphi' + (\lambda - 1)\psi \right]^2 + 3\lambda^2 \varphi^2.$$

Используя эти соотношения, указанную систему дифференциальных уравнений из (11) можно привести к системе из двух линейных уравнений относительно φ'' и ψ'' , после разрешения которой получаем

$$\varphi'' = \frac{BN + CH}{AC - B^2}, \quad \psi'' = \frac{AN + BH}{AC - B^2}, \quad (13)$$

где:

$$A = \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 + \frac{m}{4} |\varphi' + (\lambda - 1)\psi|^2 + \frac{3}{4} \lambda^2 \varphi^2,$$

$$B = (1 - m) \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right] |\varphi' + (\lambda - 1)\psi|,$$

$$C = 4m \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 + |\varphi' + (\lambda - 1)\psi|^2 + 3\lambda^2 \varphi^2,$$

$$H = - \left\{ \left[\lambda - 3 + 2(\lambda - 1)m \right] \psi' + 2(\lambda - 1) \left[1 + (1 + 2\lambda)m \right] \varphi \right\} \cdot$$

$$\left\{ \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 + \frac{1}{4} |\varphi' + (\lambda - 1)\psi|^2 + \frac{3}{4} \lambda^2 \varphi^2 \right\} + \quad (14)$$

$$+ \frac{1 - m}{4} |\varphi' + (\lambda - 1)\psi| \left| 3(\lambda + 1)\varphi'\psi' + (\lambda - 1)^2 \psi\psi' + 4(\lambda^2 + \lambda + 1)\varphi\varphi' \right|,$$

$$N = - \left\{ \left[\lambda + 3 + \frac{(\lambda - 1)m}{2} \right] \frac{\varphi'}{2} + \left[1 + \frac{(\lambda - 1)m}{2} \right] \frac{\lambda - 1}{2} \psi \right\} \cdot$$

$$\left\{ 4 \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 + |\varphi' + (\lambda - 1)\psi|^2 + 3\lambda^2 \varphi^2 \right\} +$$

$$+ (1 - m) \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right] \left| 3(\lambda + 1)\varphi'\psi' + (\lambda - 1)^2 \psi\psi' + 4(\lambda^2 + \lambda + 1)\varphi\varphi' \right|.$$

Легко заметить, что

$$AC - B^2 > \left\{ 4m \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 + |\varphi' + (\lambda - 1)\psi|^2 + 3\lambda^2 \varphi^2 \right\} \cdot$$

$$\left\{ \frac{m}{4} |\varphi' + (\lambda - 1)\psi|^2 + \frac{3}{4} \lambda^2 \varphi^2 \right\} + \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 \cdot$$

$$\left\{ 3\lambda^2 \varphi^2 + 4m \left[\psi' + \left(\frac{\lambda}{2} + 1 \right) \varphi \right]^2 \right\} > 0.$$

Система (13), с условиями первой строки (12), приводится к системе из четырех уравнений первых порядков.

В случае линейно деформируемого материала, полагая $m=1$, из (13) находим систему из двух линейных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \varphi'' + (3\lambda - 5)\psi' + 4(\lambda^2 - 1)\varphi &= 0, \\ \psi'' + \frac{1}{4}(3\lambda + 5)\varphi' + \frac{1}{4}(\lambda^2 - 1)\psi &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Отсюда из второго уравнения определяем

$$\varphi = N_1 - \frac{1}{3\lambda + 5} \int_0^\theta [4\psi'' + (\lambda^2 - 1)\psi] d\theta, \quad (16)$$

где N_1 произвольная постоянная. Подставляя φ в первом уравнении (15) и дифференцируя, приходим к уравнению

$$\varphi^{IV} + 2(\lambda^2 + 1)\psi'' + (\lambda^2 - 1)^2\psi = 0,$$

решение которого будет

$$\psi = a \cos(\lambda + 1)\theta + b \sin(\lambda + 1)\theta + c \cos(\lambda - 1)\theta + d \sin(\lambda - 1)\theta, \quad (17)$$

где a, b, c, d произвольные постоянные. Далее, используя (17), из (16) находим

$$\varphi = a \sin(\lambda + 1)\theta - b \cos(\lambda + 1)\theta + \frac{3\lambda - 5}{3\lambda + 5} c \sin(\lambda - 1)\theta - \frac{3\lambda - 5}{3\lambda + 5} d \cos(\lambda - 1)\theta. \quad (18)$$

Исходя из (17), (18) и из первой строки граничных условий (12) для симметричного и кососимметричного изгиба плиты приходим к уравнениям

$$\lambda \sin 2\alpha \pm \sin 2\lambda\alpha = 0.$$

Ранее такой же результат получен в работе Бартона и Синклайра (5) при исследовании напряженного состояния в окрестности угловой точки линейно-упругой плиты при поперечном изгибе. Исследования (5) основаны на уточненной теории изгиба плит Э.Рейснера (3).

Сравнивая выражения моментов (9) и перерезывающих сил (10) с соответствующими выражениями, полученными на основании классической теории изгиба плит (6,7), заключаем, что при учете поперечных сдвигов порядок концентрации моментов (напряжений) сохраняется, между тем перерезывающие силы, вопреки классической теории, остаются конечными и стремятся к нулю при $r \rightarrow 0$.

Аналогичный результат при учете поперечных сдвигов ранее получен в работах (8, 10) при исследовании концентрации напряжений на кромке трещины линейно-упругих плит.

Институт механики НАН Армении

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Մ. Ա. ՉԱԴՈՅԱՆ,

Լարումները սալի անկյունային կետի շրջակայքում

Ուսումնասիրվում է անսեղմելի և աստիճանային օրենքով ամրապնդվող նյութից պատրաստված սալի անկյունային կետի շրջակայքում լարումների վարքը, երբ հաշվի են առնվում լայնական սահքերը: Հետազոտությունը հանգում է սեփական արժեքների որոշմանը երկու երկրորդ կարգի ոչ-գծային դիֆերենցիալ հավասարումներից բաղկացած համակարգի համար՝ համապատասխան համասեռ եզրային պայմանների դեպքում: Մասնավորապես քննարկվում է գծային նյութի դեպքը, երբ հավասարումները ինտեգրվում են վերջավոր

տեւորով: Դասական տեսության համեմատութեամբ մոմենտներ (լարումների) կարգը մնում է նույնը, սակայն կտրող ուժերը ուսումնասիրվող կետի շրջակայքում վերջավոր են և ձգտում են գրոյի:

ЛИТЕРАТУРА – ՊՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Б.Г.Галеркин, Собр. соч., т.2, М., Изд-во АН СССР, 1953. ² К.Васидзу, Вариационные методы в теории упругости и пластичности, М., Мир, 1987. ³ E.Reissner, J. of Mathem. and Physics, v.23, №4, p.184-191 (1944). ⁴ С.А.Амбарцумян, Теория анизотропных пластин, М., Наука, 1987. ⁵ W.S.Burton, G.B.Sinclair, J.Appl.Mech., v.53, №1, p.220-222 (1986). ⁶ M.L.Williams, J.Appl.Mech., v.28, p.78-82 (1961). ⁷ М.А.Задоян, Докл.РАН, т.332, №3, с.319-321 (1993). ⁸ R.J.Hartman, G.J.Sih, J. Math. Phys., v.47, p.276-291 (1968). ⁹ N.J.Pagano, G.C.Sih, J. Solids and structures, v.4, p.591 (1968). ¹⁰ Э.В.Белубекян, ДАН Арм.ССР, т.49, №5, с.225-232 (1969)

УДК 539.3.518

А. В. Саакян

Численный метод решения сингулярных интегральных уравнений второго рода с комплексным коэффициентом

(Представлено академиком НАН Армении Б.Л.Абрамяном 17/VII 1997)

Рассмотрим сингулярное интегральное уравнение второго рода

$$\int_{-1}^1 \frac{\chi(x)}{x-y} dx + \pi\lambda\chi(y) = f(y) \quad (-1 < y < 1), \quad (1)$$

где λ – комплексное число, $\chi(x)$ – комплекснозначная неизвестная функция, $f(y)$ – заданная комплекснозначная функция, удовлетворяющая условию Гельдера.

Используя известные результаты Н.И.Мусхелишвили (1) о поведении сингулярного интеграла у концов отрезка интегрирования, решение уравнения (1) представим в виде

$$\chi(x) = (1-x)^\alpha (1+x)^\beta \varphi(x) = \omega(x)\varphi(x), \quad (2)$$

где α и β определяются из системы

$$\begin{cases} \cos \pi\alpha + \lambda = 0 \\ \cos \pi\beta - \lambda = 0 \end{cases} \quad \operatorname{Re} \alpha, \operatorname{Re} \beta > -1 \quad \alpha + \beta = \kappa = \begin{cases} -1 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \quad (3)$$

и выбираются соответственно индексу κ поставленной задачи, а функция $\varphi(x)$ удовлетворяет условию Гельдера на всем отрезке $[-1,1]$.

Поскольку весовой функции $\omega(x)$ соответствуют многочлены Якоби $P_n^{(\alpha,\beta)}(x)$ с комплексными параметрами α и β , а методология построения приближенного решения уравнения (1) является обобщением метода дискретных особенностей для сингулярных интегральных уравнений второго рода с вещественным коэффициентом, описанного в работе (2), то построим уравнение, заданное в комплексной плоскости, которое на отрезке $[-1,1]$ совпадает с уравнением (1).

Таким уравнением будет

$$\int_{-1}^1 \frac{\varphi(x)\omega(x)}{x-z} dx + \frac{\pi\lambda}{\cos\pi\alpha} (z-1)^\alpha (z+1)^\beta \varphi(z) = f(z), \quad (z \in D), \quad (4)$$

где D — конечная область комплексной плоскости, охватывающая отрезок $[-1, 1]$ действительной оси и корни многочленов $P_n^{(\alpha, \beta)}(z)$ и $P_{n-\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(z)$ (κ — индекс поставленной задачи) (3), а $\varphi(z)$ и $f(z)$ аналитические продолжения соответствующих функций.

Неизвестную функцию $\varphi(z)$ заменим интерполяционным многочленом $\varphi_n(z)$, определяемым формулой

$$\varphi_n(z) = \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i P_n^{(\alpha, \beta)}(z)}{(z-z_i) P_n'^{(\alpha, \beta)}(z_i)} \quad (z \in D), \quad (5)$$

где $\varphi_i = \varphi(z_i)$, $\{z_i\}_{i=1}^n$ — корни многочлена $P_n^{(\alpha, \beta)}(z)$.

Подставляя (5) в уравнение (4), получим

$$\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i g(z)}{(z-z_i) P_n'^{(\alpha, \beta)}(z_i)} = f(z) \quad (z \in D), \quad (6)$$

где

$$g(z) = \int_{-1}^1 \frac{\omega(x) P_n^{(\alpha, \beta)}(x)}{x-z} dx + \frac{\pi\lambda}{\cos\pi\alpha} (z-1)^\alpha (z+1)^\beta P_n^{(\alpha, \beta)}(z) - \int_{-1}^1 \frac{\omega(x) P_n^{(\alpha, \beta)}(x)}{x-z_i} dx. \quad (7)$$

Известное (4) спектральное соотношение для полиномов Якоби, справедливое для всех точек комплексной плоскости, разрезанной вдоль отрезка $[-1, 1]$,

$$\int_{-1}^1 \frac{\omega(x) P_n^{(\alpha, \beta)}(x)}{x-z} dx - \frac{\pi}{\sin\pi\alpha} (z-1)^\alpha (z+1)^\beta P_n^{(\alpha, \beta)}(z) = -2^{\alpha+\beta} \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(n+\beta+1)}{\Gamma(n+\alpha+\beta+1)} F\left(n+1, -n-\alpha-\beta; 1-\alpha; \frac{1-z}{2}\right)$$

при параметрах α и β , удовлетворяющих условиям (3), принимает вид

$$\int_{-1}^1 \frac{\omega(x) P_n^{(\alpha, \beta)}(x)}{x-z} dx + \frac{\pi\lambda}{\cos\pi\alpha} (z-1)^\alpha (z+1)^\beta P_n^{(\alpha, \beta)}(z) = -\frac{2^\kappa \pi}{\sin\pi\alpha} P_{n+\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(z). \quad (8)$$

Используя последнее соотношение, для функции $g(z)$ получим

$$g(z) = -\frac{2^\kappa \pi}{\sin \pi \alpha} \left| P_{n+\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(z) - P_{n+\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(z_i) \right|.$$

Если, согласно полученному выражению, уравнение (6) приравнять в корнях полинома Якоби $P_{n+\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(z)$, т.е. положить $z = \zeta_j$, $P_{n+\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(\zeta_j) = 0$ ($j = 1, 2, \dots, n + \kappa$), получим следующую систему алгебраических уравнений относительно φ_i

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i \varphi_i}{(z_i - \zeta_j)} = f(\zeta_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n + \kappa), \quad (9)$$

где

$$a_i = -\frac{2^\kappa \pi}{\sin \pi \alpha} \cdot \frac{P_{n+\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(z_i)}{P_n^{(\alpha, \beta)}(z_i)}$$

или, учитывая, что $P_n^{(\alpha, \beta)}(z) = \frac{n + \alpha + \beta + 1}{2} P_{n-1}^{(\alpha+1, \beta+1)}(z)$,

$$a_i = -\frac{2^{\kappa+1} \pi}{(n + \kappa + 1) \sin \pi \alpha} \cdot \frac{P_{n+\kappa}^{(-\alpha, -\beta)}(z_i)}{P_{n-1}^{(\alpha+1, \beta+1)}(z_i)}.$$

Рассмотрим различные значения индекса κ . Пусть $\kappa = -1$. В этом случае уравнение (1) не имеет единственного решения, и для его решения необходимо задать дополнительное условие, например

$$\int_{-1}^1 \chi(x) dx = C. \quad (10)$$

Необходимость дополнительного условия следует и из самой системы (9), поскольку при рассматриваемом значении индекса число уравнений системы меньше числа неизвестных. Дискретизируя условие (10) и добавляя к системе (9), получим замкнутую систему алгебраических уравнений

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i \varphi_i}{(z_i - \zeta_j)} = f(\zeta_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n-1), \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i \varphi_i = C.$$

Пусть $\kappa = 0$. В этом случае уравнение (1) имеет единственное решение, которое определяется из системы

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i \varphi_i}{(z_i - \zeta_j)} = f(\zeta_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (12)$$

Пусть теперь $\kappa = 1$. В этом случае уравнение (1) имеет решение только при выполнении условия

$$\int_{-1}^1 (1-y)^{-\alpha} (1+y)^{-\beta} \left[\int_{-1}^1 \frac{\chi(x)}{x-y} dx + \pi \lambda \chi(y) \right] dy = 0, \quad (13)$$

а число уравнений системы (9) превосходит число неизвестных, т.е. система переопределена. Следуя работам (2.5), систему (9) запишем в виде

$$\gamma_n + \sum_{i=1}^n \frac{a_i \varphi_i}{(z_i - \zeta_j)} = f(\zeta_j) \quad (j=1, 2, \dots, n+1). \quad (14)$$

где γ_n — регуляризирующая неизвестная (5), которая при возрастании n стремится к нулю тогда и только тогда, когда выполняется условие (13), и тем самым является индикатором его выполнения.

Если $f(y)$ является многочленом степени $n+k$, то получаем точное решение, поскольку $\varphi(z) = \varphi_n(z)$. Если функция $f'(y)$ удовлетворяет условию Гельдера, то из результатов (6) следует

$$|\varphi(x) - \varphi_n(x)| \leq O(E'_{n+k+1}),$$

где E'_{n+k+1} — наилучшее приближение функции $f'(y)$ многочленами степени $n+k-1$.

Рассмотрим теперь уравнение

$$\int_{-1}^1 \frac{\chi(x)}{x-y} dx + \pi \lambda \chi(y) + \int_{-1}^1 K(x, y) \chi(x) dx = f(y) \quad (-1 \leq y \leq 1),$$

где $K(x, y)$ удовлетворяет условию Гельдера на квадрате $[-1, 1] \times [-1, 1]$ и аналитически продолжима в область D . Это уравнение также имеет решения индекса $\kappa = -1, 0, 1$, и его решение можно получить из соответствующих уравнению (1) дискретных уравнений, если под знаком суммы добавить слагаемое $a_i K(z_i, \zeta_j) \varphi_i$.

Институт механики НАН Армении

Ա Վ Ս Ա Հ Ա Վ Յ Ա Ն

Կոմպլեքս գործակցով երկրորդ սեռի սինգուլյար ինտեգրալ հավասարման լուծման թվային եղանակ

Ներկա աշխատանքում առաջարկվում է կոմպլեքս գործակցով երկրորդ սեռի սինգուլյար ինտեգրալ հավասարման լուծման թվային եղանակ: Թվային եղանակը հիմնված է ֆունկցիաների մոտարկման քառակուսային բանաձևերի կիրառման և Յակոբիի բազմանդամների համար հայտնի սպեկտրալ առնչության օգտագործման վրա, ինչը թույլ է տալիս սինգուլյար ինտեգրալ հավասարման լուծումը բերել որոշակի կետերում անհայտ ֆունկցիայի արժեքների նկատմամբ հանրահաշվական հավասարումների վերջավոր համակարգի:

ЛИТЕРАТУРА – ՎՐԱՇՆՆԵՐՆԵՐ

- ¹ *Н.И. Мусхелишвили*, Сингулярные интегральные уравнения, М., Наука, 1968.
² *И.К. Лифанов, А.В. Саякян*, ПММ, т. 46, вып. 3 (1982). ³ *Г. Сеге*, Ортогональные многочлены, М., Физматгиз, 1962. ⁴ *Г. Бейтмен., А. Эрдейи*, Высшие трансцендентные функции, СМБ, т. 2, М., Наука, 1966. ⁵ *И.К. Лифанов*, ДАН СССР, т. 255, № 5 (1980).
⁶ *А.А. Корнейчук*, в кн.: Численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений и квадратурные формулы, М., Наука, 1964.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

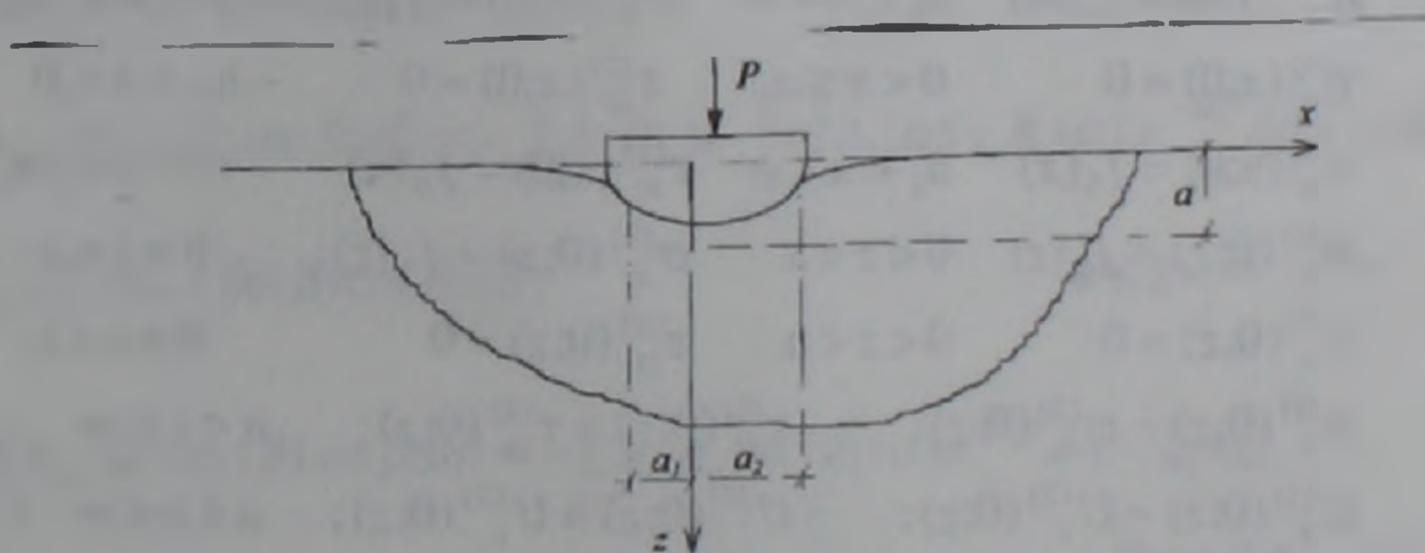
УДК 539.3

С. А. Мелкумян, А. Ж. Григорян

**Несимметричная контактная задача для ортотропной
 полуплоскости с вертикальным конечным разрезом**

(Представлено академиком НАН Армении Б. Л. Абрамяном 23/IX 1997)

Рассматривается плоская несимметричная контактная задача для упругой ортотропной полуплоскости ($z \geq 0$), разрезанной вдоль вертикальной оси ($x=0$), начиная от горизонтальной границы, на конечную длину a . На участке $(-a_2, a_1)$ горизонтальной границы ($z=0$) полуплоскости приложен жесткий штамп с основанием произвольной гладкой формы, расположенный несимметрично относительно оси разреза. Предполагается, что трение между штампом и полуплоскостью отсутствует. На границе полуплоскости вне штампа и на краях разреза действует произвольное нормальное давление. На вертикальной оси вне разреза заданы условия полного контакта (рисунок). Аналогичная задача для упругой изотропной полуплоскости рассмотрена в работе (1).



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

$$U_z^{(n)}(x; z) = \frac{(-1)^{n+1}}{c_{11}} \int_0^{\infty} \alpha \bar{U}^{(n)}(\alpha; z) \cos \alpha x d\alpha + \frac{(-1)^{n+1}}{c_{11}} \int_0^{\infty} \beta \bar{U}^{(n)}(\beta; x) \cos \beta z d\beta; \quad (1)$$

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

где

$$\begin{cases} \bar{U}^{(1)}(\alpha; z) \\ \bar{U}^{(2)}(\alpha; z) \end{cases} = \sum_{j=1}^2 \Delta_1(t_j) \begin{cases} A_j(\alpha) \\ B_j(\alpha) \end{cases} e^{-\alpha z}; \quad \begin{cases} \bar{U}^{(1)}(\beta; x) \\ \bar{U}^{(2)}(\beta; x) \end{cases} = \sum_{k=1}^2 \frac{\Delta_1(t_k)}{t_k^2} \begin{cases} C_k(\beta) \\ D_k(\beta) \end{cases} e^{(-1)^k \frac{\beta}{t_k} x};$$

$$\begin{cases} \bar{W}^{(1)}(\alpha; z) \\ \bar{W}^{(2)}(\alpha; z) \end{cases} = \sum_{j=1}^2 \Delta_2(t_j) \begin{cases} A_j(\alpha) \\ B_j(\alpha) \end{cases} e^{-\alpha z}; \quad \begin{cases} \bar{W}^{(1)}(\beta; x) \\ \bar{W}^{(2)}(\beta; x) \end{cases} = \sum_{k=1}^2 \Delta_2(t_k) \begin{cases} C_k(\beta) \\ D_k(\beta) \end{cases} e^{(-1)^k \frac{\beta}{t_k} x}; \quad (2)$$

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

t_j определяется из следующего биквадратного уравнения:

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

Здесь c_{11}, c_{13}, c_{33} и c_{44} — модули упругости ортотропного материала.

Неизвестные функции интегрирования $A_j(\alpha), B_j(\alpha), C_k(\beta)$ и $D_k(\beta)$ определяются с использованием граничных условий и условий полного контакта квадрантов

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

где $f_1(x)$ и $f_2(x)$ — непрерывные функции, а $f_3(x) - f_6(x)$ и $f_7(x)$ — функции, для которых существует интегральное преобразование Фурье. В условиях (4) величины a_1 и a_2 — неизвестные, они подлежат определению в ходе решения задачи. После решения задачи в полученных соотношениях устраняются особенности напряжений и вводятся уравнения, определяющие глубину разреза и зону контакта.

Пользуясь основными соотношениями теории упругости ⁽²⁾ и из (1.2), можно все компоненты упругого поля выразить через неизвестные функции интегрирования. Удовлетворяя условиям (4), получены следующие интегральные соотношения и системы "парных" интегральных уравнений:

$$A_1(\alpha) = a_1 A_1(\alpha) + d_1 \psi_1(\alpha); \quad B_1(\alpha) = a_1 B_1(\alpha) + d_1 \psi_1(\alpha); \quad (5)$$

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

$$\phi(\beta) = \frac{2}{\pi\beta} \sum_{j=1}^2 a_{1j} a_j \int_0^{\infty} \frac{\alpha^2 |A_1(\alpha) + B_1(\alpha)|}{\alpha^2 l^2 + \beta^2} d\alpha + \psi_1(\beta); \quad (7)$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} \alpha A_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = -\frac{c_{44}}{c_1} f_1(x) - \frac{c_2}{c_1} \psi_1^+(x); & 0 < x \leq a_1 \\ \int_0^{\infty} \alpha^2 A_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = \sum_{k=1}^2 \frac{b_{2k}}{c_3} \int_0^{\infty} \beta^2 C_k(\beta) e^{-\beta x} d\beta - \frac{1}{c_3} [f_2(x) + \psi_2^+(x)] & a_1 < x < \infty \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} \alpha B_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = -\frac{c_{44}}{c_1} f_2(-x) - \frac{c_2}{c_1} \psi_1^-(x); & 0 < x \leq a_2 \\ \int_0^{\infty} \alpha^2 B_1(\alpha) \sin \alpha x d\alpha = \sum_{k=1}^2 \frac{b_{2k}}{c_3} \int_0^{\infty} \beta^2 D_k(\beta) e^{-\beta x} d\beta - \frac{1}{c_3} [f_2(-x) + \psi_2^-(x)] & a_2 < x < \infty \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^2 b_{3k} \int_0^{\infty} \beta^2 C_k(\beta) \cos \beta z d\beta = f_3(z); & 0 < z < a \\ \sum_{k=1}^2 b_{3k} \int_0^{\infty} \beta C_k(\beta) \cos \beta z d\beta = G_1 \sum_{j=1}^2 \Delta_1(r_j) a_j \int_0^{\infty} \alpha [A_1(\alpha) + B_1(\alpha)] e^{-\alpha z} d\alpha + \\ + \xi_1(z) - G_2 \int_0^{\infty} \beta \phi(\beta) \cos \beta z d\beta; & a \leq z < \infty \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^2 b_{4k} \int_0^{\infty} \beta^2 D_k(\beta) \sin \beta z d\beta = -\sum_{j=1}^2 a_{1j} a_j \int_0^{\infty} \alpha^2 B_1(\alpha) e^{-\alpha z} d\alpha - \xi_2(z) & 0 < z < a \\ \sum_{k=1}^2 b_{4k} \int_0^{\infty} \beta D_k(\beta) \sin \beta z d\beta = -\frac{1}{2} \int_0^{\infty} \beta \phi(\beta) \sin \beta z d\beta; & a \leq z < \infty \end{cases} \quad (11)$$

Используя результаты работ ^(3,5), решая "парные" интегральные уравнения (8-11) методом преобразующего оператора ⁽⁶⁾, получены следующие соотношения:

$$\alpha A_1(\alpha) = \frac{2}{\pi} \left\{ \int_0^{a_1} |\varphi_1(t) - \varphi_5^*(t)| J_0(\alpha t) dt - \right. \\ \left. - \int_{a_1}^{\infty} t |\varphi_3(t) + \varphi_5^{**}(t)| J_0(\alpha t) dt + \int_{a_1}^{\infty} F_1(t) J_0(\alpha t) dt \right\}; \quad (12)$$

$$\alpha B_1(\alpha) = \frac{2}{\pi} \left\{ \int_0^{a_2} |\varphi_2(\tau) - \varphi_6^*(\tau)| J_0(\alpha \tau) d\tau - \right. \\ \left. - \int_{a_2}^{\infty} \tau |\varphi_4(\tau) + \varphi_6^{**}(\tau)| J_0(\alpha \tau) d\tau + \int_{a_2}^{\infty} F_2(\tau) J_0(\alpha \tau) d\tau \right\}; \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^2 b_{3k} \beta C_k(\beta) = \frac{2}{\pi} \int_0^a r \varphi_7(r) J_0(\beta r) dr - G_3 \int_a^{\infty} r \varphi_8(r) J_0(\beta r) dr - \\ - \frac{2}{\pi} G_4 \int_a^{\infty} \varphi_8^*(r) J_0(\beta r) dr + \frac{2}{\pi} \int_a^{\infty} F_5(r) J_0(\beta r) dr; \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^2 b_{1k} \beta D_k(\beta) = \int_0^a r \varphi_6(r) J_1(\beta r) dr + \int_a^{\infty} r \varphi_8^{**}(r) J_1(\beta r) dr - \\ - \int_0^a F_3(r) J_1(\beta r) dr - \int_a^{\infty} F_4(r) J_1(\beta r) dr; \quad (15)$$

где $\varphi_i; \varphi_i^*; \varphi_i^{**}; \psi_i; \psi_i^*; \psi_i^{**}; \xi_i$ выражаются через известные функции:

$$F_1(t) = \sum_{k=1}^2 \frac{b_{2k}}{c_3} t \int_0^{\infty} \beta^2 C_k(\beta) K_0\left(\frac{\beta t}{t_k}\right) d\beta; \quad (16)$$

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

$$F_3(r) = \sum_{j=1}^2 a_{1j} a_j r \int_0^{\infty} \alpha^2 \left[L_1(\alpha, r) - I_1(\alpha, r) + \frac{2}{\pi} \right] B_1(\alpha) d\alpha;$$

$$F_4(r) = \sum_{j=1}^2 a_{1j} a_j \frac{r}{2} \int_0^{\infty} \alpha^2 \left[L_1(\alpha, r) - I_1(\alpha, r) + \frac{2}{\pi} \right] \{A_1(\alpha) + B_1(\alpha)\} d\alpha; \quad (17)$$

$$F_5(r) = \sum_{j=1}^2 G^{(j)} r \int_0^{\infty} \alpha^2 K_0(\alpha, r) \{A_1(\alpha) + B_1(\alpha)\} d\alpha$$

Здесь $K_\nu(z)$ – функция Макдональда; $I_\nu(z)$ – функция Бесселя первого рода от мнимого аргумента; $L_\nu(z)$ – функция Струве от мнимого аргумента; $J_\nu(z)$ – функция Бесселя первого рода с действительным аргументом.

Подставляя значения функций $\alpha A_1(\alpha), \alpha B_1(\alpha)$ по формулам (12), (13) в (16), учитывая формулы (6), (14), (15) для определения неизвестных функций $F_1(t)$ и $F_2(\tau)$, получаем систему интегральных уравнений типа Фредгольма второго рода:

$$\begin{aligned}
 F_1(y) &= \Omega_1(y) + \int_{a_1}^{\infty} K_1(y;t)F_1(t)dt + \int_{a_2}^{\infty} K_2(y;\tau)F_2(\tau)d\tau; \\
 F_2(y) &= \Omega_2(y) + \int_{a_1}^{\infty} K_3(y;t)F_1(t)dt + \int_{a_2}^{\infty} K_4(y;\tau)F_2(\tau)d\tau.
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Из-за объемности $\Omega_i(y)$ и $K_i(y;t)$ их выражения в настоящей статье не представляются.

Систему (18) можно решить методом последовательных приближений, при условии, что для ядер системы интегральных уравнений выполняются оценки

$$\int_{a_1}^{\infty} |K_1(y;t)|dt + \int_{a_2}^{\infty} |K_2(y;\tau)|d\tau < 1;$$

$$\int_{a_1}^{\infty} |K_3(y;t)|dt + \int_{a_2}^{\infty} |K_4(y;\tau)|d\tau < 1,$$

а функции $\Omega_i(y)$ ограничены сверху и стремятся к нулю, когда $y \rightarrow \infty$. После этого, решая систему (18), определяются $F_1(y)$ и $F_2(y)$. По формулам (5)-(7), (12)-(15) и (17) последовательно можно определить все искомые функции.

Далее, используя основные соотношения теории упругости ⁽²⁾, можно определить напряжения и перемещения в любой точке полуплоскости.

В частности:

нормальные напряжения под штампом определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 \sigma_z^{(1)}(x;0) &= \frac{2c_3x}{\pi a_1 \sqrt{a_1^2 - x^2}} \{ F_1(a_1) - \varphi_1(a_1) + \varphi_5^{\circ}(a_1) - \\
 &- a_1 | \varphi_3(a_1) + \varphi_5^{\circ\circ}(a_1) | \} + W_1(x), \quad 0 < x < a_1;
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_z^{(2)}(x;0) &= \frac{2c_3x}{\pi a_2 \sqrt{a_2^2 - x^2}} \{ F_2(a_2) - \varphi_2(a_2) + \varphi_6^{\circ}(a_2) - \\
 &- a_2 | \varphi_4(a_2) + \varphi_6^{\circ\circ}(a_2) | \} + W_2(x), \quad 0 < x < a_2;
 \end{aligned}$$

нормальные и касательные напряжения вне разреза определяются по формулам:

$$\sigma_x(0;z) = \frac{2z}{\pi a \sqrt{z^2 - a^2}}.
 \tag{20}$$

$$\left\{ -G_4 \varphi_8^{\circ}(a) + F_5(a) - a \left[\varphi_7(a) + \frac{\pi}{2} G_3 \varphi_8(a) \right] \right\} + W_3(z), \quad a < z < \infty;$$

$$\tau_{xz}(0;z) = \frac{1}{\sqrt{z^2 - a^2}} \left\{ F_3(a) - F_4(a) + a \left[\varphi_8^{\circ\circ}(a) - \varphi_6(a) \right] \right\} + W_4(z), \quad a < z < \infty;
 \tag{21}$$

нормальные перемещения вне штампа определяются по формулам:

$$U_z^{(1)}(x;0) = -\frac{2c_1}{\pi c_{44}} \left\{ \int_0^{a_1} \frac{|\varphi_1(t) - \varphi_5^*(t)|}{\sqrt{x^2 - t^2}} dt - \int_{a_1}^x \frac{t|\varphi_3(t) + \varphi_5^{**}(t)|}{\sqrt{x^2 - t^2}} dt + \right. \\ \left. + \int_{a_1}^x \frac{F_1(t)}{\sqrt{x^2 - t^2}} dt \right\} - \frac{c_2}{c_{44}} \psi_5^*(x), \quad a_1 \leq x < \infty; \quad (22)$$

$$U_z^{(2)}(x;0) = -\frac{2c_1}{\pi c_{44}} \left\{ \int_0^{a_2} \frac{|\varphi_2(\tau) - \varphi_6^*(\tau)|}{\sqrt{x^2 - \tau^2}} d\tau - \int_{a_2}^x \frac{\tau|\varphi_4(\tau) + \varphi_6^{**}(\tau)|}{\sqrt{x^2 - \tau^2}} d\tau + \right. \\ \left. + \int_{a_2}^x \frac{F_2(\tau)}{\sqrt{x^2 - \tau^2}} d\tau \right\} - \frac{c_2}{c_{44}} \psi_6^*(x), \quad a_2 \leq x < \infty;$$

перемещения в разрезе определяются по формулам:

$$U_x^{(1)}(0; z) = -\frac{2}{\pi c_{11}} \sum_{j=1}^2 \Delta_1(t_j) a_j \left\{ \int_0^{a_1} \frac{|\varphi_1(t) - \varphi_5^*(t)|}{\sqrt{z^2 t_j^2 + t^2}} dt - \right. \\ \left. - \int_{a_1}^{\infty} \frac{t|\varphi_3(t) + \varphi_5^{**}(t)|}{\sqrt{z^2 t_j^2 + t^2}} dt + \int_{a_1}^{\infty} \frac{F_1(t)}{\sqrt{z^2 t_j^2 + t^2}} dt \right\} + \mu_1(z), \quad 0 < z \leq a; \quad (23)$$

$$U_x^{(2)}(0; z) = -\frac{2}{\pi c_{11}} \sum_{j=1}^2 \Delta_1(t_j) a_j \left\{ \int_0^{a_2} \frac{|\varphi_2(\tau) - \varphi_6^*(\tau)|}{\sqrt{z^2 t_j^2 + \tau^2}} d\tau - \right. \\ \left. - \int_{a_2}^{\infty} \frac{\tau|\varphi_4(\tau) + \varphi_6^{**}(\tau)|}{\sqrt{z^2 t_j^2 + \tau^2}} d\tau + \int_{a_2}^{\infty} \frac{F_2(\tau)}{\sqrt{z^2 t_j^2 + \tau^2}} d\tau \right\} + \mu_2(z), \quad 0 < z \leq a;$$

Из условия непрерывности нормальных напряжений можно определить размер контакта (\bar{l}):

$$F_1(a_1) - \varphi_1(a_1) + \varphi_5^*(a_1) - a_1[\varphi_3(a_1) + \varphi_5^{**}(a_1)] = 0; \\ F_2(a_2) - \varphi_2(a_2) + \varphi_6^*(a_2) - a_2[\varphi_4(a_2) + \varphi_6^{**}(a_2)] = 0; \quad (24) \\ -G_4 \varphi_8^*(a) + F_5(a) - a[\varphi_7(a) + \frac{\pi}{2} G_3 \varphi_8(a)] = 0.$$

Приравниванием значений коэффициентов интенсивности напряжений (20, 21) к критическим значениям ($K_I = K_c, K_{II} = K_c$) по теории хрупкого разрушения (⁸) получаются выражения, которые определяют распространение трещины:

$$K_I = \frac{2}{\pi} \left\{ -G_4 \varphi_8^*(a) + F_5(a) - a \left[\varphi_7(a) + \frac{\pi}{2} G_3 \varphi_8(a) \right] \right\};$$

$$K_{II} = F_3(a) - F_4(a) + a |\varphi_8^{**}(a) - \varphi_6(a)|.$$

Ереванский архитектурно-строительный институт

Ս. Ա. ՄԵԼԻՔՈՒՄՅԱՆ. Ա. Մ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

Վերջավոր ուղղաձիգ ճեղքով օրթոտրոպ կիսահարթության ոչ համաչափ կոնտակտային խնդիրը

Աշխատանքում դիտարկվում է Հորիզոնական եզր դուրս եկող վերջավոր երկարությամբ ուղղաձիգ ճեղքով առաձգական, օրթոտրոպ կիսահարթության ոչ համաչափ կոնտակտային խնդիրը, երբ Հորիզոնական եզրի վերջավոր հատվածում ճնշում է առանցքի նկատմամբ ոչ համաչափ տեղադրված կամայական ողորկ հիմքով կոշտ դրոշմը: Ենթադրվում է, որ դրոշմի և կիսահարթության միջև շփումը բացակայում է, իսկ Հորիզոնական եզրում դրոշմից դուրս, և ճեղքի եզրերում գործում են կամայական նորմալ լարումներ:

Ինտեգրալ ձևափոխության մեթոդի կիրառությամբ ցույց է տրված նշված խնդրի Հնարավոր լուծման բերումը Ֆրեդհոլմի տիպի երկրորդ սեռի ինտեգրալ Հավասարումների համակարգի դիտարկմանը:

Ստացված են դրոշմի տակ և ճեղքից դուրս լարումների, ինչպես նաև դրոշմից դուրս և ճեղքում տեղափոխությունների որոշման բանաձևերը: Տրված են կոնտակտի չափի որոշման համար և ճեղքի տարածումը բնորոշող անհրաժեշտ Հավասարումները:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ В.С.Тоноян, А.Ф.Минасян, ДАН Арм.ССР, т.61, №5, с.289-297 (1975).
- ² Р.Крестенсен, Введение в механику композитов, М., Мир, 1982. ³ В.С.Тоноян, Изв. АН Арм.ССР. Механика, т.21, №3, с.3-18 (1968). ⁴ В.С.Тоноян, С.А.Мелкумян, Изв. АН Арм.ССР, Механика, т.24, №4, с.3-17 (1971). ⁵ С.А.Мелкумян, ДАН Арм.ССР, т.55, №2, с.87-93 (1972). ⁶ И.С.Градштейн, И.М.Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, М., Физматгиз, 1962. ⁷ А.А.Баблоян, М.Г.Мелконян, Изв. АН Арм.ССР, Механика, т.27, №5, с.3-17 (1974). ⁸ Г.П.Черепанов, Механика хрупкого разрушения, М., Наука, 1974.

УДК 621.382.001.2/3

В. В. Буниатян

Влияние диффузии подвижных носителей тока на ВЧ характеристики ИПД

(Представлено академиком НАН Армении В.М Арутюняном 15/VIII 1997)

Как известно (^{1,5}), в основных p^+n-p^+ (n^+p-n^+ , М-п-М) инжекционно-пролетных структурах малосигнальный анализ характеристик обычно проводится в одномерном приближении при следующих допущениях:

- 1) слой объемного заряда существенно не проникает в сильнолегированные области;
- 2) диффузионной составляющей тока в пролетном пространстве можно пренебречь;
- 3) дрейфовая скорость носителей тока имеет значение, соответствующее ее насыщению;
- 4) генерационно-рекомбинационными процессами в пролетном пространстве пренебрегается.

Однако, как показано в (⁶), если в области инжектирующего контакта и в пролетном участке имеется градиент концентрации легирующих примесей, то увеличивается роль диффузии носителей тока после их инжекции. В этих ситуациях, несомненно, необходимо учесть диффузионные составляющие тока. В настоящей работе теоретически проанализированно влияние диффузии носителей тока на высокочастотные (ВЧ) характеристики инжекционно-пролетных диодов (ИПД).

Рассмотрим p^+n-p^+ структуру, в пролетной области которой имеется градиент легирующей примеси. Как показано в (⁴), внутреннее встроенное электрическое поле замедляет движение дырок в окрестности потенциального барьера p^+n перехода, где внешнее поле имеет низкое (близкое к нулевому) значение. В результате этого движение инжектированных дырок вначале будет иметь диффузионный характер.

В окрестности плоскости инжекции концентрация носителей тока возрастает от нуля до максимальной величины. Диффузия вызывает расплывание дырочных сгустков, движущихся в начальном участке пролетного пространства.

Как известно, в пролетном участке изменение концентрации носителей заряда вызвано высокочастотной модуляцией тока, выходящего из плоскости инжекции. Следовательно, диффузия носителей тока на начальном участке, где электрическое поле имеет низкие значения, может оказать заметное влияние на их ВЧ характеристики, если диффузионное расплывание дырочных сгустков за время τ_g , определяемое диффузионной длиной $L_g = (D_p \tau_g)^{1/2}$, станет сравнимым с расстоянием между сгустками $\frac{2\pi V_{0s}}{\omega}$, т.е. когда

$$\frac{\omega}{V_{0s}} \cdot \frac{(D_p \tau_g)^{1/2}}{2\pi} \cong 1,$$

где V_{0s} — скорость носителей тока на инжектирующей плоскости, ω — угловая частота сигнала, D_p — коэффициент диффузии дырок.

Если $L_g \cong 1$ мкм, $V_{0s} \cong 10^6$ см/с, $D_p \cong 10$ см²/с, условие (1) выполняется при $\omega \cong 6,28 \cdot 10^{10}$ с⁻¹. Это означает, что в широких р-п переходах (что имеет место при неравномерном легировании примесей в пролетном промежутке (6)) диффузия может играть немалую роль и ее следует учитывать при расчете полного сопротивления ИПД.

Приближенно учет диффузии в расчетах ВЧ характеристик можем осуществить следующим образом.

При наличии на диоде постоянного напряжения с наложенным на него малым переменным сигналом для переменных составляющих тока проводимости I_{1p} и поля E_1 , как известно (1,4), имеем

$$I_{1p} = q p_1 V_0 + q V_1 p_0 - q D_p \frac{dp_1}{dx}, \quad \varepsilon \frac{\partial E_1}{\partial x} = q p_1, \quad (1)$$

где $p_1, p_0, V_1 = \mu_p E_1$, V_0 — переменные и постоянные составляющие инжектированных дырок и их скорости, соответственно, μ_p — подвижность дырок при слабых полях, E_1 — переменная составляющая напряженности поля.

Первая компонента первого уравнения (1) вызвана модуляцией плотности дырок вследствие дрейфа, вторая компонента тока есть следствие модуляции скорости носителей тока. Последняя компонента обусловлена их диффузией.

Уравнение непрерывности для пролетного участка будет иметь вид (при соблюдении п.3,4)

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} + V_0 \frac{\partial p_1}{\partial x} + \frac{q \mu_p p_0}{\varepsilon} p_1 + \frac{\partial (D_p (\partial p_1 / \partial x))}{\partial x} = 0. \quad (2)$$

Для упрощения расчетов заменим $D_p(x)$ средним значением

$$\bar{D} = \frac{1}{L_0} \int_0^{L_0} D_p(x) dx, \quad (3)$$

где L – длина пролетного участка.

Тогда уравнение (2) будет иметь частное решение

$$p_1(x, t) = p_{1s} \exp[j(\omega t - hx)], \quad (4)$$

где p_{1s} – переменная составляющая концентрации дырок в плоскости инжекции, t – время. Постоянную h определим из характеристического уравнения

$$\bar{D}h^2 - jV_0h + j\omega + \omega_2 = 0, \quad (5)$$

где $\omega_2 = \frac{q\mu_p P_0}{\epsilon} = f(I_0)$ является функцией уровня инжекции (т.е. постоянного тока смещения I_0).

$$\text{При } \bar{D} = 0 \quad h = \frac{\omega}{V_0} - j\frac{\omega_2}{V_0}$$

Если влияние диффузии невелико, то при $\bar{D} \neq 0$

$$h = \frac{\omega}{V_0} - j\left(\frac{\omega_2}{V_0} + \xi\right), \quad \xi \ll 1, \quad (6)$$

где ξ – параметр, характеризующий влияние диффузии.

Подставляя (6) и (5) и пренебрегая высшими степенями по ξ , находим выражение для ξ в виде

$$\xi = \frac{-\frac{\bar{D}}{V_0^3}(j\omega + \omega_2)^2}{\left[1 + \frac{2\bar{D}}{V_0^2}(j\omega + \omega_2)\right]}$$

Требование $\xi \ll 1$ эквивалентно условию

$$\frac{\bar{D}}{V_0^3}(j\omega + \omega_2)^2 \ll 1,$$

которое выполняется при ω и $\omega_2 \ll 10^{10} \text{ с}^{-1}$, если $\bar{D} \cong 10 \text{ см}^2/\text{с}$, $V_0 \cong 10^7 \text{ см}/\text{с}$.

Следовательно, с достаточной точностью можем записать

$$h \cong \frac{\omega}{V_0} - j\left[\frac{\omega_2}{V_0} + \frac{\bar{D}}{V_0^3}(j\omega + \omega_2)^2\right].$$

Для тока проводимости теперь вместо (1) будем иметь выражение:

$$I_{1p}(x, t) \cong qV_0 p_1(x, t)S \cong I_{1p}(0) \exp\left[j\omega\left(t - \frac{x}{V_0}\right)\right] \left\{1 - x\left[\frac{\omega_2}{V_0} + \frac{\bar{D}}{V_0^3}(j\omega + \omega_2)^2\right]\right\}, \quad (7)$$

где $I_{1p}(0)$ – амплитуда тока проводимости в плоскости инжекции, S – сечение прибора.

Используя условие постоянства полного тока $I_1(t)$

$$I_{1p}(x,t) + I_{cm}(x,t) = I_1(t) \quad (8)$$

для изменения тока смещения ΔI_{cm} в пролетном пространстве, вызванном диффузией, будем иметь

$$\Delta I_{cm}(x,t) = -\Delta I_{1p}(x,t) = I_{1p}(0) \exp \left[j\omega \left(t - \frac{x}{V_0} \right) \right] \cdot x \left[\frac{\bar{D}}{V_0^3} (j\omega + \omega_2)^2 \right],$$

а для изменения переменного напряжения на пролетном участке, вызванном диффузией,

$$\Delta U_D(t) = \frac{1}{j\omega \epsilon S_0} \int_0^L \Delta I_{cm}(x,t) dx = \frac{I_{1p}(0) \bar{D} (j\omega + \omega_2)^2}{j\omega^3 \epsilon S V_0} [(1 + j\theta) \exp(-j\theta) - 1], \quad (9)$$

где θ — угол пролета, равный $\theta = \omega \frac{L}{V_0} \equiv \omega T$, T — время пролета.

Окончательно для $\Delta U_D(t)$ получим

$$\Delta U_D(t) \equiv \frac{I_{1p}(0) \bar{D}}{j\theta^3 \epsilon S V_0^2} (j\theta + \theta_2)^2 [(1 + j\theta) \exp(-j\theta) - 1], \quad (10)$$

где $\theta_2 = \omega_2 T$.

Ток проводимости I_{1p} выражается через полный ток I_1 в плоскости инжекции приблизительно как (4)

$$I_{1p}(t) \equiv I_{1p}(0) (1 + j\theta_s), \quad (11)$$

где $\theta_s \equiv \frac{\omega \epsilon}{\sigma}$, $\sigma \equiv \frac{\mu_p I_{0s}}{V_{0s}}$ — малосигнальная проводимость инжектирующего

контакта, I_{0s} , V_{0s} — средняя плотность тока и скорость носителей в плоскости инжекции, соответственно.

Поэтому из (10) следует, что в линейном приближении учет диффузии в пролетном пространстве эквивалентен добавлению в эквивалентную схему ИПД дополнительного активного сопротивления, выражение для которого запишется в виде

$$R_D = \operatorname{Re} \frac{\Delta U_D(t)}{I_1(t)} \approx \frac{L \bar{D}}{\epsilon S \theta V_0^2 \theta_s^2} \{ \theta_s + (\theta \theta_s - 1) \sin \theta + (\theta + \theta_s) \cos \theta \}, \quad (12)$$

и реактивного сопротивления

$$X_D = \operatorname{Im} \frac{\Delta U_D(t)}{I_1(t)}.$$

Заметим, что R_D принимает отрицательные значения при углах пролета

$$0.5\pi < \theta < 1.75\pi.$$

В основном режиме работы ИПД, как показано в работах (1,4), при малых токах в отсутствие диффузии (и при равномерном легировании примесей в пролетном участке)

$$R_B \equiv \frac{V_0 T^2 (1 + \theta_s^2)^{-1}}{\epsilon S (\theta^2 + \theta_1^2)} \left\{ 1 - \frac{\theta_1 \theta_s}{\theta} + \frac{\exp \theta_1}{\theta} [(\theta_1 + \theta \theta_s) \sin \theta + (\theta_1 \theta_s - \theta) \cos \theta] \right\},$$

где $\theta_1 = \frac{q \mu_p N_s T}{\epsilon}$, N_s — концентрация легирующей примеси в пролетном участке.

Отношение R_D к активному сопротивлению пролетного участка в отсутствие учета диффузии R_B равно

$$\frac{R_D}{R_B} \equiv \frac{\bar{D} (1 + \theta_s^2) (\theta^2 + \theta_1^2)}{V_0^2 \theta_s^2 T} \varphi(\theta, \theta_s, \theta_1), \quad (13)$$

где

$$\varphi(\theta, \theta_s, \theta_1) = \frac{|\theta_s + (\theta \theta_s - 1) \sin \theta + (\theta + \theta_s) \cos \theta|}{|\theta - \theta_1 \theta_s + \exp \theta_1 [(\theta_1 + \theta \theta_s) \sin \theta + (\theta_1 \theta_s - \theta) \cos \theta]|}$$

является функцией угла пролета θ и проходит через максимум при $\theta \equiv 1.5\pi$ и изменяет знак при $\theta \equiv 1.75\pi$ и $\theta \equiv 1.35\pi$.

Анализ выражения (13) показывает, что влиянием диффузии можно пренебречь, если

$$\frac{\bar{D} \omega^2 T}{V_0^2} \ll 1.$$

Полагая $\bar{D} \equiv 10$ см²/с, $V_0 \equiv 10^7$ см/с, найдем верхнюю границу частотного интервала, в котором диффузия несущественна:

$$\frac{\omega}{2\pi} \equiv \frac{15 \cdot 10^{12}}{\theta} \text{ (Гц)};$$

она лежит в конце миллиметрового — начале субмиллиметрового диапазонов длин волн при $\theta \leq \pi$. Граница сдвигается в область более длинных волн с увеличением угла пролета θ . Численные расчеты по вышеприведенным формулам для р⁺-п-р⁺ кремниевых структур при значениях параметров: $\mu_p \equiv 450$ см²/В·с, $I_0 \equiv 50$ А/см², $L \equiv 5 \cdot 10^{-4}$ см, $\bar{D} \equiv 10$ см²/с, $T \equiv 10^{-10}$ с, $\theta_1 \equiv 2$,

$V_{0s} \cong 10^6$ см/с, $V_o \cong 10^7$ см/с, $N_p \cong 1,25 \cdot 10^{15}$ см³, $S \cong 1,25 \cdot 10^{-4}$ см², показаны на рис.1 и 2.

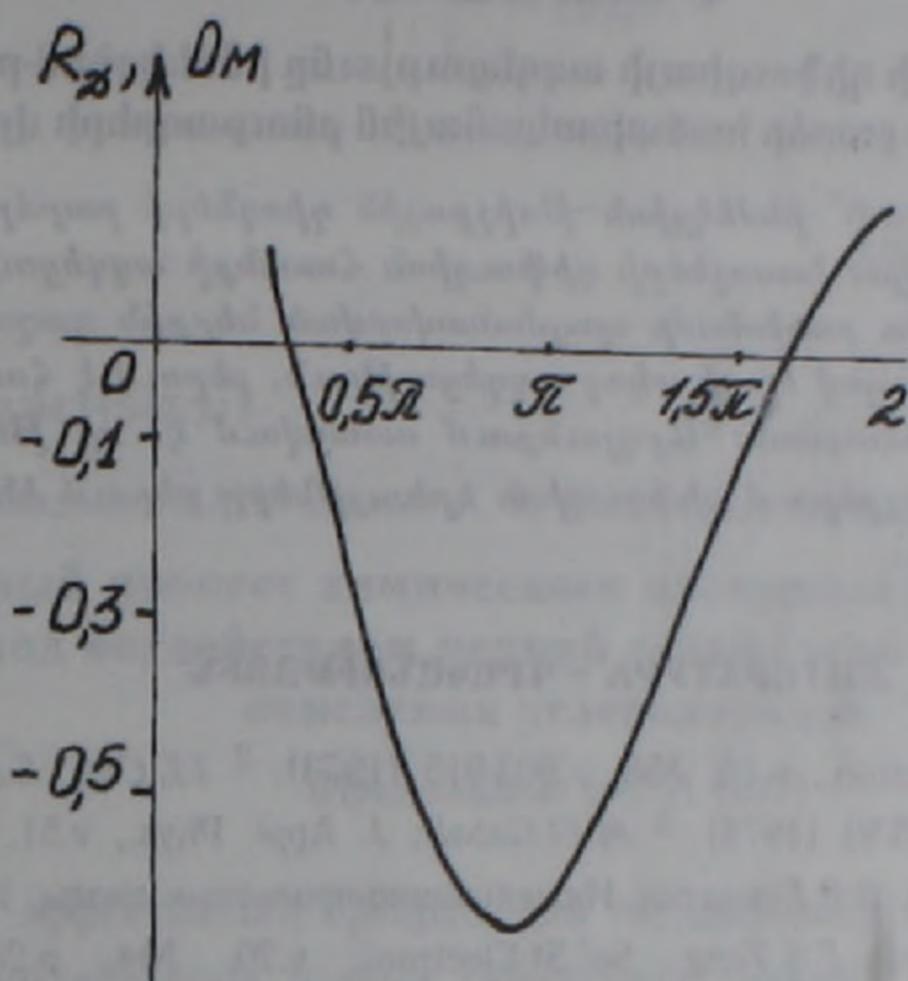


Рис.1. Зависимость R_D от угла пролета θ .

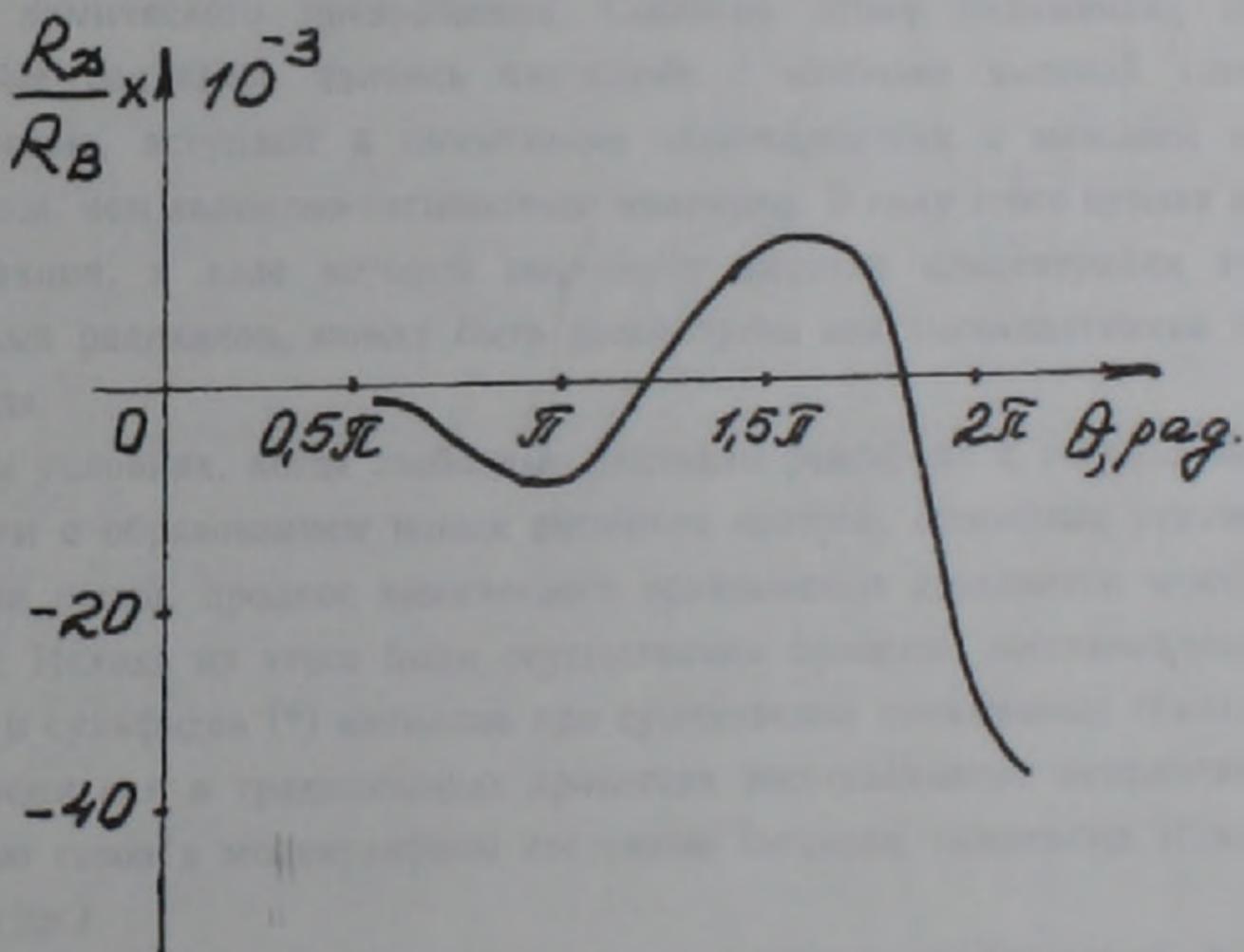


Рис.2. Зависимость R_D / R_B от угла пролета θ

Как следует из рисунков, диффузия в пролетном участке при углах пролета $1,35\pi < \theta < 1,75\pi$ улучшает свойства ИПД как активного элемента.

Վ. Վ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ

Հոսանքակիրների դիֆուզիայի ազդեցությունը ինժեկցիոն-թուիչքային դիոդների բարձր հաճախականային բնութագրերի վրա

Հետազոտվել է p^+-n-p^+ ինժեկցիոն-թուիչքային դիոդների բարձր հաճախականային բնութագրերի վրա խոռոչների դիֆուզիոն հոսանքի ազդեցությունը: Խոռոչների անհամասեռ բաշխմամբ պայմանավորված ներքին դաշտը ինժեկցված խոռոչների վրա ունենալով արգելակող ազդեցություն, բերում է հոսանքի դիֆուզիոն բաղադրիչի մեծացման: Արդյունքում ստացվում է, որ թուիչքի անկյան $1,35\pi < \theta < 1,75\pi$ միջակայքերում դիֆուզիոն երևույթները բերում են սարքի բնութագրերի բարելավման:

ЛИТЕРАТУРА – ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Wright, Sol.St.Electron., v.16, №8, p.903-915 (1973).
- ² I.L.Chu, S.M.Sze, Sol. St. Electron., v.16, №1, p.85-91 (1973).
- ³ M.El.Gabaly, J. Appl. Phys., v.51, №1, p.503-508 (1980).
- ⁴ В.М.Арутюнян, В.В.Буннятян, Инжекционно-пролетные диоды, Изд. ЕГУ, 1986.
- ⁵ О Екпоуап, S.M.Sze, E.S.Yang, Sol St.Electron., v.20, №4, p.285-291 (1977).
- ⁶ В.М.Арутюнян, В.В.Буннятян, Полупроводниковая микроэлектроника. Матер. I нац. конф., Дилижан, с.95-99, 1987.

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 541.1+542.943+547.211

Академик НАН Армении А. А. Манташян, К. А. Манташян

**Гетерофазный процесс химического превращения оксидов свинца
под воздействием цепной газофазной реакции
окисления углеводородов**

(Представлено 19/VI 1997)

Явление эффективного превращения твердофазных неорганических соединений под воздействием цепных газофазных реакций (^{1,2}) открывает новые возможности для направленного осуществления гетерофазных химических превращений. Этот новый подход базируется на фундаментальном положении теории химического превращения. Согласно этому положению, атомы и свободные радикалы, являясь частицами с наиболее высокой химической активностью, вступают в химические взаимодействия с меньшей энергией активации, чем валентно-насыщенные молекулы. В силу этого цепная химическая реакция, в ходе которой возникают высокие концентрации атомов и свободных радикалов, может быть рассмотрена как высокоактивная химическая среда.

При условиях, когда свободные радикалы реагируют с твердофазным соединением с образованием новых активных центров, способных участвовать в развитии цепей, процесс химического превращения становится особо эффективным. Исходя из этого были осуществлены процессы восстановления оксидов (³) и сульфидов (⁴) металлов при существенно пониженных температурах, в то время как в традиционных процессах восстановление осуществляется с помощью газов в молекулярном состоянии (водород, монооксид углерода, их смесь и др.).

В настоящем сообщении приводятся результаты исследований, в которых осуществлено превращение диоксида свинца PbO_2 под воздействием цепной реакции окисления углеводородов (RH), в частности пропан-бутановых углеводородных газов. Эксперименты показывают, что уже при 270°C наблюдается превращение с образованием гаммы продуктов.

Цепная реакция осуществлялась в кварцевом цилиндрическом реакторе ($d=4,2$ см, $l=30$ см), обогреваемом электропечью. Внутри реактора помещалась кварцевая лодочка с образцом диоксида свинца определенной навески ($5 \div 10$ г). Смесь углеводородных газов (RH) с кислородом (O_2), реагирующая по цепному механизму, поступала в реактор непрерывно, т.е. цепная газофазная реакция осуществлялась в струевых условиях. Регулированием скорости газового потока (времени контакта τ) и соотношения углеводород-кислород в реагирующей смеси (RH : O_2) подбирались условия, при которых цепная газофазная реакция оказывала наиболее интенсивное воздействие.

Анализ продуктов превращения твердой фазы проводился по окончании опытов. Они подвергались рентгенофазовому анализу на рентгеновских дифрактометрах марки "ДРОН" с излучением CuK_{α} . Реагирующие газы по ходу процесса анализировались на содержание монооксида углерода CO с помощью непрерывно действующего инфракрасного газоанализатора "ИНФРАЛИТ" - 1100.

В качестве исходного диоксида свинца использовался порошкообразный PbO_2 ("х.ч."). Процесс изучался в широком диапазоне изменения параметров: температуры ($T=270 + 470^\circ C$), соотношения RH : O_2 (от 1 : 1 до 14 : 1), времени контакта ($\tau = 30 \div 160$ с), времени экспозиции ($t=8 \div 110$ мин).

Экспериментальные данные, полученные при различных условиях, приводятся в таблице.

Характерным для процесса является многообразие продуктов превращения. Это продукты частичного или полного восстановления: Pb_2O_3 , Pb_3O_4 , PbO , Pb , а также церуссит - $PbCO_3$ и гидроцеруссит - $2 PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$. В изученном диапазоне параметров все продукты превращения находились в порошкообразном состоянии.

Как показывают экспериментальные данные, чем ниже температура и короче время экспозиции t , тем больше содержание гидроцеруссита и церуссита в продуктах превращения. Так например, при $T=273^\circ C$ и времени экспозиции $t=78$ мин (опыт №1) церусситы в сумме составляют 80%. При $T=313^\circ C$ и времени экспозиции $t=40$ мин (опыт №3) гидроцеруссит составляет ~95%, т.е. исходный PbO_2 практически полностью превращается в этот продукт. Следует отметить, что эти два опыта (№1 и №3) отличаются не только по температуре и времени экспозиции t , но и по времени контакта τ . Во втором случае реагирующая газовая смесь проходила через реактор в 3 раза медленнее ($\tau_1=40$ с, а $\tau_3=130$ с).

Опыт	Масса исходного образца <i>m</i> , г	<i>T</i> , °C	RH : O ₂	Время контакта <i>τ</i> , с	Время экспозиции <i>t</i> , мин	Непрореа- гировавший PbO ₂
1	4,73	273	5 : 1	40,34	78	—
2	6,25	297	6 : 1	39,18	75,5	—
3	5	313	5,3 : 1	130,9	40	—
4	10	317	5 : 1	106,52	41,5	—
5	5,09	317	8 : 1	68,5	40	—
6	6,25	321	2,8 : 1	32,73	35,5	—
7	5,3	324	5,3 : 1	128,16	51	—
8	5,024	332	4 : 1	62,3	10	—
9	5,19	333	5 : 1	103,8	30,25	—
10	4,96	342	2,7 : 1	54,8	8,5	—
11	12,5	339	14 : 1	34,08	115,5	следы
12	5,2	319	1 : 1	61,3	30	—
13	5,3	328	1 : 1	100,4	45,75	—
14	5,13	355	5 : 1	96,4	31,25	следы
15	5,3	359	7 : 1	62,9	60	—
16	—	365	4,3 : 1	56,32	71	—
17	—	381	2,8 : 1	29,72	108	—
18	—	464	2,8 : 1	26,38	107	—

Содержание продуктов превращения, весовые %

Pb	2PbCO ₃ · Pb(OH) ₂		PbCO ₃	Pb ₂ O ₃	Pb ₃ O ₄	PbO	
						кубической сингонии	тетрагональной сингонии
5	40	40	5	—	—	10	
—	60	—	15	—	5	20	
следы	95	—	—	—	—	2.5	
17	—	8	—	5	—	70	
5	60	—	10	—	—	25	
—	35	—	—	—	50	15	
10	50	—	—	5	10	35	
—	50	—	8	—	—	40	
15	35	—	—	—	—	50	
10	20	—	10	10	—	50	
50 — 60	—	—	—	—	—	30 — 40	
45	следы	—	5	10	—	40	
15	25	—	25	—	—	35	
30	—	—	—	—	—	70	
40	следы	—	—	5	—	55	
70	—	—	—	—	—	30	
90	—	—	—	—	—	10	
65	—	—	—	—	—	35	

Очевидно, с увеличением времени контакта и температуры цепная реакция переходит в более развитую стадию, с более высокой концентрацией свободных радикалов. Иначе говоря, активность газовой фазы возросла не только в результате повышения температуры, но и времени контакта. В результате при $T=313^{\circ}\text{C}$ активность процесса превращения существенно повысилась и, как следствие, при практически вдвое меньшем времени экспозиции было достигнуто более глубокое превращение PbO_2 в гидроцеруссит (-95%).

С дальнейшим повышением температуры и длительности экспозиции содержание церусситов уменьшалось, и при больших временах экспозиции они не обнаруживались вовсе или обнаруживались лишь в следах. В этих условиях увеличивалось содержание частично восстановленных оксидов и, в частности, монооксида свинца PbO , а также полностью восстановленного свинца Pb .

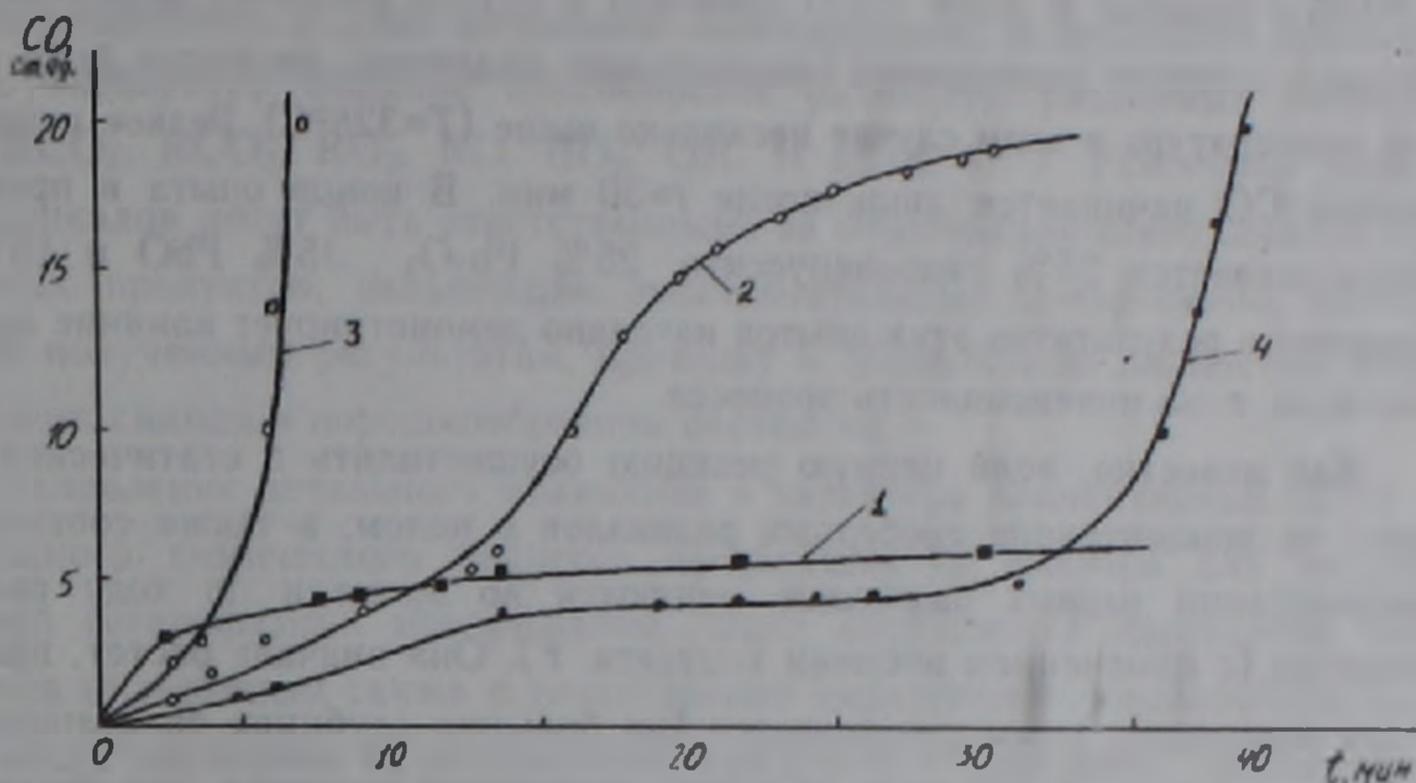
На основании этих данных можно сделать вывод о том, что вначале диоксид свинца PbO_2 превращается в церусситы, а образование других соединений происходит из церусситов. Не исключено, конечно, также их образование непосредственно из PbO_2 . Во всех случаях образованию полностью восстановленного свинца предшествует накопление в наибольших количествах монооксида свинца PbO . Это наглядно видно при сравнении данных опытов №4,5,9,14,15,16,17 (см. таблицу).

На интенсивность и направление процесса влияют также соотношение $\text{RH} : \text{O}_2$ и время контакта τ . Это более наглядно видно из данных опытов №3-5, полученных при практически одинаковых температурах ($T=313+317^{\circ}\text{C}$) и одинаковых временах экспозиции ($t=40+41$ мин). При соотношении $\text{RH} : \text{O}_2 = 5 : 1$ и $\tau=106$ с (опыт №4) в продуктах реакции в наибольших количествах обнаруживаются монооксид свинца PbO (70%) и восстановленный свинец Pb (17%). Увеличение времени контакта до $\tau=130$ с (опыт №3) приводит к образованию гидроцеруссита в качестве основного продукта превращения (95%). В то же время при $\text{RH} : \text{O}_2 = 8 : 1$, но при меньшем времени контакта $\tau=68$ с (опыт №5) гидроцеруссита обнаруживается меньше (60%). В этих условиях обнаруживаются оксиды свинца — Pb_2O_3 (10%), PbO (25%) и полностью восстановленный свинец Pb (5%).

Как известно, интенсивность цепной реакции окисления углеводородов, а также соотношение концентраций свободных радикалов различного строения и различной реакционной способности зависят от соотношения $\text{RH} : \text{O}_2$ и времени контакта τ (57). Очевидно, изменение этих параметров и приводит к изменению направления и интенсивности превращения твердой фазы.

Таким образом, исследуемый процесс представляет из себя сложное химическое превращение с участием свободных радикалов различного строения и различной реакционной способности. Соотношения концентраций этих химически активных частиц меняются в зависимости от состава исходных реаген-

тов газофазной реакции ($RH : O_2$), времени контакта τ и температуры T . Этими параметрами определяется динамика развития цепной газофазной реакции. Наряду с этим с повышением температуры увеличивается скорость взаимодействия радикалов с твердофазными соединениями. При этом возникающие в результате такого взаимодействия новые активные центры и частицы в свою очередь воздействуют на развитие газофазного процесса.



Изменение концентрации CO (в относительных единицах) в процессе превращения PbO_2 при различных T , $RH : O_2$ и τ . 1 — — $T=314^\circ C$, $RH : O_2 = 8 : 1$, $\tau = 68$ с;
 2 — о — $T=355^\circ C$, $RH : O_2 = 5 : 1$, $\tau = 96$ с; 3 — — $T=319^\circ C$,
 $RH : O_2 = 1 : 1$, $\tau = 61$ с; 4 — • — $T=328^\circ C$, $RH : O_2 = 1 : 1$, $\tau = 100$ с.

Взаимосвязь процессов, происходящих в газовой и твердой фазах, видна и из данных по изменению выхода CO в газовой фазе. Экспериментальные данные, полученные при разных условиях, показаны на рисунке. В отсутствие твердофазного образца, когда газофазная цепная реакция не контактирует с твердой фазой, в реакторе сначала же устанавливается стационарный режим. Выход CO в сравнительно короткий период достигает предельного значения и далее остается практически постоянным (кривая 1). Однако при наличии твердой фазы картина меняется. На протяжении длительного времени наблюдается увеличение выхода CO, причем с ускорением (кривая 2). Далее выделение CO замедляется и наблюдается постепенное стремление к пределу. Как показывают данные рентгенофазового анализа, к этому времени происходят глубокие превращения в твердой фазе (опыт №14). В продуктах превращения обнаруживаются в основном монооксид свинца PbO (70%) и восстановленный свинец Pb (30%). Других продуктов превращения нет.

О сложном характере процесса свидетельствует также сравнение данных, полученных при разных временах контакта в случае смеси газов одного и того же состава $RH : O_2 = 1 : 1$. Так, при $\tau = 61$ с и $T = 319^\circ C$ (кривая 3) наблюдает-

ся резкое возрастание выхода СО с самого начала процесса (опыт №12). При этом после $t=30$ мин в продуктах превращения твердой фазы в основном обнаруживаются монооксид свинца PbO (40%) и восстановленный свинец Pb (45%). В то же время воздействие газофазной реакции с тем же составом исходной смеси $RH : O_2 = 1 : 1$, но при более больших временах контакта $\tau=100$ с (кривая 4, опыт №13) приводит к другой динамике выделения СО. Процесс вначале развивается сравнительно медленно, несмотря даже на то, что температура в этом случае несколько выше ($T=328^\circ\text{C}$). Резкое изменение выхода СО начинается лишь после $t=30$ мин. В конце опыта в продуктах обнаруживается 25% гидроцеруссита, 25% Pb_2O_3 , 35% PbO и 15% Pb. Сравнение результатов этих опытов наглядно демонстрирует влияние времени контакта τ на интенсивность процесса.

Как известно, если цепную реакцию осуществлять в статических условиях, то концентрация свободных радикалов в целом, а также соотношения концентраций разных радикалов меняются во времени по ходу развития процесса (с изменением времени контакта τ). Она вначале растет, проходит через максимум, затем уменьшается (на больших глубинах превращения), и процесс затухает. В струевых условиях проведения процесса, при постоянном времени контакта τ (постоянной скорости газового потока) концентрации свободных радикалов и их соотношения остаются постоянными. При малых τ (начальные стадии процесса) концентрация радикалов низкая. С увеличением τ концентрация радикалов достигает максимума (наиболее развитая стадия, максимальная скорость реакции). При более высоких значениях τ концентрация радикалов, а следовательно, и скорость цепной реакции вновь уменьшаются из-за израсходования реагентов (компонентов газофазной реакции). Вероятно, при $\tau=100$ с (опыт №13) концентрация радикалов была более низкой, чем при $\tau=61$ с (опыт №12). Соответственно, в результате наблюдается разная интенсивность протекания гетерофазного процесса.

Вместе с тем, как мы видим, в присутствии твердой фазы, в условиях ее превращений нарушается стационарный режим протекания цепной реакции, характерный для струевых условий. Сказывается обратное влияние химических процессов, происходящих в твердой фазе, на интенсивность и характер протекания газофазной цепной реакции. Нарушается стационарный режим ее протекания при постоянном времени контакта τ , характерный для цепной реакции в струевых условиях в отсутствие твердой фазы.

Таким образом, данные, приведенные на рисунке, наглядно демонстрируют динамику сложного гетерофазного процесса – превращения твердофазного неорганического соединения под воздействием цепной газофазной реакции окисления углеводородов.

При определенных параметрах процесс может протекать до полного восстановления свинца, т.е. до полного удаления кислорода из оксидов свинца. Интересно, что этот процесс осуществляется в присутствии кислорода. Реакции последнего с углеводородом (по цепному механизму) приводят к образованию радикалов с более высокой активностью и способностью осуществлять восстановительный процесс, чем углеводород или водород в молекулярном состоянии. Как известно, в ходе окисления углеводородов, в частности пропана и бутана, образуется большое многообразие радикалов различных типов: R, RCO, RCO₂, RCO₃, RO₂, RO, HO₂, OH, H и т.д. (6.7). Различные реакции этих радикалов могут быть ответственными за образование всего спектра обнаруженных продуктов, дальнейшие последовательные превращения которых, судя по полученным результатам, приводят к образованию полностью восстановленного свинца в порошкообразном состоянии.

Установление детального механизма и характера элементарных актов этого сложного химического процесса представляется важным для теории и практики гетерофазных превращений. Факт образования церусситов может оказаться интересным также с точки зрения механизма минералообразования, в том числе механизма их образования в результате природных процессов.

Результаты данной работы могут стать основой для разработки практически выгодных процессов получения свинца из оксидов свинца, а также различных продуктов превращения диоксида свинца: церусситов и гидроцерусситов.

Авторы выражают благодарность С.С.Петросян (ИХФ НАН РА), Р.Б.Товмасян (ИОНХ НАН РА), Э.Р.Аракеловой (ГИУА) и А.Р.Апресян (НПФ "Камень и силикаты") за содействие в проведении рентгенофазового анализа.

Государственный инженерный университет Армении
Институт химической физики НАН Армении

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Ա. Հ. ՄԱՆԹԱՆՅԱՆ, Կ. Ա. ՄԱՆԹԱՆՅԱՆ

Կապարի երկօքսիդի քիմիական փոխարկման հետերաֆազ պրոցես ածխաջրածինների օքսիդացման շղթայական ռեակցիայի ազդեցությամբ

Իրականացվել և ուսումնասիրվել է կապարի երկօքսիդի (PbO₂) հետերաֆազ քիմիական փոխարկման պրոցեսը ածխաջրածնային գազերի (պրոպան-բութան) օքսիդացման շղթայական ռեակցիայի ազդեցությամբ պայմաններում:

Ստացված են անմիջական տվյալներ կարծրաֆազ արգասիքների վերաբերյալ պրոցեսի տարրեր փուլերում և նրա իրականացման տարրեր պայմաններում: Պրոցեսը ուսումնասիրվել է 270-470°C ջերմաստիճանային տիրույթում, ածխաջրածին-թթվածին իսոռուրդի տարրեր բաղադրությամբ, կոնտակտի տարրեր տեղորոշյալ (τ) և փորձի տարրեր ժամանակամիջոցներում: Կարծրաֆազ արգասիքների անալիզն իրականացվել է ռենտգենաֆազ եղանակով: Ցույց է տրված, որ պրոցեսի սկզբնական փուլերում առավել քանակներով առաջանում են ցերուսիտներ (PbCO₃) և հիդրոցերուսիտներ (2PbCO₃·Pb(OH)₂): Հայտնաբերվել են կապարի տարրեր օքսիդներ՝ Pb₂O₃, Pb₃O₄ և PbO: Պրոցեսի վերջին փուլերում առավել մեծ քանակներ

րով կուտակվում են կապարի մոնոօքսիդը և յրիվ վերականգնված կապարը: Ստացված տվյալների վերլուծումը ցույց է տալիս, որ կապարը (Pb) առաջանում է կապարի մոնոօքսիդի (PbO) վերականգնումից: Հետերոֆազ պրոցեսին զուգընթաց, գազային ֆազում աճում է CO գազի կոնցենտրացիան, հասնելով պրոցեսի հետագա ընթացքում որոշակի հաստատուն արժեքի: Փորձնական տվյալները ամբողջությամբ վկայում են երկու ֆազերում տեղի ունեցող քիմիական ռուսակցիաների փոխադրեցության և ազատ ռադիկալների որոշիչ դերի մասին այսպիսի նոր մոտեցումով իրականացվող գազ – կարծր ֆազ քիմիական փոխարկումներ իրականացնելիս:

Մշակված մոտեցումը փորձնականում կարող է կիրառվել որպես նոր եղանակ կապարի օքսիդներից (երկրորդային հումքից) փոշեձև կապար ստանալու համար:

ЛИТЕРАТУРА – ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ *A. A. Mantashyan*, Хим. журн. Армении, т.49, №4, с.5 (1996) ² *A. A. Mantashyan*, Кин. и кат., т.38, №5, с.671 (1997) ³ *A. A. Mantashyan, V. A. Martirosyan, N. Z. Yedigaryan e.a.*, React. Kinet. Catalyses Letters, v.30, №2, p.333 (1986) ⁴ *B. P. Багдасарян, Л. А. Хачатрян, О. М. Никзян и др.*, Кин. и кат., т.27, вып.1, с.16 (1986). ⁵ *Н. Н. Семенов*, О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности, М., Изд. АН СССР, 1958. ⁶ *A. A. Mantashyan*, Хим. физика, т.15, №4, с.75 (1996). ⁷ *A. A. Mantashyan*, Chem. Phys. Reports, v.15, №4, p.545 (1996).

УДК 556 55(479.25)

М. А. Сатиан

О геоэкологии серпентинитов

(Представлено академиком НАН Армении Р.Т.Джрбашяном 22/VII 1997)

Серпентиниты образуются при гидратации ($T \leq 500^\circ\text{C}$) ультрамафитов – вещества мантии, выдвинутого к поверхности земной коры. Проблема геоэкологии их обозначилась с выявлением биологической активности минералов группы серпентина, а также по результатам наблюдений в ареалах их развития над растительностью и ископаемой фауной. Приведем результаты исследований, определяющих проблему в первом приближении.

Под воздействием на клетки человека минералов группы серпентина ($\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$) цитологически выявлена потеря четкости контуров клетки и ядра (1).

Изученная на выходах серпентинитов Вединской офиолитовой зоны растительность (исследования проводились с В.Манакяном, Ин-т ботаники НАН РА) крайне скудна по сравнению со смежными участками, где выступают породы кремнисто-известняково-вулканогенной формации офиолитовой серии, и представлена ограниченным видовым составом. Представители большинства семейств концентрируют магний (8-10 вес. % в золе), а представители сем. *Ariasea* и *Asteracea* отличаются также концентрацией хрома (0.03-0.04 вес. %). Сходные результаты по распространению растительного покрова на серпентинитах отмечаются для ряда регионов мира, а на участках повышенной минерализации были встречены эндемические и даже неизвестные науке виды (2).

В поздне меловых отложениях раннего сенона офиолитовых зон Закавказья, богатых остатками ископаемой прикрепляющейся и придонной фауны (кораллы, рудисты, гастроподы и др.), линзы серпентинитокластов, по нашим наблюдениям, составляют исключение – в их составе и на поверхности линз фаунистических остатков обнаружено не было, что может указывать на неблагоприятные для обитания условия на выходах ко дну серпентинитовых обломочных осадков. Примеры эти подтверждают выявленную в эксперименте био-

логическую активность серпентинита. Следует также принять во внимание его своеобразный химический состав: высокую магниальность при крайне низком содержании К, Na, Са – важнейших элементов жизнедеятельности клеток.

Крупные массивы серпентинитов, как например в бассейне оз.Севан, определяют формирование подземных минерализованных магниальных вод (выходы у с Карчахпюр и др.). Поток этих вод ко дну озера служит одной из главных причин магниального состава озерных вод – до 80 мг/л (3). Именно магниально-содовым составом воды оз.Севан отличается от большинства крупных озерных водоемов. Этой особенностью химизма вод может быть, в известной мере, объяснено сокращение линейного и весового роста и периода полового созревания сига-лудог и чудского сига, акклиматизировавшихся в озере (4). Предлагаемая гипотеза может объяснить и феномен резкого линейного и весового роста севанской форели, акклиматизировавшейся за последние годы в оз.Иссык-Куль – по-видимому, это результат изменения экспрессии генов роста в рамках нормы реакции в новых условиях обитания.

В геологической истории Земли за последние 0,5 млрд. лет обозначаются крупные – раннепалеозойский и средне-позднемезозойский этапы выдвигания мантийного вещества к поверхности коры с последующим тектоническим размещением его в зоне перехода от океанов к континентам; протяженность этой полосы составляет тысячи километров при незначительной ширине и дискретном размещении серпентинизированных ультрабазитов (5,6). Таковы в целом ареалы их наиболее интенсивного воздействия на разнообразные экосистемы, где резко изменились условия обитания в силу отмеченных выше особенностей серпентинитов. Однако в последующей истории развития этих зон, охватывающей складчатые процессы, сопровождаемые разрывными дислокациями, вовлечением серпентинизированных ультрабазитов в покровные и надвиговые структуры, формирование олистолито-олистостромовых образований, вторичных серпентинитовых протрузий, эрозионный размыв и выветривание, общие объемы серпентинитов сокращаются. Кроме того, они отчасти перекрываются осадками трансгрессирующих морей постофиолитового этапа, например, позднесенонской – одной из наиболее крупных в мезозое. Ориентировочные подсчеты по офиолитовым зонам Закавказья приводят нас к выводу о том, что не менее трети общего объема офиолитовых масс, включая и ультрабазиты, были размывы на постофиолитовом этапе и обломочные продукты размыва были включены в состав граувакковой, флишоидных и молассовых формаций сенона-кайнозоя. Поэтому можно прийти к выводу, что на постофиолитовом этапе воздействие серпентинитов на экосистемы убывает.

Из задач последующих исследований по намечаемой проблеме экологии серпентинитов выделим изучение физического смысла полей вокруг кристаллов, относящихся к данной группе минералов, обладающих биоактивностью.

Очевидно, необходимо продолжение исследований по био- и геоэкологии выходов серпентинитов, а также по проблеме корреляции с другими факторами воздействия на биосферу в геологической истории развития Земли.

Институт геологических наук НАН Армении

Մ. Ա. ՍԱԹՅԱՆ

Սերպենտինիտների գեոէկոլոգիայի մասին

Սերպենտինիտները մանթիայի նյութի հիդրատացիայի արդյունք են և կենսաբանորեն ակտիվ են: Նրանց ելքերի մարզերում բիոտան (օրգանիզմները) ճնշված են, սակայն բնատեղանալու դեպքում առաջանում են նրանց նոր տեսակներ:

Դեպի մայրցամաքների եզրերն առավելագույն առաջխաղացման փուլերում ֆաներոզոյի երկրաբանական պատմության մեջ սերպենտինիտները կարող են էականորեն ազդել կենսաոլորտի վրա: Ոչ պակաս կարևոր է նրա գեոէկոլոգիական նշանակությունը անտրոպոգենում:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ *М.А.Сатян, А.Г.Хангельдян, Патенты № 9709, 97018, 1997г. Патентное управление Республики Армения.* ² *R.R.Brooks, C.E.Dunn, J.Edmondson e.a., Ophioliti, v.20, №2, p.67-80 (1995).* ³ *М.А.Сатян и др., Геология Севана, Ереван. Изд. НАН РА, 1994.* ⁴ *Г.Г.Южакова, в сб.: Лимнологические и ихтиологические исследования озера Севан, т.20, Ереван. Изд.АН АрмССР, 1985.* ⁵ *E.Abbate, V.Bortolotti, P.Passerini e.a., Ophioliti, v.10, №2/3, p.109-138 (1985).* ⁶ *А.Т.Асланян, М.А.Сатян, Тектонические условия становления офиолитовых зон, Ереван. Изд.АН АрмССР, 1987.*

УДК 576 314+616 379 008 64 092 9-07 616-008 615.781

Академик НАН Армении К. Г. Карагезян, А. А. Оганесян,
Р. Л. Данилова, Л. М. Овсепян, М. К. Карагезян

**Нарушения состава и содержания фосфолипидов в мембранах
митохондрий печени белых крыс при галотановом наркозе
и нормализующее влияние тиосульфата натрия на этом фоне**

(Представлено 26/VII 1996)

Применение галотана (Г) в хирургической практике в качестве эффективного наркотического средства (2-бromo-3-хлоро-1,1,1-трифлюороэтан) с определенной степенью токсичности (1) вызывает интерес к изучению особенностей его действия, интенсивности течения реакций свободнорадикального окисления (СРО) липидов и резистентности мембран эритроцитов к перекисному гемолизу (2).

Исходя из вышеизложенного мы занялись изучением особенностей нарушений молекулярных механизмов фосфолипидов (ФЛ) под действием Г в интактных митохондриях (ИМ) гепатоцитов белых крыс, в их наружных и внутренних мембранах (НММ и ВММ соответственно), а также характера влияния на фоне действия Г тиосульфата натрия (ТСН) (3), обладающего выраженными антиоксидантными свойствами (4), наподобие мембранопротекторного действия альфа-токоферола и глутатиона (5), направленного на поддержание филогенетически запрограммированного постоянства качественно-количественных соотношений мембранных ФЛ (6), малейшие отклонения которых чреваты развитием мембранотоксического, мембранолитического эффектов, стартированием и генерализацией болезненных явлений.

Опыты проводили на 60 беспородных белых крысах-самцах, массой 180-200 г, содержащихся на ординарном пищевом режиме вивария и подразделенных на следующие 4 экспериментальные группы (по 15 животных в каждой): 1) контроль; 2) подвергнутые 30 мин действию Г, с концентрацией его во вдыхаемом O_2 в пределах 1-1,5 объемных %; 3) то же, что и в пункте 2, спустя 30 мин после предшествовавшего внутрибрюшинного введения 35%-ного раствора ТСН в количестве 1 мл; 4) то же, что и в пункте 2, с последующим введением ТСН в указанной концентрации в количестве 0,15 мл. Спустя 60 мин после завершающей манипуляции животных забивали обезглавливанием, изолированные на

холоде кусочки печени гомогенизировали в среде 0,25М сахарозы и 0,01М Трис-НСI-буфера, рН 7,4, суспензию центрифугировали для получения субклеточных образований (центрифуга VAC-601, ГДР). Образовавшуюся фракцию ИМ промывали смесью сахарозы Трис-НСI буфера и подвергали трехкратному центрифугированию: при 600 g 10 мин и дважды при 8500 g 19 мин. Надосадочную жидкость удаляли, осадок заливали 25 мл охлажденной дистиллированной водой (осмотический шок) и оставляли в холодильнике на 24 ч для отделения мембран. НММ и ВММ изолировали в градиенте плотности 34, 44 и 52% растворов сахарозы, приготовленных на Трис-НСI буфере и последовательно наложенных в нисходящей концентрации (52, 44, 34%) в объеме 8-10 мл (первые два раствора) и 6-8 мл (третий раствор) на заранее налитые в центрифужные пробирки суспензии в количестве 5-7 мл. Центрифугирование проводили с использованием бакет-ротора при 45000 g в течение 60 мин, фракция НММ обнаруживалась в градиенте между слоями растворов сахарозы с концентрацией 34 и 44%, а фракция ВММ располагалась в градиенте между слоями растворов сахарозы с концентрацией 44 и 52%. Изолированные отсасыванием с помощью шприца фракции митохондриальных мембран осаждали центрифугированием описанным способом, а степень их чистоты контролировали электронно-микроскопически.

Фракционирование индивидуальных ФЛ проводили методом одномерной восходящей хроматографии в тонком слое силикагеля (марка адсорбента КСК) с использованием системы растворителей: хлороформ-метанол-аммиак 65:35:5 объемных единиц, а идентификацию их – с помощью соответствующих свидетелей фирмы "Sigma" (США). Минерализацию липидного фосфора ФЛ осуществляли в среде 72%-ного раствора хлорной кислоты. Количество ФЛ выражали в мкг неорганического фосфора/мг сухого остатка соответствующей фракции (8).

Активность процесса СРО липидов определяли по выходу малонового диальдегида (МДА), образующего с тиобарбитуровой кислотой цветное окрашивание, интенсивность которого регистрировали спектрофотометрически (аппарат СФ-4А) при 535 нм (9), пересчетом содержания МДА/мг общего белка данной фракции (10).

Результаты исследований, отраженные в табл 1, свидетельствуют о существенных отклонениях под действием Г содержания всех исследованных фракций ФЛ ИМ гепатоцитов, НММ, ВММ. Наиболее демонстративными представляются сдвиги уровней фосфатидилхолинов (ФХ), фосфатидилэтаноламинов (ФЭ) и фосфатидилсеринов (ФС). Обратимые взаимопревращения этих ФЛ при Г наркозе выражаются в статистически достоверном уменьшении количества ФХ и параллельно развивающемся как возрастании содержания ФЭ, так и понижении ФС в ИМ и НММ. Вместе с тем бросается в глаза ярко выраженное возрастание содержания ФС, монофосфоинозитидов (МФИ) и кардиолипинов (КЛ) в ВММ, что следует интерпретировать важностью роли

указанных ФЛ в достижении эффекта стимулирования дыхательной функции митохондрий. Это особенно необходимо при Г наркозе, характеризующемся трансформацией определенной части ФХ в лизофосфатидилхолины (ЛФХ), обладающие мембранотоксическим эффектом. Следовательно, отмеченное выше увеличение уровня кислых ФЛ (КФЛ) и их суммы (СКФЛ), направленное на поддержание дыхательной функции ИМ и ВММ, оказывается намного демонстративнее по сравнению со сдвигами содержания как отдельных нейтральных ФЛ (НФЛ), так и их суммы (СНФЛ), о чем свидетельствует заметное уменьшение при действии Г величины коэффициента К – отношения СНФЛ и СКФЛ, установленное в ВММ в пределах 1,18 против 1,80 в контроле.

Как явствует из данных, отраженных в табл.2, введение ТСН животным с 30-минутным Г наркозом сопровождается проявлением ярко выраженного детоксицирующего эффекта. Это выражается в заметном ингибировании активности фосфолипазы А₂ с заметным уменьшением выхода ЛФХ во ВММ, ИМ и НММ. По степени своей выраженности уровень ЛФХ намного уступает тому, что отмечается при неприменении ТСН, сопровождаясь весьма незначительными изменениями уровней МФИ, ФС и КЛ, устанавливающихся в пределах контрольных величин. Это естественным образом приближает СНФЛ, СКФЛ и К к нормальным показателям, продолжающим, тем не менее, демонстрировать статистически достоверные расхождения с контролем.

Введение животным ТСН за 30 мин до дачи Г, согласно данным табл.3, оказывается несравненно более эффективным в поддержании характерного для нормы уровня метаболизма ФЛ в ИМ, НММ и ВММ, с соответствующим отклонением в них суммы ФЛ (СФЛ), СНФЛ, СКФЛ и К.

Таким образом, Г, вызывая деацилирование ФХ с выходом высоких концентраций ЛФХ, способствует также образованию большого пула неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК) полиенового ряда, активно вовлекающихся в реакции СРО липидов в качестве субстратов для образования больших количеств продуктов их переоисления, как об этом свидетельствуют данные, отраженные в табл.4. Все они – ЛФХ, НЭЖК и липидные перекиси в триаде мощных вредоносных факторов выступают в качестве одних из основных патогенетических факторов токсического действия Г.

Согласно нашим наблюдениям как в сериях по изучению динамики количественных изменений ФЛ, так и в данном случае нормализующее действие ТСН проявляется наиболее демонстративно, если оно предшествует введению в организм Г. При этом отмечающиеся в содержании липидных перекисей отклонения во всех исследованных биологических системах оказываются статистически недостоверными.

Таблица 1

Динамика количественных изменений фосфолипидов (в мкг липидного фосфора/мг сухой фракции) в интактных митохондриях (1), их наружных (2) и внутренних (3) мембранах в контроле (А) и на фоне 30-минутного галотанового наркоза (Б)

Показатели	1			2			3		
	А	Б	P<	А	Б	P<	А	Б	P<
Монофосфоинозитиды	1,29±0,09	2,51±0,08	0,001	1,26±0,06	0,80±0,02	0,001	1,19±0,06	2,08±0,20	0,001
Лизофосфатидилхолины	1,19±0,03	2,79±0,04	0,001	1,49±0,09	2,56±0,09	0,001	0,91±0,02	2,08±0,13	0,001
Сфингомиелины	2,18±0,08	2,89±0,07	0,01	2,23±0,01	1,03±0,09	0,001	1,23±0,05	2,41±0,21	0,001
Фосфатидилхолины	4,98±0,11	3,13±0,12	0,01	3,73±0,15	1,39±0,09	0,001	4,99±0,09	4,09±0,14	0,001
Фосфатидилсерины	1,83±0,12	0,78±0,08	0,001	1,99±0,06	0,96±0,05	0,01	1,31±0,04	3,93±0,15	0,001
Фосфатидилэтаноламины	2,22±0,06	4,91±0,07	0,001	1,11±0,08	2,46±0,04	0,02	2,11±0,13	3,69±0,19	0,001
Кардиолипиды	2,73±0,13	3,99±0,12	0,01	1,61±0,10	1,07±0,09	0,005	2,44±0,13	4,41±0,25	0,001
СФЛ	15,93±0,22	21,00±0,25	0,001	13,42±0,23	10,27±0,21	0,001	14,18±0,27	22,69±0,28	0,001
СНФЛ	10,51±0,12	13,72±0,14	0,001	8,56±0,12	7,44±0,17	0,001	9,24±0,14	12,27±0,23	0,001
СКФЛ	5,42±0,11	7,28±0,09	0,001	4,86±0,13	2,83±0,14	0,001	4,94±0,15	10,42±0,17	0,001
К	1,93±0,03	1,88±0,04	0,01	0,76±0,03	2,6±0,05	0,001	1,80±0,03	1,18±0,05	0,001

Примечание: А – n=15, Б – n=15

Таблица 2

Динамика количественных изменений фосфолипидов (в мкг липидного фосфора/мг сухой фракции) в интактных митохондриях (1) гепатоцитов белых крыс, их наружных (2) и внутренних (3) мембранах в контроле (А) и спустя 30 мин после введения тиосульфата натрия на фоне галотанового наркоза (Б)

Показатели	1			2			3		
	А	Б	P<	А	Б	P<	А	Б	P<
Монофосфоинозитиды	1,29±0,09	1,33±0,10	0,5	1,26±0,06	1,23±0,03	0,5	1,19±0,06	1,21±0,06	0,1
Лизофосфатидилхолины	1,19±0,03	2,00±0,07	0,001	1,49±0,09	1,67±0,08	0,001	1,91±0,02	0,99±0,04	0,001
Сфингомиелины	2,17±0,08	2,11±0,09	0,5	2,23±0,01	2,24±0,03	0,5	1,23±0,05	1,25±0,06	0,01
Фосфатидилхолины	4,98±0,11	3,79±0,10	0,001	3,79±0,15	3,15±0,17	0,001	4,99±0,08	4,80±0,09	0,001
Фосфатидилсерины	3,78±0,12	3,71±0,14	0,5	1,99±0,06	1,93±0,07	0,01	1,31±0,04	1,53±0,06	0,001
Фосфатидилэтаноламины	2,22±0,06	2,09±0,08	0,5	1,11±0,08	1,13±0,06	0,5	2,11±0,13	2,13±0,12	0,5
Кардиолипины	2,73±0,13	2,51±0,12	0,01	1,61±0,10	1,41±0,05	0,5	2,44±0,13	2,49±0,14	0,5
СФЛ	17,88±0,32	17,54±0,31	0,1	13,42±0,34	12,76±0,56	0,1	14,18±0,90	13,19±0,67	0,5
СНФЛ	10,51±0,12	9,99±0,13	0,001	8,56±0,33	8,56±0,33	0,5	9,24±0,14	9,17±0,20	0,5
СКФЛ	7,37±0,11	7,55±0,11	0,01	4,86±0,12	4,57±0,51	0,5	4,94±0,12	4,02±0,14	0,001
К	1,43±0,03	1,32±0,04	0,001	1,76±0,03	1,79±0,03	0,001	1,87±0,03	2,28±0,04	0,001

Примечание: А – n=15, Б – n=15

Таблица 3

Динамика количественных изменений фосфолипидов (в мкг липидного фосфора/мг сухой фракции) в интактных митохондриях (1) гепатоцитов белых крыс, их наружных (2) и внутренних (3) мембранах в контроле (А) и на фоне 30-минутного галотанового наркоза, выработанного спустя 30 мин после предварительного введения тиосульфата натрия

Показатели	1			2			3		
	А	Б	P<	А	Б	P<	А	Б	P<
Монофосфоинозитиды	1,29±0,09	1,31±0,09	0,5	1,26±0,06	1,25±0,04	0,5	1,19±0,06	1,18±0,07	0,5
Лизофосфатидилхолины	1,19±0,05	1,26±0,07	0,001	1,49±0,09	1,51±0,09	0,5	0,91±0,02	0,89±0,04	0,5
Сфингомиелины	2,17±0,08	2,13±0,08	0,5	2,23±0,08	2,20±0,08	0,1	1,23±0,05	1,22±0,07	0,5
Фосфатидилхолины	4,98±0,11	4,81±0,13	0,01	3,73±0,15	3,68±0,22	0,5	4,99±0,08	4,92±0,13	0,01
Фосфатидилсерины	3,78±0,12	3,69±0,14	0,1	1,99±0,06	1,97±0,07	0,5	1,31±0,04	1,29±0,08	0,5
Фосфатидилэтанолламины	2,22±0,06	2,25±0,09	0,1	1,11±0,03	1,09±0,09	0,5	2,11±0,13	2,08±0,15	0,5
Кардиолипины	2,73±0,13	2,71±0,16	0,5	1,61±0,10	1,58±0,11	0,5	2,44±0,13	2,39±0,12	0,5
СФЛ	17,88±0,32	18,18±0,41	0,5	13,42±0,34	13,28±0,29	0,5	14,18±0,90	13,96±0,99	0,5
СНФЛ	10,51±0,12	10,47±0,14	0,5	8,56±0,33	8,48±0,38	0,5	9,24±0,14	9,10±0,15	0,5
СКФЛ	7,37±0,11	7,71±0,12	0,001	4,86±0,12	4,80±0,13	0,5	4,94±0,12	4,86±0,13	0,5
К	1,43±0,03	1,35±0,03	0,001	1,76±0,02	1,76±0,03	0,5	1,87±0,03	1,87±0,03	0,5

Примечание: А – n=15, Б – n=15

Таблица 4

Динамика количественных изменений продуктов свободнорадикального окисления липидов (в нМ малонового диальдегида/мг белка) в интактных митохондриях (1) гепатоцитов белых крыс, их наружных (2) и внутренних (3) мембранах в контроле (А), спустя 30 мин после введения тиосульфата натрия на фоне галотанового наркоза (Б) и на фоне 30-минутного галотанового наркоза, выработанного спустя 30 мин после предварительного введения тиосульфата натрия (В)

Показатели	1			2			3		
	А	Б	P<	А	Б	P<	А	Б	P<
Неферментативное перекисление	11,81±1,13	20,35±1,03	0,001	8,46±0,97	17,58±1,13	0,001	6,12±0,97	8,99±0,75	0,01
Ферментативное перекисление	9,88±1,03	15,89±1,30	0,001	5,92±0,85	9,98±0,71	0,001	5,99±1,30	7,28±0,98	0,01
	А	В	P<	А	В	P<	А	В	P<
Неферментативное перекисление	12,00±1,13	12,04±1,01	0,5	8,46±0,97	8,39±0,88	0,5	6,12±0,97	6,66±0,91	0,5
Ферментативное перекисление	9,88±1,03	10,12±1,14	0,5	5,92±0,81	6,22±0,81	0,5	5,99±1,30	6,76±1,19	0,5

Примечание: обозначения А и Б те же, что и в табл.1; В – n=15

Вышеизложенное намечает новые подходы для более обстоятельного изучения в дальнейшем молекулярных механизмов токсического действия Г на организм больных, направляемых на хирургическое лечение, а также выявления особенностей благотворного эффекта ТСН как после, так и до выработки Г наркоза.

Институт молекулярной биологии НАН Армении

Ереванский государственный медицинский университет МЗ РА Армении

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ, Ա. Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ.

Ռ. Լ. ԴԱՆԻՆՈՎԱ, Լ. Մ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Կ. Մ. ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ

Սպիտակ առնետների լյարդի միտոքոնդրիումների թաղանթների ֆոսֆոլիպիդների որակական և քանակական փոփոխությունները հիսլոտանային նարկոզի ժամանակ և նատրիումի թիոսուլֆատի կանոնավորիչ ազդեցությունը

Ցույց է տրված, որ Հայտանի 30-րոպեանոց ազդեցության ներքո սպիտակ առնետների լյարդի միտոքոնդրիոմների արտաքին և ներքին թաղանթներում տեղի են ունենում թթու, չեզոք ֆոսֆոլիպիդների խիստ արտաՀայտված քանակական փոփոխություններ. ինչպես նաև ազատ ռադիկալային ռեակցիաների վառ արտաՀայտված ակտիվացում:

Նատրիումի թիոսուլֆատի ազդեցության ներքո տեղի է ունենում նշված խանգարումների նորմալացում:

ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ H.F.Galley, L.R.Nelson, N.R.Webster, Brit.J Anesthes, v.75, №3, p 326-329 (1955).
- ² M.Rahman, K.Fujii, M.Sato e.a., J Appl.Toxicol., v.14, №1, p 43-46 (1994). ³ К.Г.Карагезян, Ю.В.Тадевосян, Т.Б.Батикян, ДАН СССР, т.286, №2, с.465-467 (1985).
- ⁴ А.Г.Бадалян, Диагностическая ценность показателей инсулярной, контринсулярной систем, активности органоспецифических ферментов и лечебная активность тиосульфата при хронических заболеваниях печени. Канд.дис., Ереван, 1996 ⁵ M.Sato, K.Fujii, O.Yugge, Hiroshima J.Med.Sci., v.39, №1, p.1-6 (1990). ⁶ Е.М.Крепс, Липиды клеточных мембран, Л., Наука, 1981. ⁷ А.И.Арчаков, В.М.Девиченский, Биохимия, т.33, с 479 (1968). ⁸ G.R.Bartlet e.a, J Biol.Chem., v.234, p 466 (1959). ⁹ Ю.А.Владимиров, А.И.Арчаков, Перекисное окисление липидов в биологических мембранах, М., Наука, 1972. ¹⁰ O.H.Lowry, N.J.Rosebrough, A.J.Tarr, J Biol.Chem., v.193, p.265 (1951).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 577.1:577.125:620.186:611.8:615.099.091:615.781

Академик НАН Армении К.Г.Карагезян, А.А.Оганесян, М.А.Шакарян,
Л.М.Овсепян, Р.Л.Данилова, М.К.Карагезян

**Нарушения метаболизма фосфолипидов в мозговой ткани белых
крыс и их место в патогенетическом комплексе
токсических эффектов галотанового наркоза**

(Представлено 26/VII 1996)

В связи с широким применением в хирургической практике наркотических препаратов самого различного происхождения, которые согласно имеющейся научной информации, оказывают вредоносное действие на функционирование биологических систем организма, возникла необходимость обстоятельного изучения природы этих нарушений и изыскания наиболее результативных мер борьбы с ними. Особого внимания заслуживает изучение молекулярных механизмов токсического действия галотанового наркоза на метаболизм фосфолипидов (ФЛ) и интенсивность течения реакций свободнорадикального окисления (СРО) липидов на различных уровнях структурной организации клетки, обуславливающей в известной степени филогенетически запрограммированный уровень постоянства ее активности (¹) и интенсивность процесса трансдукции внешнего сигнала (²).

В программу настоящего исследования включено изучение в общем мозговом гомогенате (ОМГ), митохондриальной и микросомальной фракциях (МХФ и МКФ соответственно) головного мозга животных, находившихся под галотановым наркозом, качественных и количественных нарушений суммарных ФЛ (СФЛ), суммы нейтральных ФЛ (СНФЛ) и кислых ФЛ (СКФЛ), коэффициента К – отношения СНФЛ к СКФЛ, сдвигов содержания лизофосфатидилхолинов (ЛФХ), сфингомиелинов (СФМ), фосфатидилхолинов (ФХ), фосфатидилэтаноламинов (ФЭ), монофосфоинозитидов (МФИ), ди- и трифосфоинозитидов, фосфатидилсеринов (ФС), фосфатидных кислот, кардиолипинов (КЛ), а также интенсивности течения реакций СРО липидов.

Исследования проводили на 80 беспородных белых крысах-самцах, массой 180-220 г; контрольную группу составили 20 животных. Галотановый наркоз вызывали выдерживанием животных в течение 30 мин в специально предназ-

наченных стеклянных камерах, насыщенных кислородом с примесью галотана, в пределах 1,0-1,5 объемных процента. Выделение МХФ и МКФ мозговой ткани проводили в среде, содержащей 0,25 М раствор сахарозы и 0,01 М раствор ТРИС-НСI буфера, с использованием метода дифференциального центрифугирования. Определение общего содержания белка (3), концентрации малонового диальдегида (МДА) и гидроперекисей производили в соответствующих биологических средах. Экстракцию ФЛ осуществляли из ацетоновых порошков исследуемого материала (4), фракционирование индивидуальных ФЛ – методом одномерной восходящей хроматографии СФЛ в тонком слое силикагеля в системе растворителей хлороформ-метанол-концентрированный аммиак в объемных соотношениях 65:35:5, а их количество рассчитывали в мкг минерализованного липидного фосфора /0,5 г сухого остатка.

Как видно из табл.1, галотановый наркоз у белых крыс характеризуется статистически достоверным изменением ФЛ-ФЛ соотношений в ОМГ, МХФ, МКФ мозговой ткани преимущественно за счет убыли количества ФХ, вызываемой, по всей вероятности, повышением активности фосфолипазы А₂, приводящем также к выходу высоких концентраций незэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК) полиенового ряда, продуктов их перекисления и ЛФХ, обладающих в комплексе ярко выраженным мембранотоксическим действием. Отмечаемое при галотановом наркозе уменьшение содержания ФХ, сопрягающееся с параллельно развивающимся возрастанием уровня ФС, расценивается как результат возможного карбоксилирования ФЭ, выступающих в роли промежуточных продуктов, образующихся при деметилировании ФХ и тотчас вовлекающихся в отмеченный процесс биосинтеза ФС. Такое объяснение возможного механизма возрастания уровня ФС в мозговой ткани и ее субклеточных образованиях на фоне галотанового наркоза, на наш взгляд, логично совпадает с сопровождающимся формированием гипоксического синдрома и в целом с проявлением признаков оксидативного стресса, характеризующегося подавлением дыхательной функции МХФ.

Подтверждением вышесказанного является и факт количественного увеличения в МХФ КЛ как важнейших стимуляторов КЛ-зависимых ферментов, катализирующих реакции дыхательной цепи МХФ (5), значение которых трудно переоценить, особенно в условиях ингибирования этой жизненно необходимой функции клетки. Вкупе с ФС и КЛ немаловажно функциональное значение и третьего представителя КФЛ-МФИ, наделенного широким спектром действия и имеющего, в частности, прямое отношение к деятельности фосфоинозитидного и фосфатидилхолинового циклов, кооперация активностей которых обеспечивает течение сложнейших процессов трансдукции внешнего сигнала внутрь клетки и обеспечения механизмов регуляции клеточной активности в целом (6,7), несомненно, страдающей в условиях действия галотана.

Таблица 1

Сдвиги содержания отдельных категорий фосфолипидов (в мкг липидного фосфора/0,5 г сухого остатка исследуемого материала) в общем мозговом гомогенате (1), митохондриальной (2) и микросомальной (3) фракциях головного мозга белых крыс в контроле (4) и при галотановом наркозе (5)

Показатели	1		2		3	
	4	5	4	5	4	5
ЛФХ	326,6±3,02	374,4±3,11	28,8±2,81	120,8±4,03 ^а	42,7±1,12	60,82±1,23 ^а
СФМ	129,0±2,01	120,9±1,09 ^б	93,3±2,16	52,0±1,99 ^а	49,3 - 2,00	55,21 - 2,23 ^а
ФС	105,8±2,00	122,0±2,32 ^а	47,1±3,11	84,1±3,03 ^а	26,5±1,13	22,82±1,63 ^а
МФИ	246,8±3,07	191,5±2,22 ^а	142,0±3,09	29,0±2,02 ^а	95,0±2,03	74,80±2,91 ^а
ФХ	607,7±6,01	540,2±4,13 ^а	421,0±4,03	262,7±4,40 ^а	238,2±2,01	204,21±2,01 ^а
ФЭ	553,8±3,00	493,0±3,01	320,0±2,23	301,4±1,73 ^а	152,0±2,00	140,02±1,97 ^а
КЛ	106,8±0,32	108,2 - 0,91 ^а	31,1 - 0,40	37,0 - 0,51	-	-
СФЛ	2074,0±6,02	1950,4±4,00 ^а	1085,0±6,04	884,0±5,00 ^а	605,0±2,04	558,00±3,04 ^а
СНФЛ	1616,0±6,09	1528,5±6,05 ^г	863,1±4,02	734,0±3,07 ^а	483,8±1,51	460,21±1,32 ^а
СКФЛ	460,0±3,69	421,7±4,00 ^г	220,0±4,05	50,1±4,16 ^а	121,5±1,16	97,61±1,22 ^а
К	3,5	3,6	3,9	4,9	4,0	4,7

Примечание: а - P<0,001; б - P<0,01; в - P<0,02, г - P недостоверен.

Таблица 2

Сдвиги содержания гидроперекисей (E_{480} /мг белка) и малонового диальдегида (в нМ/мг белка) в общем мозговом гомогенате, митохондриальной и микросомальной фракциях головного мозга белых крыс в неферментативной (1) и ферментативной (2) системах перекисления липидов в контроле и галотановом наркозе

Показатели	Контроль		Галотановый наркоз			
	1	2	1	% разницы от контроля	2	% разницы от контроля
Митохондриальная фракция						
Гидроперекиси	0,75±0,03	0,51±0,03	1,25±0,05 ^а	67,0	0,99±0,05 ^а	94,0
Малоновый диальдегид	4,21±0,09	2,02±0,07	6,42±0,21 ^а	52,5	4,67±0,06 ^а	131,0
Микросомальная фракция						
Гидроперекиси	0,55±0,04	0,31±0,03	0,73±0,03 ^б	33,0	0,58±0,02 ^а	90,0
Малоновый диальдегид	2,07±0,07	1,42±0,08	3,04±0,17 ^а	47,0	2,07±0,11 ^а	46,0
Общий мозговой гомогенат						
Гидроперекиси	0,42±0,06	0,29±0,05	0,65±0,04 ^а	55,0	0,49±0,04 ^а	68,0
Малоновый диальдегид	1,66±0,02	0,81±0,07	1,86±0,02 ^а	12,0	1,04±0,02 ^в	29,0

Примечание: а – $P < 0,001$; б – $P < 0,002$; в – $P < 0,01$.

Установленные нами межфракционные изменения ФЛ и ОМГ в внутриклеточных образованиях головного мозга при галотановом наркозе проливают свет на понимание сдвигов К, отражающего специфику функциональных изменений исследованных категорий ФЛ. Изучение особенностей течения процесса перекисеобразования в ОМГ и главным образом в МХФ и МКФ головного мозга продемонстрировало существенные нарушения, отраженные в табл. 2. Токсические эффекты галотана характеризуются ярко выраженным активированием реакций перекисеобразования, особенно в ферментативной (NADPH-зависимой) системе перекисления липидов. При этом сравнительно более высокий выход гидроперекисей мы рассматриваем как результат интенсификации реакций СРО липидов, в известной степени свидетельствующей об интенсивности развития болезненного процесса и его генерализации. Описанная закономерность в динамике количественных сдвигов гидроперекисей и МДА, наиболее ярко выраженная в МХФ, затем МКФ мозговой ткани и менее отчетливо проявляющаяся в ОМГ, свидетельствует о том, что активация процессов перекисеобразования является обязательным, но не специфическим компонентом патогенетического комплекса различных болезненных состояний организма, в том числе и своеобразных расстройств, проявляющихся при токсических воздействиях наркотических веществ. Все они сопровождаются не

только интенсификацией процессов деацилирования ФЛ с выходом высоких концентраций ЛФХ, а также НЭЖК, активно вовлекающихся в реакции СРО, но и очевидным изменением внутримолекулярных пертурбаций качественного состава и количественного содержания жирных кислот в самом строении отдельных фракций ФЛ. Благодаря последним осуществляются отчетливо проявляющиеся отклонения физико-химических, метаболических и функциональных свойств указанных соединений.

Институт молекулярной биологии Национальной академии наук Армении
Ереванский государственный медицинский университет

Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, Ա. Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ,
Մ. Ա. ՇԱՔԱՐՅԱՆ, Լ. Մ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ռ. Լ. ԿԱՆԻՈՎԱ, Կ. Մ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ

**Սպիտակ առնետների ուղեղային հյուսվածքների ֆոսֆոլիպիդների մետաբոլիկ
խանգարումները և վերջինների դերը գալոտանային նարկոզի տոքսիկ
էֆեկտների պաթոգենեզի վարզացման մեջ**

Սպիտակ առնետների գլխուղեղի ընդհանուր հոմոգենատի, միտոքոնդրիալ և միկրոսոմալ ֆրեկցիաներում գալոտանի լիպոֆիլիան ներքո զարգանում են վաղ արտահայտված խանգարումներ ֆոսֆոլիպիդների տարբեր կատեգորիաների որակական կազմի և քանակության մեջ: Այս խանգարումները զուգորդվում են նշված գոյացություններում լիպիդների ազատ ուղիղալային ռիսկիաների արագացմամբ: Կերպինս բնութագրվում է լիպիդային գերօքսիդների բարձր կոնցենտրացիաների առաջացմամբ, որոնք օժտված են թաղանթատոքսիկ հատկությամբ, մի բան, որ ընկած է տարբեր հիվանդագին վիճակների, այդ թվում և գալոտանային տոքսիկոզների պաթոգենեզի հիմքում:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ E.M. Крепс, Липиды клеточных мембран, Л., Наука, 1981. ² К.Г. Карагезян, Ю.В. Тадевосян, Т.Б. Батикян, ДАН СССР, т.295, с.1254-1257 (1987). ³ O.H. Lowry, N.J. Rosenbrough, A.L. Farr, J. Biol. Chem., v.193, №1, p.265-275 (1951). ⁴ J. Folch, M. Lees, G. Sloane-Stane, J. Biol. Chem., v.226, p.497-509 (1957). ⁵ E.Б. Бурлакова, М.И. Джалябова, В.О. Гвахарня и др. в кн.: Биоантиокислители в регуляции метаболизма в норме и патологии, М., Наука, с.113-140 (1982). ⁶ К.Г. Карагезян, Ю.В. Тадевосян, Т.Б. Батикян, ДАН СССР, т.286, с.465-467 (1986). ⁷ К.Г. Карагезян, Э.С. Геворкян, Ю.В. Тадевосян и др., Укр. биохим. журн., т.60, №4, с. 81-83 (1988).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 576.858.9:756.815.48

К. Г. Исаханова, В. Н. Вербенко, Ж. А. Кцоян, И. Н. Саркисян,
И. В. Варгерсян, академик НАН Армении К. Г. Карагезян

Природная плазмида pSD89 Cm^r из *Salmonella derby* K89,
компенсирующая мутацию pol A⁻ у *Escherichia coli* K-12

(Представлено 30/XI 1996)

В литературе существуют различные предположения относительно функций, выполняемых плазмидными генами защиты и мутагенной ветви репарации, и об их взаимодействии с SOS-системой бактерии-хозяина. В свою очередь известно, что ферменту ДНК-полимеразе I отведена ключевая роль в процессах эксцизионной репарации ДНК. В ряде работ высказывается предположение о возможности обнаружения полимеразной активности, экспрессируемой с некоторых плазмид (1). Однако следует указать на тот факт, что подобные работы в литературе встречаются крайне редко и в большинстве своем отражают самые ранние этапы изучения закодированных на плазмидах генов. Данные, полученные на более поздних стадиях изучения, либо не подтверждают полимеразной активности, обусловленной плазмидой, либо свидетельствуют о взаимодействии плазмидных продуктов с полимеразами клетки-хозяина (2).

В предыдущих работах по изучению плазмиды pSD89 были проведены биохимические эксперименты по измерению активности ДНК-полимеразы I в двух родительских штаммах *S. derby* K89 и K82, отличающихся по присутствию R-плазмиды, и было показано, что бесплазмидный вариант *S. derby* K89 проявлял резко пониженную активность ДНК-полимеразы по сравнению с активностью фермента клеток дикого типа (3). Эти результаты указывают на возможную ассоциацию активности ДНК-полимеразы с R-плазмидой pSDK89. Были выдвинуты две альтернативные гипотезы. Согласно первой в случае с плазмидой pSD89 мы имеем дело со структурным геном ДНК-полимеразы типа I *E. coli*; согласно второй, изучаемая плазмида несет какой-то супрессор хромосомной pol-мутации, например, amberg-супрессор или активатор криптического хромосомного ДНК-полимеразного гена. Вероятность супрессии была проверена в

этих же исследованиях, и оказалось, что на R-плазмиде нет супрессора подобной amber-мутации (3).

Таким образом, предполагалось, что R-плазида содержит структурный ген ДНК-полимеразы, отличной, как показали эксперименты по гибридизации с Кленовским фрагментом, от ДНК-полимеразы типа I *E. coli*.

В дальнейшем, в серии экспериментов с различными мутантами *E. coli*, где были выделены трансформанты *E. coli*^x pSD89 Cm^r, в которых плазида pSD89Cm^r обуславливала защитный эффект к воздействию УФ-света и γ лучей, было указано на приобретение дополнительной радиоустойчивости, но не полной компенсации дефекта трансформированных плазмидой pSD89Cm^r клеток мутантного штамма *pol* A6 *E. coli*, что не могло дать представления о работе полимеразы I в репаративных процессах, обусловленных внесенной плазмидой (4). Из литературных данных известно о весьма точной работе полимеразы I, и любое нарушение этой точности могло бы привести к необратимым нарушениям репаративного процесса. Неполная компенсация дефекта в данном случае говорит как раз о том факте, что большая часть репаративных процессов все же точна, и речь тут может идти либо о каком-нибудь другом фрагменте, либо о какой-то другой измененной форме ДНК-полимеразы I.

В настоящей статье показано, что именно работой полимеразного гена плазмиды или его аналога обусловлено повышение радиоустойчивости штаммов *S. derby* и *E. coli* при наличии в них плазмиды pSD89 Cm^r.

В качестве объекта для трансформации был выбран мутант *E. coli* по чувствительности к температуре, Ts-мутация в котором сцеплена с генетическим локусом полимеразы I. Ранее было обнаружено, что штаммы *E. coli*, несущие либо мутацию *pol*A1, либо *pol*A12, приводящие к дефектной полимеразной активности, не способны расти при 42°C. В этих условиях ингибирование синтеза ДНК приводит к ее полной деградации и, соответственно, к потере клеточной выживаемости. После проверки нескольких штаммов, несущих указанную мутацию (*pol*A12), был выбран самый жизнеспособный (КД 1996).

Штамм *pol*A12 после трансформации к хлорамфениколустойчивости проверялся на присутствие неселектируемого маркера – устойчивости к температуре (42°C). Как следовало из Spot-теста, проведенного для штамма-реципиента (*pol*A12) и трансформанта *pol*A12/pSD89 Cm^r, при 42°C выживали только колонии полученных трансформантов, что говорило о компенсации дефекта чувствительности к температуре штамма-хозяина и, соответственно, предполагало нормальную работу полимеразы I при данной температуре.

Проведенный в данной работе эксперимент с использованием мутанта *pol*A12, в котором *pol*-мутация сцеплена с маркером чувствительности к высокой температуре, позволила нам продемонстрировать более четкий защитный эффект плазмиды pSD89 Cm^r в дефектных по полимеразе I клетках *E. coli*, облученных УФ-светом и γ лучами. Простейшим объяснением жизнеспособности этого мутанта после введения плазмиды pSD89 Cm^r в условиях повышенной

температуры могло бы стать присутствие полимеразного гена на плазмиде. Однако полученный результат сам по себе еще не доказывает того факта, что именно полимеразная активность, экспрессируемая с плазмиды, обуславливала в клетке значительную часть ее защитного потенциала при облучении.

Ведь не исключается возможность активации плазмидой pSD89 Cm^r какого-то хромосомного гена ДНК-полимеразы в мутантном штамме, заставляя клетку продуцировать полимеразный белковый продукт, оперирующий по репаративному пути. Для более убедительного доказательства предположения о наличии гена pol на исследуемой плазмиде была предпринята параллельная с pSD89 трансформация клеток мутантного штамма плазмидой pBR. Последняя, как свидетельствуют литературные данные, не работает в отсутствие активно функционирующего хозяйского гена полимеразы I. Spot-тест на воздействие высокой температуры ясно показал нежизнеспособность полученных трансформантов polA127 pBR, высеянных на чашку с максимальной средой, в то время как клетки, полученные путем трансформации плазмидной ДНК *S. derby* K89 в дефектный по полимеразе I мутант *E. coli*, давали большое количество колоний при 42°C. Таким образом, эти результаты наглядно продемонстрировали жизнеспособность трансформантов polA12/pSD89 Cm^r при высокой температуре, в отличие от polA12/pBR. Это позволяет нам предположить, исходя из особенностей действия плазмиды pBR, которая не функционирует в отсутствие полимеразной активности в клетке-хозяине, что исследуемая плаزمида pSD89 Cm^r действительно несет полимеразный генетический локус, и это отражается на увеличении выживаемости штамма polA12/pSD89 Cm^r при высокой температуре.

Итак, суммируя результаты данного, а также ранее проведенных экспериментов по переносу плазмиды pSD89 Cm^r на генетический фон *E. coli* (5), можно утверждать, что она играет существенную роль в повышении устойчивости клеток *E. coli*, дефектных по полимеразе I, к воздействию радиации и высокой температуры, что в некоторой степени подтверждает ранее сделанное предположение об ассоциации активности аналога ДНК-полимеразы I с pSD89 (3). В качестве аналога полимеразы I в бактериальных клетках *S. derby* можно подразумевать некую форму ДНК-полимеразы I, экспрессирующуюся, к примеру, в штаммах *E. coli* с конститутивным SOS-ответом (6).

В этой связи особый интерес представляет факт, выявленный в работе (4), где донорный штамм *S. derby* K89 оказался значительно менее устойчивым к воздействию как УФ-света, так и γ -лучей, нежели его бесплазмидный дериват *S. derby* K89. Для объяснения данного факта имеются следующие альтернативы: 1) вероятность интерференции плазмидной ДНК-полимеразы с хромосомной ДНК-полимеразой в процессах репарации (3); 2) вероятность интерференции двух автономно-реплицирующихся плазмид — pSD89 Cm^r и pSD89Sm^r из штамма *S. derby* K89, первая из которых, как уже отмечалось, обуславливает

фенотип γ и УФ-резистентности, в то время как другая, сцепленная с маркером устойчивости к Sm, в значительной степени сенсibilизирует клетки донорного штамма S. derby K89: 3) учитывая влияние R-плазмиды S. derby K89 на морфо-физиологические и биохимические процессы, происходящие в мембранах клеток S. derby, можно утверждать, что при отсутствии плазмиды pSD89 запускается антирадикальный механизм защиты бактериальной клетки от воздействия радиации

Таким образом, изложенное выше свидетельствует в пользу того, что R-плазида pSD89 обуславливает радиорезистентность бактериальных клеток S. derby и E. coli, запуская механизмы репарации ДНК, повышающие (pSD89 Cm^r) или снижающие (pSD89 Sm^r) общий репаративный потенциал клетки, а в случае S. derby, возможно, также воздействуя на качественный и количественный состав структурных компонентов мембран клеток, меняет их антирадикальную активность.

Институт молекулярной биологии НАН Армении

Կ. Գ. ԻՍԱԿՉԱՆՈՎԱ, Վ. Ն. ՎԵՐԲԵՆԿՈ, Ժ. Ա. ԿՇՈՅԱՆ, Ն. Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Ի. Վ. ՎԱՐԳԵՐԵՍՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԿՅՈՋՅԱՆ

S. derby K89-ի pSD89 Cm^r բնական պլազմիդը, որը կոմպենսացնում է E. coli K-12-ի polA մուտացիան

pSD89 Cm^r պլազմիդը տրանսֆորմացիոն տեղափոխությունը E. coli polA թերմոզգայուն մուտանտ բջիջներ (թերմոմուտացիան Ts այդ բջիջներում գուգորդված է պոլիմերազա 1-ի գենետիկական լուկուսի հետ) բերում է տրանսֆորմանտ polA12/pSD89 Cm^r բջիջների առաջացման, որոնք ցուցաբերում են բացարձակ կենսունակություն բարձր ջերմաստիճանի դեպքում (42°C): Այս տվյալները վկայում են ջերմաստիճանի նկատմամբ զգայնության դեֆեկտի կոմպենսացումը և համապատասխանաբար ենթադրում է տեր-բջի պոլիմերազային դեֆեկտի կոմպենսացում:

Առատանտ բջիջների բարձր ջերմաստիճանում կենսունակության բարձրացման գործում պլազմիդի pol-գենի մասնակցության համոզիչ ապացուցման համար իրականացվել է կոնտրոլ էքսպերիմենտ: Իրականացվել է pBR պլազմիդի տրանսֆորմացիա Ts-մուտանտ բջիջներ, քանի որ հայտնի է այդ պլազմիդի անաչխատունակությունը տեր-բջիջների պոլիմերազա 1 գենի ակտիվ-գործունեության բացակայության դեպքում: Ստացված բոլոր տրանսֆորմանտները T=42°C դեպքում խիստ անկենսունակ են:

Այսպիսով, այս աչխատանքում ստացված են լրացուցիչ ապացույցներ պլազմիդի պոլիմերազա 1 գեն-անալոգի առկայության վերաբերյալ և նրա դերը ուսումնասիրվող պլազմիդի պաշտպանիչ էֆեկտի ապահովման գործում:

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ J Radicella, J. Bacteriol., v 175, p.7732-7736 (1993). ² A Potter e a., Mut. Res., v.131, p 197-204 (1984). ³ Н.Н.Саркисян и др., Биохимия, т.50, с.673-679 (1985). ⁴ K.Isakchanova, V.Verbenko e a., Abstracts of Internat. Congr. on Radiation Prot., Vienna, p 61-64, 1996. ⁵ K.Isakchanova e a., PNPI Res. Report, Gatchina, p.33-40, 1996. ⁶ D Lacey, S Krauss, Proc. Nat. Acad. Sci., v 79, p 330-334 (1982).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 577.352.335:579,842.14

М. А. Балаян, А. З. Пепоян, Г. Г. Бадалян,
академик НАН Армении К. Г. Карагезян

Структурная организация мембран радиорезистентных
и радиочувствительных клеток *Salmonella derby*

(Представлено 27/V 1997)

Важность генетических структур в радиационном поражении живых организмов экспериментально и теоретически обоснована в рамках принципа "попадания" и теории "мишени". Радиационная мембранология не имеет аналогичной теории, которая являлась бы логическим обобщением представленной классической радиобиологии.

Целью настоящей работы является рентгенографическое изучение мембранных структур радиорезистентных и радиочувствительных клеток *Salmonella derby*.

В работе использованы условно-патогенный штамм *S derby* K89, его бесплазмидный вариант *S derby* K82, радиочувствительный плазмидный мутант K134 и его бесплазмидный вариант *S derby* K95.

В качестве основного экспериментального метода для изучения структуры мембранных суспензий служил метод дифракции рентгеновских лучей. Выделение мембран из клеток проводилось известным способом ⁽¹⁾ с соответствующей обработкой ⁽²⁾. Мембранную суспензию соответствующей концентрации вводили в капилляр или ячейку типа "сэндвич" и оставляли в герметически закрытом виде при комнатной температуре ($t=25^{\circ}\text{C}$).

Съемки проводили на рентгеновских аппаратах УРС-60, УРС-2 с модифицированными камерами типа КРОН, РКСО, предназначенными для исследования малоуглового рассеяния и дающими возможность проводить съемки на плоской пленке с расстоянием образец-пленка 100 и 150 мм. В исследовании были использованы рентгеновские трубки БСВ-23, БСВ-24В, дающие излучение в области длины волны 1,54Å с напряжением на аноде 40 кВ при его токе 20 мА и временем экспозиции 10-14 ч. Образец готовили с использованием кварцевых тонкостенных капилляров (производства ФРГ) с толщиной стенок 0,01 мм и диаметром 0,4-1,0 мм.

Межплоскостное расстояние малоугловых рефлексов, соответствующее расстоянию между регулярно чередующимися в пространстве мембранами, можно представить в виде

$$d = d_m + d_w, \quad (1)$$

где d_m и d_w – толщина мембран и межмембранного водного слоя.

Для суждения о зависимости межплоскостного расстояния от концентрации фосфолипида (C_m) и воды (C_w) для системы фосфолипид–вода использовали формулу Лузати (3)

$$d = d_m(1 + \rho_w C_w / \rho_m C_m), \quad (2)$$

где ρ_m и ρ_w – плотность мембраны и воды.

Из уравнения (2) видно, что d в случае системы фосфолипид–вода прямо пропорционально C_w/C_m и что по наклону зависимости d от C_w/C_m можно определить отношение ρ_w/ρ_m .

Экспериментальное d определяется из условия

$$\lg 2\theta = l/D, \quad (3)$$

где l – диаметр рефлекса на рентгенограмме, D – расстояние образец–пленка, θ – угол дифракции.

Вычисляя из уравнения (3) угол дифракции и используя условие Брегга $2d \sin \theta = \lambda$, где λ – длина волны рентгеновского излучения (в данном случае $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$), определяем d .

С целью выяснения закономерностей изменения межплоскостных расстояний (d) малоугловых рефлексов и определения характеристик мембран и межмембранных расстояний для наиболее выраженных рефлексов были получены зависимости d от отношения концентрации воды и мембран C_w/C_m (в гр./гр.) (таблица). Как видно из таблицы, с увеличением концентрации воды в этой системе (3) имеется нелинейный рост с достижением насыщения.

Согласно выражению (1), полученную зависимость можно объяснить следующим образом: по мере увеличения количества воды она накапливается в межмембранном пространстве, приводя к увеличению расстояния между мембранами, и полученная при этом кривая является линейной.

Согласно (4), нелинейный характер полученной зависимости может быть обусловлен высокой гидрофобностью мембран, вызывающей возникновение водной фазы вне регулярной системы мембрана–вода. При этом вода при концентрациях, превышающих определенный уровень, уже не проникает в межмембранное пространство, и поэтому уравнение (2) оказывается характерным только для гидрофильных мембран. В этом случае при увеличении концентрации воды она полностью накапливается в межмембранном пространстве, приводя к линейному росту межмембранного расстояния.

Зависимость межплоскостного расстояния d малоугловых рефлексов жидкокристаллической суспензии мембран *Salmonella derby* от C_1/C_2

Штаммы	C_1/C_2				
	0.818	1.222	1.857	3	5.667
S. derby K89, дикий	20,1686±0,01	20,9708±0,09	21,976±0,1	22,0627±0,05	23,9627±0,11
S. derby K134, радиочувствительный мутант	23,81±0,02	23,236±0,02	23,02±0,02	22,551±0,05	22,2186±0,04
S. derby K82, бесплазмидный радиоустойчивый	19,5194±0,01	20,4552±0,1	21,3162±0,01	21,4375±0,01	21,5014±0,02
S. derby K95, бесплазмидный радиоустойчивый	19,845±0,03	20,545±0,11	21,18±0,01	21,402±0,022	21,482±0,01

Исходя из этого, можно полагать, что предел насыщения $d - C_1/C_2$ в определенной мере характеризует наличие межмембранного гидрофобного взаимодействия. Результаты экспериментов свидетельствуют о сходстве гидрофобности мембран диких клеток *S. derby* K89 и их радиочувствительных мутантов *S. derby* K134, в то время как мембраны радиорезистентных бесплазмидных штаммов более гидрофобны.

Для выяснения структуры мембран была исследована дифракция рентгеновских лучей под большими углами.

Известно, что изменение вязкости мембранных липидов влияет на радиационное поражение организмов и рефлекс с межплоскостным расстоянием 4,3 Å характеризует состояние углеводородных цепочек молекул фосфолипидов в мембране (4). Отсутствие дифракции при 4,3 Å указывает на аморфное состояние, отсутствие окружности — на взаимное параллельное эквидистантное расположение молекул фосфолипида в мембране.

На рентгенограммах диких клеток *S. derby* и их радиорезистентных вариантов отмечается отсутствие рефлексов при 4,3 Å, в то время как на рентгенограммах радиочувствительных мутантных клеток *S. derby* K134 они хорошо проявляются.

Ранее нами был исследован качественный и количественный состав фосфолипидов (ФЛ) и их жирных кислот (ЖК) радиочувствительных и радиорезистентных клеток *S. derby*. Несмотря на более упорядоченное состояние внутримембранной организации радиочувствительных мутантов *S. derby* K134, нами было установлено отсутствие заметных отклонений в процентных соотношениях между насыщенными и ненасыщенными ЖК (включая и изоформы ЖК) в составе ФЛ клеток *S. derby* в зависимости от радиочувствительности.

По всей вероятности, на внутримембранную организацию радиочувствительных клеток влияют мембранные белки. В связи с этим у клеток *S. derby* K134 интерес представляют механизмы интенсификации синтеза Omp белков. Не исключено нарушение осмочувствительности регуляции синтеза пориновых белков, что может произойти как вследствие дефективности клеток по EnvZ белку, так и в результате мутаций в промоторном участке генов *ompF* и *ompC*.

Допустимо также участие мембранных белков *S. derby* K134 в поддержании внутримембранной организации этих клеток и в определении их радиочувствительности.

В случаях мембран плазмидных клеток *S. derby*, в отличие от бесплазмидных клеток, при больших углах дифракции возникают два четко выраженных рефлекса при 8 и 11 Å, имеющих форму окружности.

Межплоскостные расстояния обнаруженных рефлексов по своей величине совпадают с длиной полярных групп фосфатидилэтаноламинов – 8 Å и фосфатидилхолинов – 11 Å. По всей вероятности, наличие более интенсивного рефлекса 11 Å на рентгенограммах *S. derby* K89 и *S. derby* K134 связано с высоким содержанием ФХ в мембранах плазмидных клеток (6).

Таким образом, результаты экспериментов свидетельствуют об одинаковой степени гидрофобности мембран плазмидосодержащих радиорезистентных и радиочувствительных клеток *S. derby*. Обнаружено отличие этих клеток по внутримембранной организации клеточных стенок. Описанные сдвиги могут влиять на радиочувствительность клеток и являются результатом имеющих место физико-химических и генетических изменений в клетках *S. derby*.

Институт молекулярной биологии НАН Армении

Մ. Ա. ԲԱԼԱՅԱՆ, Ա. Չ. ՓԵՓՈՅԱՆ, Հ. Գ. ԲԱԿԱԼՅԱՆ,
Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՉՅԱՆ

Salmonella derby ռադիոկայուն և ռադիոզգայուն բջիջների թաղանթային կառուցվածքակազմակերպվածությունը

Կատարվել է *S. derby* ռադիոկայուն և ռադիոզգայուն բակտերիայի շտամների թաղանթային սուպերհիանների ռենտգենոգրաֆիկ ուսումնասիրություն ռենտգենյան ճառագայթների մեծ և փոքր անկյունների տակ դիֆրակցիայի դեպքում: Պարզվել է, որ պլազմիդային *S. derby* շտամներից ստացված ռենտգենոգրամներում առկա են 8Å և 11Å ռեֆլեքսներ, որոնք համապատասխանում են ֆոսֆատիլիլթիանոլամինների և ֆոսֆատիլիլիտոլինների լիցքավորված գլխիկների մեծությունը: Ռադիոզգայուն պլազմիդային *S. derby* շտամների թաղանթային կառուցվածքներից ստացված 4.5Å ռեֆլեքսը վկայում է այդ բակտերիաներում ճարպաթթուների առավել կարգավորված վիճակի մասին: Եզրակացվում է, որ *S. derby* բակտերիայի բջիջների թաղանթային առանձնահատկությունները կարող են բջիջների ռադիոկայունության փոփոխման հիմք հանդիսանալ:

ЛИТЕРАТУРА – ՉՐՇՈՒՄԻՅՈՒՆ

¹ O.M. Inoue, Biol. Chem., v.245, p.5813 (1973). ² В.А. Закарян, В.Г. Карапетян, Г.Г. Бадалян и др., Биофизика, т.31, с.37-42 (1986). ³ V.Luzzati, F.Husson, Cell. Biol., v.12, p.207 (1962). ⁴ В.Г. Ивков, В.Н. Берестовский, Динамическая структура липидного бислоя, М., Наука, 1981. ⁵ А.З. Пепоян и др., Радиобиология (1995). ⁶ А.З. Пепоян и др., Биохимия, т.58, с.1881-1885 (1993).

МОРФОЛОГИЯ

УДК 818.814.7:611.813

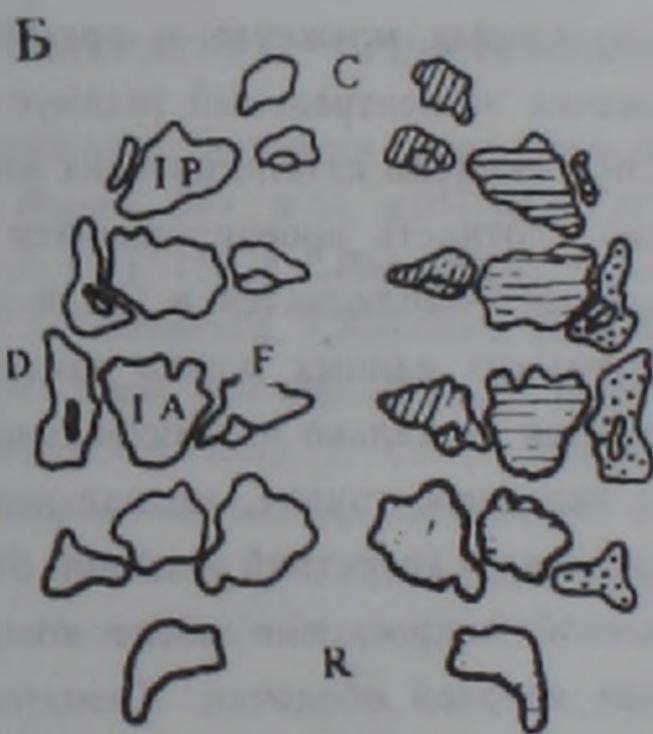
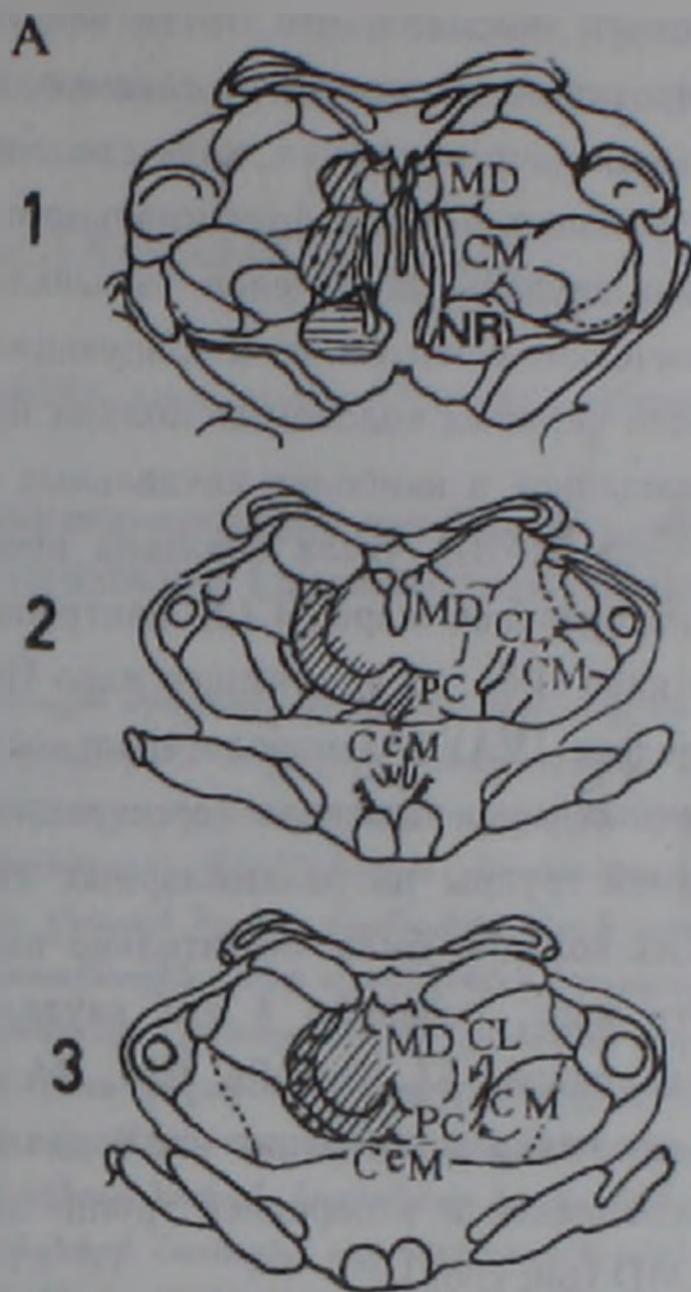
А. Б. Мелик-Мусян, академик НАН Армении В. В. Фанарджян

Особенности организации мозжечково-таламических проекций у кошки. Световая и электронная микроскопия

(Представлено 1/X 1997)

На протяжении всей эволюции позвоночных отмечается пропорциональный рост большого мозга и мозжечка. Развитие этих двух надсегментарных образований в филогенетическом ряду совершается параллельно и сопровождается совершенствованием сложных двигательных реакций⁽¹⁾. Главный вход из ядер мозжечка в моторную кору осуществляется через комплекс вентральное переднее - вендролатеральное ядра таламуса (VA-VL)^(2,3). Особенности нейронной организации этих образований подвергнуты достаточно подробному анализу^(4,5). Намного менее подробно исследованы проекции ядер мозжечка на интраламинарные ядра таламуса^(6,7). В то же время имеется большое число электрофизиологических данных, указывающих на вовлечение неспецифических ядер таламуса в регуляцию мозжечково-корковых отношений⁽⁸⁾. Настоящая работа посвящена морфологическому изучению проекции центральных ядер мозжечка главным образом на интраламинарную группу таламуса на уровне световой и электронной микроскопии.

Опыты выполнены на 20 взрослых кошках массой 2,5-3 кг под нембуталовым наркозом (55 мг/кг, внутривенно). Производилось одностороннее стереотаксическое разрушение ядер мозжечка⁽⁹⁾ посредством их электрокоагуляции. На 2-3, 5-7 день после операции под наркозом производили интракардиальную перфузию животных 10%-ным раствором нейтрального формалина. Использовалась техника серебряной импрегнации по Финк и Хаймеру⁽¹⁰⁾. Обработку материала для электронно-микроскопического исследования (2 кошки) при тех же условиях опыта проводили с помощью перфузии через сердце фиксирующей смеси, в состав которой входили 2,5% глутаральдегида и 0,5% параформальдегида, растворенных на 0,1 М фосфатном буфере с pH=7,4. Ультратонкие срезы после контрастирования исследовались на электронном микроскопе Hitachi. Общее увеличение на фотоотпечатках составляло 21000.



Проекция центральных ядер мозжечка кошки на таламус: А – схема фронтальных срезов (1-3) в rostro-каудальном направлении структур таламуса. Заштрихованы области терминальной дегенерации волокон; Б – схема фронтальных срезов центральных ядер мозжечка в каудо-ростральном направлении (сверху вниз). Справа заштрихованы зоны разрушения. Обозначения: F – фасцигальное ядро мозжечка, IP – заднее промежуточное ядро мозжечка, IA – переднее промежуточное ядро мозжечка, D – латеральное ядро мозжечка, C – каудальный конец, R – роstralный конец, MD – медиальное дорсальное ядро таламуса, CL – центральное латеральное ядро таламуса, CM – центр медианум, PC – парацентральное ядро таламуса, CeM – центральное срединное ядро таламуса, NR – красное ядро

Результаты наблюдений показали, что почти все интраламинарные ядра принимают участие в проекциях мозжечка на таламус. В последние вовлечен весь комплекс центральных ядер мозжечка, хотя степень их участия неодинакова. В отличие от ростральных отделов фасцигиального ядра, разрушение его центральных и особенно каудальных отделов вызывало в интраламинарных ядрах таламуса патологические сдвиги и дегенерирующие изменения от стадии набухания и варикозности нервных волокон до полной их фрагментации. Патологические сдвиги наблюдались в наиболее каудальных отделах, включающих медиальное дорсальное ядро (MD). Была показана проекция фасцигиального ядра на центральное латеральное ядро (CL), центральное медиальное ядро (Ст), парацентральное ядро (Рс), объединяющее ядро (Re), центрум медианум (СМ), вентральное переднее (VA) и вентролатеральное (VL) ядра (рисунок). Разрушение промежуточных ядер вызывало дегенерацию терминалей почти в тех же областях передней группы интраламинарных ядер. Плотность терминальных дегенерирующих волокон была значительно выше после разрушения заднего промежуточного ядра, особенно в его каудальных 2/3. Проекции промежуточных ядер охватывали CL, Ст, Re, СМ, VA и VL. После разрушения латерального ядра мозжечка дегенерация наблюдалась в интраламинарных ядрах, в вентральном комплексе и в передней группе ядер таламуса, охватывая VA, VL, CL, Ст и MD (рисунок).

Было показано, что из ядер передней группы интраламинарного комплекса CL участвует во всех проекциях мозжечка и подобно тому, как основным ядром от проекции мозжечка на вентральный таламус является VL, так и CL является обязательным при наличии патологических изменений в ядрах передней группы. Наибольшая плотность проецирующихся волокон для передней группы интраламинарных ядер наблюдается в CL, а для задней группы — в СМ. На основании полученных данных можно заключить, что центральные ядра мозжечка проецируются не только на вентральный комплекс таламических ядер, но также на переднюю группу, медиальную группу таламических ядер и на интраламинарные ядра (передний и задний отделы).

На уровне электронной микроскопии после коагуляции ядер мозжечка наблюдалась инвагинация ядерной оболочки. Хроматолиз больше выражался на периферии ядра. Ядрышко смещалось, занимая эксцентричное положение в ядре. Цитоплазма становилась более темной, электронно плотной, появлялись вакуоли. В синапсах аксо-дендритного типа, в пресинаптической части терминали наблюдалась агглютинация синаптических пузырьков и наступала дегенерация по так называемому "темному" типу. Однако отмечалось склеивание пузырьков, напоминающих пчелиные соты. Они оставались прозрачными, т.е. дегенерация приобретала характер процесса по типу "светлой". На более поздних сроках появлялись гранулы гликогена, далее образующие темные скопления. Описанные изменения, наступающие во всех интраламинарных

ядрах передней и задней группы, представляли существенное дополнение к результатам исследования мозжечково-таламических проекций при использовании световой микроскопии.

Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН Армении

Ա. Բ. ՍԵԼԻԲ-ՄՈՒՍՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս Վ. Բ. ՅԱՆԱՄՅԱՆ,

**Կառավի ուղեղիկ-տեսաթմբային պրոյեկցիաների կազմակերպման
ստանձնահատկությունները: Լույսային և էլեկտրոնային միկրոսկոպիա**

Լույսային և էլեկտրոնային միկրոսկոպիայի օգնությամբ հետազոտվել է կառավի թուլամուսի ինտրալամինար կորիզներում ուղեղիկի կենտրոնական կորիզների պրոյեկցիաները: Բացահայտվել է, որ համարյա բոլոր ինտրալամինար կորիզները մասնակցում են ուղեղիկի թալամուսային պրոյեկցիաներում: Վերջիններին մասնակցում է ուղեղիկի կենտրոնական կորիզների ողջ համալիրը, չնայած նրանց մասնակցության աստիճանը միանման չէ: Ինտրալամինար կորիզների առաջնային խմբի պրոյեկտիվոզ նյարդաթելերի ամենամեծ խտությունը նկատվում է թուլամուսի կենտրոնական յատերայ կորիզում, իսկ խմբի համար ցենտրում մեղիանումում: Ըստ էլեկտրոնային միկրոսկոպիայի տվյալների փոփոխությունները հայտնաբերվում են «մութ» և «լուսավոր» դեզեներացիայի ձևով: Եզրակացություն է արվում, որ ուղեղիկի կենտրոնական կորիզները նյարդաթելեր են ուղարկում ոչ միայն թալամուսի վենտրալ կորիզների համալիր, այլ նաև առաջնային, մեղիալ և ինտրալամինար խմբեր (առաջնային և հետին բաժիններ):

ЛИТЕРАТУРА – ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ *А.И.Карамян, Функциональная эволюция мозга позвоночных, Л., Наука, 1970*
- ² *G.I.Allen, N.Tsukahara, Physiol. Rev., v.54, p.957-1006 (1974).* ³ *Y.Shinoda, T.Futami, M.Kano, Neurosci. Res., v.2, p.157-180.* ⁴ *L.Rispal-Padel, C.Harnois, D.Troiani, Exp. Brain Res., v.68, p.47-58 (1987).* ⁵ *T.Yamamoto, Y.Kishimoto, H.Yoshikawa e.a., Exp. Brain Res., v.87, p.245-253 (1991).* ⁶ *R.L.Faull, J.Carman, J. Comp. Neurol., v.178, p.495-518 (1978).* ⁷ *A.G.Haroyan, L.C.Massopust, A.Young, J. Comp. Neurol., v.197, p.217-236 (1981).* ⁸ *В.В.Фанарджян, Регуляторные механизмы восходящего влияния мозжечка, Ереван, Изд. АН АрмССР, 1966.* ⁹ *R.S.Snider, W.T.Niemer, A stereotaxic atlas of the cat brain, Chicago, 1961.* ¹⁰ *R.Fink, L.Haimer, Brain Res., v.4, p.369-374 (1967).*