

Զ Ե Կ Ո Ւ Յ Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы.

Том 90 №1

1990

Խմբագրական կոլեգիա

Редакционная коллегия

Գ. Ա. ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. թեկնածու (պատ. ֆաբրիկա), Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Բ. ԲԱՐԱՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Հ. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ քղբ. առդամ, Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագրի տեղակալ), Վ. Գ. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ քղբ. առդամ, Գ. Ս. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Դ. Մ. ՍԵՂՈՒԿՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ քղբ. առդամ (պատ. խմբագիր), Մ. Լ. ՏԵՆԻՍԻՔԱՆԵԼՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Վ. Բ. ՑԱՆԱՐՁՅԱՆ, ՀԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս:

В. А. АМБАРЦУМЯН, академик, Г. А. АРЗУМАНЯН, канд. техн. наук (отв. секретарь), Э. Г. АФРИКЯН, академик АН АрмССР, А. Т. БАБАЯН, академик АН АрмССР, А. А. ГАБРИЕЛЯН, академик АН АрмССР, В. О. КАЗАРЯН, академик АН АрмССР (зам. отв. редактора), В. Г. МХИТАРЯН, чл.-корр. АН АрмССР, Г. С. СААКЯН, академик АН АрмССР, Д. М. СЕДРАКЯН, чл.-корр. АН АрмССР (отв. редактор), А. А. ТАЛАЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР, М. Л. ТЕР-МИКЕЛЯН, академик АН АрмССР, В. В. ФАНАРДЖЯН, академик АН АрмССР.

Ր Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

ՀԻՄՆՈՄԵՆԻԱՆԻԿԱ

Հ. Վ. Թումանյան—Ջրի տարածական կտրուկ փոփոխվող շարժումը ջրավազանում ջրհեռ և ջրընդունիչ կառուցվածքների տեղայնության դեպքում . . . 3

ԱՌԱՋԿԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Մ. Մխիթարյան, Մոհամեդ Աբդալա Ահմեդ Աբդու—Կառվածակա ինտեգրալ հավասարման լուծման տարրեր մեթոդների համեմատման մասին առաձգականության տեսության մեջ . . . 6

ՖԻԶԻԿԱ

Ա. Ա. Գասպարյան, Տ. Ա. Մուսկալանյան—Ջրայուն բյուրեղային գերհաղորդիչ թիթեղի վրա . . . 11

Ի. Բ. Հակոբյան, Ա. Ի. Հաբուսյունյան, Վ. Օ. Վարդանյան, Ա. Խ. Փիլոսյան, Ա. Պ. Վոլոդին, Ի. Վ. Ֆալկովսկի—Միկրոկոնտակտային սպեկտրոսկոպիան բարձրատիճանային գերհաղորդիչների թաղանթներում . . . 13

Է. Հ. Հաբուսյունյան, Ա. Խ. Գալոյան, Ա. Պ. Պողոսյան—Մակերևութամերձ ալիքատարային թիթեղների բեկման ցուցչի ճշգրիտ որոշումը . . . 16

Հ. Գ. Բախչյան, Մ. Գ. Իրիգորյան, Կ. Ս. Կաբալետյան—H₂O մոլեկուլի պտտողական ռեզոնանսային գծի ($\lambda = 1,35$ սմ) ճեղքումը մագնիսի ուժի ազդեցության տակ . . . 20

ՇՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍԵՐՎԱՆՏԻՆՆԵՐ

Յու. Ա. Գասպարյան, Ա. Ա. Մարգարյան, Բ. Յու. Գասպարյան—Ֆածր հաճախականության ռեզոնատորի իմպեդանսի որոշումը հաշվի առնելով ձայնադիտակային կորուստները . . . 23

Կ. Ա. Կաբալետյան—Միջավայրի տարրեր խոնավային պայմաններում բետոնի ամրության և դեֆորմացիաների հետազոտումը ժամանակի ընթացքում . . . 29

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

Գ. Բ. Բաբայան, Ի. Հ. Լեւազյան, Լ. Ա. Աբաբալետյան—Հողերում ծանր մետաղների և բորի ջրային միգրացիայի մասին . . . 34

ԻՆՎԱԳՈՐԾՈՒԹՅՈՒՆ

Է. Ա. Գաբրիելյան, Ս. Է. Ակոպով, Կ. Ա. Թումանյան—Ուղեղի արյան շրջանառության վրա β -ադրենոլիկատորների ներգործության հետազոտումը . . . 39

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ի. Ա. Հաբուսյունյան, Լ. Ա. Սահակովա, Գ. Ս. Սարգսյան, Զ. Կ. Խաչատրյան, Հ. Խ. Սահակյան, Փ. Ի. Հաբուսյունյան—Լեյցին-լեկեթային կենտրոնական և ծայրամասային ազդեցությունը օրգանիզմի չեղմային հոմեոստազի վրա . . . 45

СОДЕРЖАНИЕ

ГИДРОМЕХАНИКА

- О. В. Токмаджян—Пространственное резкоизменяющееся движение воды в водоеме при наличии водосбросного и водоприемного сооружений 3

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- С. М. Мхитарян, Мохамед Абдалла Ахмед Абду—О сравнении различных методов решения интегрального уравнения Карлемана, встречающегося в теории упругости 6

ФИЗИКА

- С. С. Гаспарян, М. А. Мнацаканян—Чувствительный болометр на сверхпроводящей пленке 11

- Р. Б. Акопян, С. Р. Арутюнян, В. О. Вартанян, С. Х. Пилосян, А. П. Володин, И. В. Фальковский—Микроконтактная спектроскопия на пленках высокотемпературных сверхпроводников 13

- Э. А. Арутюнян, С. Х. Галоян, С. П. Погосян—Прецизионное определение показателя преломления приповерхностных волноводных пленок 16

- Г. Г. Бахшян, М. Г. Григорян, К. Е. Карипетян—Расщепление вращательных резонансных линий ($\lambda \neq 1,35$ см) молекул H_2O под действием силы Магнуса 20

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Ю. А. Гаспарян, С. А. Маргарян, Б. Ю. Гаспарян—Определение импеданса низкочастотного резонатора с учетом акустических потерь 23

- К. С. Карапетян—О закономерностях изменения прочностных и деформационных свойств бетона во времени в условиях различной влажности среды 29

ЭКОЛОГИЯ

- Г. Б. Бабаян, Р. Г. Ревазян, Л. А. Араратян—О водной миграции тяжелых металлов и бора в почвах 34

ФАМАКОЛОГИЯ

- Э. С. Габриелян, С. Э. Акопов, К. С. Тумасян—Исследование влияния β -адреноблокаторов на мозговой кровоток 39

ФИЗИОЛОГИЯ

- Р. А. Арутюнян, Л. А. Саакова, Д. С. Саркисян, Дж. К. Хачатрян, Г. Х. Саакян, К. Р. Арутюнян—Центральное и периферическое влияние лейцина-энкефалина на температурный гомеостаз организма 45

CONTENTS

HYDROMECHANICS

- H. V. Toczajian*—Spacious abrupt-changed flow in reservoir with spill and water-reception construction 3

THEORY OF ELASTICITY

- S. M. Mhiktarjan, Mohamed Abil Alla Ahmed Abdou*—On comparison of different methods of solving of integral equation of plane contact problem of theory of elasticity 6

PHYSICS

- S. S. Gasparian, T. A. Mnatsakanian*—High sensitive bolometer on YBaCuO superconductive film 11
- R. B. Akopian, S. R. Arutunian, V. O. Vartanian, S. Kh. Pilosian, A. P. Volodin, I. V. Falkovski*—Microcontact spectroscopy of high temperature superconductive films. 13
- E. A. Arutunian, S. Kh. Galoyan, S. P. Pogosian*—Exact determination of surface bound waveguide films. 16
- G. G. Bugshian, M. G. Grigorjan, K. E. Karapetian*—Rotational resonance line ($\lambda = 1.35$ cm) splitting for H_2O molecules under the Magnus force 20

BUILDING CONSTRUCTIONS

- J. A. Gasparian, S. A. Marcarian, B. J. Gasparian*—Determination of the impedance of low frequencies resonators with the calculation of acoustical losses 23
- K. S. Karapetian*—About the regularity of changes of firmness and deformative qualities of concrete in different conditions of environmental humidity 29

ECOLOGY

- G. B. Babayan, R. H. Revazian, L. A. Araratian*—On water migration of heavy metals and boron in soils 34

PHARMACOLOGY

- E. S. Gabrielian, S. E. Akopov, K. S. Tumasian*—The investigation of the influence of β -adrenoblockaders on the brain blood flow 39

PHYSIOLOGY

- R. A. Harutunian, L. A. Sahukova, D. S. Sargsian, D. K. Khachatryan, H. Kh. Sahakian, K. R. Harutunian*—The central and periphtric influence of leucin-encephalin on the temperature homeostase of the organism 45

Техн. редактор Азизбеян Л. А.

Сдано в набор 12.12.89. Подписано к печати 15.03.90. ВФ 03470.

Формат 70×108^{1/16}. Бумага № 1. сыктывкарская. Высокая печать. Печ. лист 3.0.

Усл. печ. л. 4.2. Усл. кр. отт. 4.2. Учет.-изд. л. 3.25. Тираж 510. Заказ № 1753

Издат. № 7730. Цена 55 к.

Адр. ред.: 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24-г., II эт., к. 1, т. 27-92-38

Издательство Академии наук Армянской ССР. 375019, Ереван,
пр. Маршала Баграмяна, 24-г.

Типография Издательства Академии наук АрмССР, 378310, г. Эчмиадзин

ISSN C321—1339. Доклады Академии наук Армянской ССР. 1990. Т. 90. № 1. 1—48

УДК 532.543.627

ГИДРОМЕХАНИКА

О. В. Токмаджян

Пространственное резкоизменяющееся движение воды в водоеме при наличии водосбросного и водоприемного сооружений

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. А. Мовсисяном 9/VI 1989)

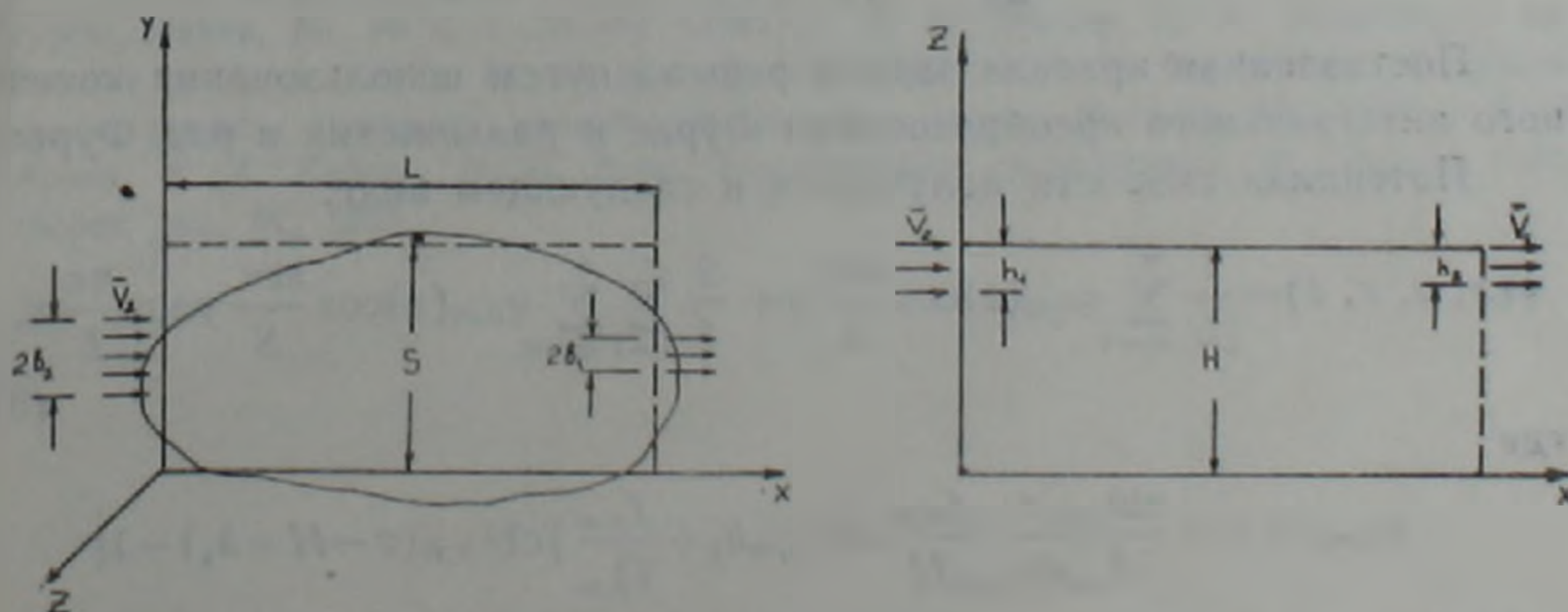
Как известно (¹⁻²), в системе математических моделей для расчета параметров кинематики водоема трехмерные модели наиболее полно описывают кинематическую картину движения воды. Они представляются наиболее важными с точки зрения изучения сложных пространственных, резкоизменяющихся движений, возникающих в водоемах произвольной формы под воздействием различных механических факторов, таких как ветер, проточность, водозабор, водосброс и др.

В настоящее время существует несколько методик и программ расчета пространственных движений (¹⁻²). Все они основываются на численном интегрировании соответствующих краевых задач. Алгоритмы и программы этих расчетов довольно сложны и не получили широкого применения. Это обусловлено прежде всего тем, что для них не существует соответствующих тестовых задач и достоверность полученных результатов вызывает сомнение.

В данной статье дается методика аналитического решения резкоизменяющихся пространственных задач движения воды в водоеме, схематизированном в виде прямоугольного параллелепипеда.

Предположим, что часть пространства, ограниченного условиями $0 \leq x \leq L$, $0 \leq y \leq S$, $0 \leq z \leq H$, представляет схематизированное водохранилище в виде прямоугольного параллелепипеда (L — длина, S — ширина, H — глубина) (рисунок).

Рассмотрим движение воды в водоеме, имеющем на береговом участке $x = L$; $y_2 - b_2 \leq y \leq y_2 + b_2$ поверхностный водоприемник (ско-



Математическая модель водоема

рость поступления воды v_1), а на участке $x=0$; $y_1-b_1 < y < y_1+b_1$, $H-h_1 \leq z \leq H$ — поверхностный водосброс (скорость в водосбросе v_1) (рисунок).

Считая, что движение воды в водоеме представляется безвихревым (потенциальным) и силы вязкого трения пренебрежительно малы (как это принимается при движении воды в больших объемах), можно принять приближение, принимаемое для исследования кинематики идеальной несжимаемой жидкости (^{3, 4}).

Потенциал скорости должен удовлетворять дифференциальному уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

и следующим начальным и граничным условиям:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right|_{x=0} = U_1(y, z, t), \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right|_{x=L} = U_2(y, z, t) \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right|_{y=S} = 0 \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right|_{z=H} = \frac{dH}{dt} \quad (4)$$

где

$$U_1(y, z, t) = \begin{cases} v_1 & \text{при } (y_1-b_1 \leq y \leq y_1+b_1) \cap (H-h_1 \leq z \leq H) \\ 0 & \text{при } (y \leq y_1-b_1 \cup y \geq y_1+b_1) \cup (z \leq H-h_1) \end{cases} \quad (5)$$

$$U_2(y, z, t) = \begin{cases} v_2 & \text{при } (y_2-b_2 \leq y \leq y_2+b_2) \cap (H-h_2 \leq z \leq H) \\ 0 & \text{при } (y \leq y_2-b_2 \cup y \geq y_2+b_2) \cup (z < H-h_2) \end{cases} \quad (6)$$

Из граничных условий (4) вытекает, что на свободной поверхности волны не учитываются, и считается, что в каждый момент времени свободная поверхность является горизонтальной, кроме того должно выполняться условие

$$2b_2h_2v_2 - 2b_1h_1v_1 = SL \frac{dH}{dt}, \quad (7)$$

т. е.
$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{SL} (2b_2h_2v_2 - 2b_1h_1v_1).$$

Поставленная краевая задача решена путем использования конечного интегрального преобразования Фурье и разложения в ряд Фурье.

Потенциал скорости получается в следующем виде:

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{1}{L} \sum_{m=1}^{\infty} \varphi_{0,m}(z) \cos \frac{m\pi}{S} y + \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \varphi_{n,m}(z) \cos \frac{m\pi}{S} y \cos \frac{n\pi}{L} x, \quad (8)$$

где

$$\varphi_{n,m}(z) = - \frac{\text{ch} \lambda_{n,m} z \cdot f_{1,m}}{\lambda_{n,m}^2 \text{sh} \lambda_{n,m} H} \text{sh} \lambda_{n,m} h_1 + \frac{f_{n,m}}{\lambda_{n,m}^2} [\text{ch} \lambda_{n,m} (z-H+h_1) - 1]$$

при $H-h_1 \leq z \leq H$;

$$\varphi_{n,m}(z) = - \frac{\operatorname{ch} \lambda_{n,m} z \cdot \operatorname{sh} \lambda_{n,m} h_1}{\lambda_{n,m}^2 \operatorname{sh} \lambda_{n,m} \cdot H}, \quad a_n = \frac{n\pi}{L}, \quad a_m = \frac{m\pi}{S},$$

$$\lambda_{n,m} = \sqrt{a_n^2 + a_m^2}$$

при $0 \leq z \leq H - h_1$

$$f_{n,m} = \frac{U}{S a_m} [v_2 \cos a_m y_2 \cdot \sin a_m h_2 - (-1)^n v_1 \cos a_m y_1 \cdot \sin a_m h_1],$$

$$f_{n,c} = \frac{2}{S} (v_2 b_2 - (-1)^n v_1 b_1).$$

Поле скоростей определяется с помощью следующего выражения:

$$\vec{V} = \operatorname{grad} \varphi(x, y, z, t). \quad (9)$$

Гидравлическое давление можно определить с помощью уравнения Коши (4), которое имеет следующий вид:

$$\rho + \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \rho g z + \frac{\rho v^2}{2} = f(t), \quad (10)$$

где $f(t)$ произвольная функция.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

2. Վ. ԹՈՔԻՐԱԶՅԱՆ

Ձրի տաքածական, կտրուկ փոփոխվող շարժումը ջրավազանում ջրհեռ և ջրընդունիչ կառուցվածքների առկայության դեպքում

Ստացված է մեծ ջրավազաններում շարժվող հեղուկի տաքածական կտրուկ փոփոխության անալիտիկ լուծումը ջրընդունիչ և ջրհեռ կառույցների առկայության դեպքում:

Հստ ստացված հալմասարման կարելի է որոշել արագության հիդրոդինամիկ ճնշման դաշտերը և հոսանքի գծերը:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ З. Н. Добровольская, Г. П. Епихов, П. П. Коряков и др., в кн.: Водные ресурсы, Наука, М., № 3, с. 35—51 (1981). ² В. М. Лятхер, А. Н. Милитеев, в кн.: Водные ресурсы, Наука, М., № 3, с. 60—79 (1981). ³ Б. М. Чиквашвили, Гидравлические расчеты напорных водосбросов высоких плотин, Энергия, М., 1972. ⁴ Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе, Теоретическая гидротехника, М., Изд-во техн. теорет. лнт., М., 1955.

УДК 529.3.01

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

С. М. Мхитарян, Мохамед Абдалла Ахмед Абду

О сравнении различных методов решения интегрального уравнения Карлемана, встречающегося в теории упругости

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Б. Л. Абрамяном 31/VIII 1989)

В работе (1) приведены разные по своим аналитическим структурам формулы решения интегрального уравнения Карлемана, которые получены методом М. Г. Крейна, методом сингулярных интегральных уравнений и методом ортогональных многочленов Гегенбауэра. Там же было показано, что формулы решения по последним двум методам переходят одна в другую. В настоящей статье, продолжая рассмотрение поставленного вопроса об идентичности всех трех решений, показывается, что исходя из формул решения М. Г. Крейна также можно получить формулу решения по методу ортогональных многочленов Гегенбауэра.

1. Обращаясь к первой из формул (1.3) из (1), дающей решение уравнения Карлемана при четной правой части $f_+(t)$, в ней положим $n=1$. Кроме того, в ней положим $f_+(t) = C_{2n}^{h/2}(t)$ ($n=0, 1, 2, \dots$), где $C_n^h(t)$ — многочлены Гегенбауэра, и вычислим появившиеся при этом интегралы.

Сначала вычислим интеграл

$$I_n(\xi) = \int_0^1 C_{2n}^{h/2}(s) (\xi^2 - s^2)^{(n-1)/2} ds \quad (n=0, 1, 2, \dots, 0 < \xi < 1).$$

С этой целью в нем положим $s = \xi u$ и воспользуемся формулой 7.319.1 ((2), с. 814). В результате простых преобразований получим ($n=0, 1, 2, \dots, 0 < \xi < 1$)

$$I_n(\xi) = (-1)^n \frac{\sqrt{\pi} \Gamma(n + h/2) \Gamma[(1+h)/2]}{h \Gamma^2(h/2) n! \xi^{-n}} F\left(-n, n + \frac{h}{2}; 1 + \frac{h}{2}; \xi^2\right),$$

где $\Gamma(x)$ — гамма-функция Эйлера, а $F(a, b, c, x)$ — гипергеометрическая функция Гаусса. Затем учтем зависимость между многочленами Якоби $P_n^{(a,b)}(x)$ и гипергеометрической функцией ((3), с. 172, ф.(16).1), что окончательно даст ($0 < \xi < 1$)

$$I_n(\xi) = \frac{\sqrt{\pi} \Gamma[(1+h)/2]}{(2n+h) \Gamma(h/2)} \xi^n P_n^{(-1, h/2)}(2\xi^2 - 1) \quad (n=0, 1, 2, \dots).$$

Далее, применяя правило дифференцирования многочленов Якоби, находим

$$I_n^{(1)}(\xi) = \xi^{1-h} \frac{dI_n}{d\xi} = C_n [h P_{n-1}^{(-1, h/2)}(2\xi^2 - 1) + (2n+h)\xi^2 P_{n-1}^{(0, 1+h/2)}(2\xi^2 - 1)]; \quad C_n = \frac{\sqrt{\pi} \Gamma[(1+h)/2]}{(2n+h)\Gamma(h/2)}; \quad (1.1)$$

$$I_n^{(2)}(\xi) = \frac{dI_n^{(1)}}{d\xi} = C_n [(2n+h)(h+2)\xi P_{n-1}^{(0, 1+h/2)}(2\xi^2 - 1) + (2n+h)(2n+h+2)\xi^3 P_{n-2}^{(1, 2+h/2)}(2\xi^2 - 1)] \quad (0 < \xi < 1, \quad n=0, 1, 2, \dots).$$

Теперь, в соответствии с формулой (1.3) из (1) и (1.1) после некоторых преобразований можем записать

$$A_n(t) = \int_t^1 I_n^{(2)}(\xi) (\xi^2 - t^2)^{(h-1)/2} d\xi = C_n (2n+h) 2^{-(h+3)/2} [(h+2)H_n(u) + (n+1+h/2)G_n(u) + (n+1+h/2)K_n(u)] \quad (n=0, 1, 2, \dots, \quad 0 < t < 1) \quad (1.2)$$

$$H_n(u) = \int_u^1 P_{n-1}^{(0, 1+h/2)}(v) (v-u)^{(h-1)/2} dv; \quad G_n(u) = \int_u^1 P_{n-2}^{(1, 2+h/2)}(v) (v-u)^{(h-1)/2} dv; \quad K_n(u) = \int_u^1 v P_{n-2}^{(1, 2+h/2)}(v) (v-u)^{(h-1)/2} dv. \\ (2\xi^2 - 1 = v; \quad 2t^2 - 1 = u)$$

Здесь и везде $P_n^{(r, s)}(t) \equiv 0$, если $n = -1, -2, \dots$

Последовательно вычислим входящие в (1.2) интегралы.

В интеграле для $H_n(u)$, перейдя к переменной $v = 1 - (1-u)\tau$ ($0 \leq \tau \leq 1$), будем иметь

$$H_n(u) = (1-u)^{(h+1)/2} \int_0^1 (1-\tau)^{(h-1)/2} P_{n-1}^{(0, 1+h/2)}[1 - (1-u)\tau] d\tau.$$

Последний интеграл можно вычислить при помощи формулы 7.392.1 ((²), с. 856), положив в ней $\lambda = 1$, $\mu = (h+1)/2$, $\alpha = 0$, $\beta = 1 + h/2$, $\gamma = 1 - u$; $n \rightarrow n-1$. После несложных выкладок при помощи зависимости между многочленами Якоби и гипергеометрической функцией ((²), с. 172, ф. (16).1) получим ($n=0, 1, 2, \dots$)

$$H_n(u) = 2(1-u)^{(h+1)/2} \frac{\Gamma((h+3)/2) \Gamma(n)}{(1+h)\Gamma[n + (h+1)/2]} P_{n-1}^{((h+1)/2, 1/2)}(u), \quad (u = 2t^2 - 1). \quad (1.3)$$

Обращаясь к вычислению $G_n(u)$, в нем также перейдем к тем же переменным v, τ и опять воспользуемся упомянутой формулой из (²). В результате

$$G_n(u) = 2(1-u)^{(h+1)/2} \frac{n-1}{h+1} {}_3F_2\left(-n+2, n+2 + \frac{h}{2}, 1; 2, \frac{h+3}{2}; \frac{1-u}{2}\right).$$

где ${}_3F_2(z_1, z_2, z_3; \beta_1, \beta_2, z)$ — обобщенный гипергеометрический ряд ⁽⁴⁾.
Если положить

$$h_n(z) = z {}_3F_2\left(-n+2, n+2+\frac{h}{2}, 1; 2, \frac{h+3}{2}, z\right) \quad (z = (1-u)/2),$$

то легко показать, что

$$\begin{aligned} \frac{dh_n}{dz} &= F\left(-n+2, n+2+\frac{h}{2}; \frac{h+3}{2}, z\right) = \\ &= \Gamma[(h+3)/2] \Gamma(n-1) \{\Gamma[n+(h-1)/2]\}^{-1} P_{n-2}^{((h+1)/2, 5/2)}(u). \end{aligned}$$

Далее, применяя формулу (17) из ⁽³⁾, с. 172), получим

$$h_n(z) = -\frac{2\Gamma[(h+3)/2] \Gamma(n-1)}{(2n+h+2)\Gamma[n+(h-1)/2]} P_{n-1}^{((h-1)/2, 3/2)}(1-2z) + C.$$

Так как $h_n(0)=0$ и $P_n^{(\alpha, \beta)}(1) = \Gamma(n+\alpha+1)/[n!\Gamma(\alpha+1)]^{-1}$, то $C = (h+1)/(n-1)(2n+h+2)$. Следовательно, окончательно будем иметь ($u = 2t^2-1$, $n=0, 1, 2, \dots$)

$$G_n(u) = \frac{4(1-u)^{(h-1)/2}}{2n+h+2} \left[1 - \frac{2\Gamma[(h+3)/2] \Gamma(n)}{(h+1)\Gamma[n+(h-1)/2]} P_{n-1}^{((h-1)/2, 3/2)}(u) \right]. \quad (1.4)$$

Совершенно аналогичным способом получим, что

$$\begin{aligned} K_n(u) &= -\frac{8\Gamma[(h+5)/2] \Gamma(n)(1-u)^{(h+1)/2}}{(2n+h+2)(h+3)\Gamma[n+(h+1)/2]} P_{n-1}^{((h-1)/2, 1/2)}(u) - \\ &= -\frac{8\Gamma[(h+3)/2] \Gamma(n)(1-u)^{(h-1)/2}}{(2n+h+2)(h+1)\Gamma[n+(h-1)/2]} u F_{n-1}^{((h-1)/2, 3/2)}(u) + \\ &+ 4(1-u)^{(h-1)/2} (2n+h+2)^{-1} \quad (u = 2t^2-1, n=0, 1, 2, \dots). \end{aligned} \quad (1.5)$$

Теперь подставляя выражения $H_n(u)$, $G_n(u)$ и $K_n(u)$ из (1.3) — (1.5) в (1.2) и проделывая простые преобразования, придем к следующему соотношению:

$$\begin{aligned} A_n(t) &= 2^{-(h+3)/2} C_n(2n+h)(1-u)^{(h-1)/2} \left\{ \frac{\Gamma[(h+1)/2] \Gamma(n)}{\Gamma[n+(h-1)/2]} L_n(u) + \right. \\ &+ 4 \left. \right\}; \quad L_n(u) = 2 \left[\frac{1-u}{2n+h-1} P_{n-1}^{((h+1)/2, 1/2)}(u) - (1+u) P_{n-1}^{((h-1)/2, 3/2)}(u) \right] \quad (1.6) \\ &(u = 2t^2-1, n=0, 1, 2, \dots). \end{aligned}$$

Выражение $L_n(u)$ из (1.6) преобразуем дальше, для чего заметим, что

$$P_{n-1}^{((h+1)/2, 1/2)}(u) = \frac{4}{2n+h} \frac{d}{du} \left[P_n^{((h-1)/2, -1/2)}(u) \right].$$

С другой стороны, из формулы (21) ⁽³⁾, с. 177) легко вывести, что

$$P_n^{((h-1)/2, -1/2)}(u) = \frac{\Gamma(n+1/2)\Gamma(h/2)}{\sqrt{\pi}\Gamma(n+h/2)} C_{2n}^{h/2}(t) \quad (u = 2t^2-1, n=0, 1, 2, \dots).$$

Таким же способом преобразуется второй член в выражении $L_n(u)$. В результате будем иметь ($n=0, 1, 2, \dots$)

$$L_n(u) = - \frac{4n(h-2)\Gamma(n+1/2)\Gamma(h/2-1)}{\Gamma(n+h/2)(2n+h-1)\sqrt{\pi}} C_{2n}^{h/2}(t) \quad (u = 2t^2 - 1). \quad (1.7)$$

Далее подстановка (1.7) в (1.6) окончательно даст

$$A_n(t) = \frac{\sqrt{\pi}\Gamma[(h+1)/2]}{2\Gamma(h/2)} (1-t^2)^{h-1/2} \left\{ 2 - \frac{(h-2)n!\Gamma(n+1/2)\Gamma[(h+1)/2]\Gamma(h/2-1)}{\Gamma(n+h/2)\Gamma[n+(h+1)/2]\sqrt{\pi}} C_{2n}^{h/2}(t) \right\} \quad (n=0, 1, 2, \dots, 0 < t < 1).$$

Остается вычислить $I_n^{(1)}(1) = (dI_n/dz)_{z=1}$ из (1.1). Эти простые вычисления дают

$$I_n^{(1)}(1) = \sqrt{\pi}\Gamma[(h+1)/2]/\Gamma(h/2). \quad (1.9)$$

Теперь сопоставление (1.8) — (1.9) с формулой (1.3) из (1) приводит к следующему выражению для $\varphi_+(t)$:

$$\varphi_+(t) = \frac{\Gamma(h)(2n)!\cos(\pi h/2)}{\pi\Gamma(2n+h)} C_{2n}^{h/2}(t) \quad (n=0, 1, \dots, 0 < t < 1),$$

которое эквивалентно спектральным соотношениям

$$\int_{-1}^1 \frac{C_{2n}^{h/2}(s)ds}{|t-s|^h(1-s^2)^{(1-h)/2}} = i_{2n} C_{2n}^{h/2}(t) \quad (n=0, 1, 2, \dots, 0 < t < 1), \quad (1.10)$$

совпадающим с приведенными в (1) (ф. (1.7)) при четных индексах ($n \rightarrow 2n$).

Обращаясь к формуле (1.4) из (1), дающей решение уравнения Карлемана при нечетной правой части $f_-(t)$, в ней опять положим $a=1$. Кроме того, положим $f_-(t) = C_{2n-1}^{h/2}(t)$ ($n=1, 2, \dots$). Совершенно аналогичным путем, как выше, покажем, что имеют место спектральные соотношения

$$\int_{-1}^1 \frac{C_{2n-1}^{h/2}(s)ds}{|t-s|^h(1-s^2)^{(1-h)/2}} = i_{2n-1} C_{2n-1}^{h/2}(t) \quad (n=1, 2, \dots, 0 < t < 1); \quad (1.11)$$

формулы (1.10) — (1.11) полностью исчерпывают спектральные соотношения (1.7) из (1).

Таким образом, исходя из формул решения М. Г. Крейна (1.3) — (1.4), приведенных в (1) и дающих решение интегрального уравнения Карлемана (0.1) из (1), можно получить спектральные соотношения (1.7), также приведенные в работе (1).

2. Теперь, как в (1), положим

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n C_n^{h/2}(t) \quad (|t| < 1).$$

Тогда на основании изложенных выше результатов упомянутые формулы М. Г. Крейна приводят к следующей формуле решения уравнения Карлемана:

$$\varphi(t) = (1-t^2)^{(h-1)/2} \sum_{n=0}^{\infty} a_n t_n^{-1} C_n^{h/2}(t) \quad (|t| < 1),$$

что и требовалось показать.

Институт механики Академии наук Армянской ССР
Ереванский государственный университет

Ս. Մ. ՄԽԻՏԱՐՅԱՆ, ՄՈՆԱՄԵՆ ԲԵՒՄԵՆ ԲԵՐԵՆԻ ԱՐԴՈՒՆ

Կաուլեմանի ինտեգրալ հավասարման լուծման տարբեր մեթոդների
համեմատման մասին առաձգականության տեսության մեջ

Ներկա աշխատանքում, որը նախորդ աշխատանքի շարունակությունն է, Կաուլեմանի ինտեգրալ հավասարման լուծման բանաձևը՝ արտահայտված Մ. Գ. Կրեյնի մեթոդով ինտեգրալների միջոցով, ձևափոխվում է նույն հավասարման լուծման բանաձևին՝ արտահայտված Գեգենբաուերի օրթոգոնալ բազմանդամների մեթոդով, անվերջ շարքի միջոցով։ Այդ նպատակով օգտագործվում են Կաուլեմանի հավասարման լուծման բանաձևերը Մ. Գ. Կրեյնի մեթոդով, երբ հավասարման աջ մասը ղույգ կամ կենտ ինդեքսներով Գեգենբաուերի բազմանդամներ են։ Արդյունքում ստացվում է, որ ելնելով Մ. Գ. Կրեյնի բանաձևերից կարելի է ստանալ Գեգենբաուերի բազմանդամներ պարունակող հայտնի սպեկտրայի առնչությունները, որոնց օգնությամբ էլ ցույց է տրվում նշված բանաձևերի մեկից մյուսին անցումը։

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ С. М. Мхитарян, Мохамед Абдалла Ахмед Абду, ДАН АрмССР, т. 89, № 3, (1989). ² И. С. Градштейн, И. М. Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, Наука, М., 1971. ³ Г. Бейтмен, А. Эрдейи, Высшие трансцендентные функции. Т. 2, Наука, М., 1974. ⁴ Г. Бейтмен, А. Эрдейи, Высшие трансцендентные функции. Т. 1, Наука, М., 1973.

УДК 537.312.62.621

ФИЗИКА

С. С. Гаспарян, Г. А. Мнацаканян

Чувствительный болометр на сверхпроводящей пленке

(Представлено академиком АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 13/IX 1989)

Открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) стимулировало интерес к исследованию болометров, использующих резкую зависимость сопротивления сверхпроводников от температуры, на технически легко осуществимом азотном уровне охлаждения (¹⁻³). В то же время активная работа в области ВТСП материаловедения и технологии приводит к созданию материалов с новыми характеристиками. В данном сообщении приведены некоторые результаты исследования болометрических свойств пленок из ВТСП, полученных методом лазерного напыления (⁴). Чувствительный элемент создавался вклеиванием ВТСП пленки с подложкой из фиаанита размером $1,5 \times 1,5$ мм² в корпус интегральной микросхемы типа 402.16—1. Пленка соединялась с четырьмя выводными контактами корпуса при помощи проволоки диаметром порядка 30 мкм из Аи методом термокомпрессии.

Чувствительный элемент помещался в термостатируемый объем внутри сосуда Дьюара с жидким азотом с возможностью поддержания температуры дна корпуса микросхемы в диапазоне 80÷100 К с точностью 0,01 К при помощи специального стенда, управляемого ЭВМ. Контроль зависимости сопротивления ВТСП от температуры проводили стандартным четырехконтактным методом. В то же время измерение чувствительности болометра проводилось в мостовой схеме с целью компенсации постоянной составляющей сигнала из-за транспортного тока. Измерительный стенд включал также источник излучения (ЛГ—75—1), оптический attenuator, модулятор потока излучения, прибор задания транспортного тока. Мощность оптического излучения на $\lambda = 0,63$ мкм не превышала 1 мВт. Транспортный ток достигал 10 мА.

Чувствительность болометра выражается зависимостью (⁵):

$$S_u(\nu) = \frac{\alpha I_0 R_0 \Delta T}{P} = \frac{I_0 \Delta R}{P},$$

где $\alpha = \frac{1}{R_0} \frac{\Delta R_0}{\Delta T_0}$, α — крутизна характеристики $R(T)$; I_0 — транспортный ток; R_0 и T_0 — сопротивление и температура болометра в рабочей точке; P — подводимая оптическая мощность; ΔR — изменение сопротивления ВТСП на единицу подводимой оптической мощности.

Исходя из измеренного методом замещения в мостовой схеме значения $\Delta R/P \approx 10^6$ Ом/Вт и транспортного тока $I = 10$ мА, оценка зна-

чения чувствительности $S(\lambda) \approx 10^3$ В/Вт, что существенно лучше, чем известные из литературы ($1-3$) для приборов на ВТСП.

В заключение авторы выражают благодарность А. В. Мелкумову, Н. В. Мелкумовой и Н. Л. Арутюновой за помощь в подготовке и проведении экспериментов, а также Р. Б. Акспяну за предоставление ВТСП пленок.

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Ս. Ս. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Տ. Ա. ՄԱՅԱԿՅԱՆՅԱՆ

Ձգայուն բոլոմետր գերհաղորդիչ թիթեղի վրա

Հոդվածում նկարագրված է գերհաղորդիչ $YBaCuO$ թիթեղի վրա մշակված բոլոմետրի զգայունությունը ազոտային ջերմաստիճանում սառեցման ժամանակ: Փորձնական արդյունքները ցույց են տալիս, որ $1,5 \times 1,5$ մմ² զգայուն մակերես ունեցող սարքը $\lambda = 0,63$ մկմ ալիքի երկարության վրա զարգացնում է 10^3 վճիռ զգայնություն:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ В. Н. Алфеев, А. С. Александров, Н. С. Глухов и др., Письма в ЖТФ, т. 14, вып. 14 (1988) ² С. В. Гапонов, М. Л. Калягин, Л. В. Малышев и др., Письма в ЖТФ, т. 14, вып. 2С (1988) ³ А. Ф. Ткаченко, И. А. Хребтов, Тезисы докл. VI Всесоюз. семинара по тепловым приемникам излучения, М., 1988 ⁴ П. В. Абрамян, А. В. Геворкян, Б. А. Глушко и др., Тезисы VII Всесоюз. конф. по росту кристаллов. Симпозиум по молекулярно-лучевой эпитаксии, М., 1988. ⁵ В. Н. Алфеев, Ю. И. Крохин, Е. В. Соколова и др., Сб. докл. и тезисов I Всесоюз. семинара «Сверхматрица», М., 1988.

УДК 539.292

ФИЗИКА

Р. Б. Акопян, С. Р. Арутюнян, В. О. Вартанян, С. Х. Пилосян,
 А. П. Володин, И. В. Фальковский

Микроконтактная спектроскопия на пленках высокотемпературных сверхпроводников

(Представлено академиком АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 1/Х 1989)

Микроконтактная (МК) спектроскопия является важным инструментом в исследовании природы сверхпроводимости. В настоящее время выполнен большой ряд экспериментов по МК спектроскопии на различных типах высокотемпературных сверхпроводников с применением различных электродов (игл), сендвичеобразных структур, так называемых «break junction», сканирующего туннельного микроскопа (¹⁻⁶).

В данной работе проведено измерение МК туннельного спектра ВТСП пленок на основе $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$. Пленка системы $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ получена методом лазерного распыления сверхпроводящей керамики, с последующим отжигом при 800—850°C на воздухе в течение одного часа (⁷). Высокотемпературная выдержка сменялась охлаждением до комнатной температуры с задержкой на время около одного часа при температуре 450—500°C. Пленка системы $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$ получена методом катодного распыления, с последующим обжигом на воздухе при температуре 700—750°C. Обе пленки напылялись на подложку из ZrO_2 и имели толщину ~ 1 мкм. Пленки однородны, имеют зеркальный блеск и критические значения плотности токов 10^5 А/см² для $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и 10^3 А/см² для $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$ при 77 К. На рис. 1

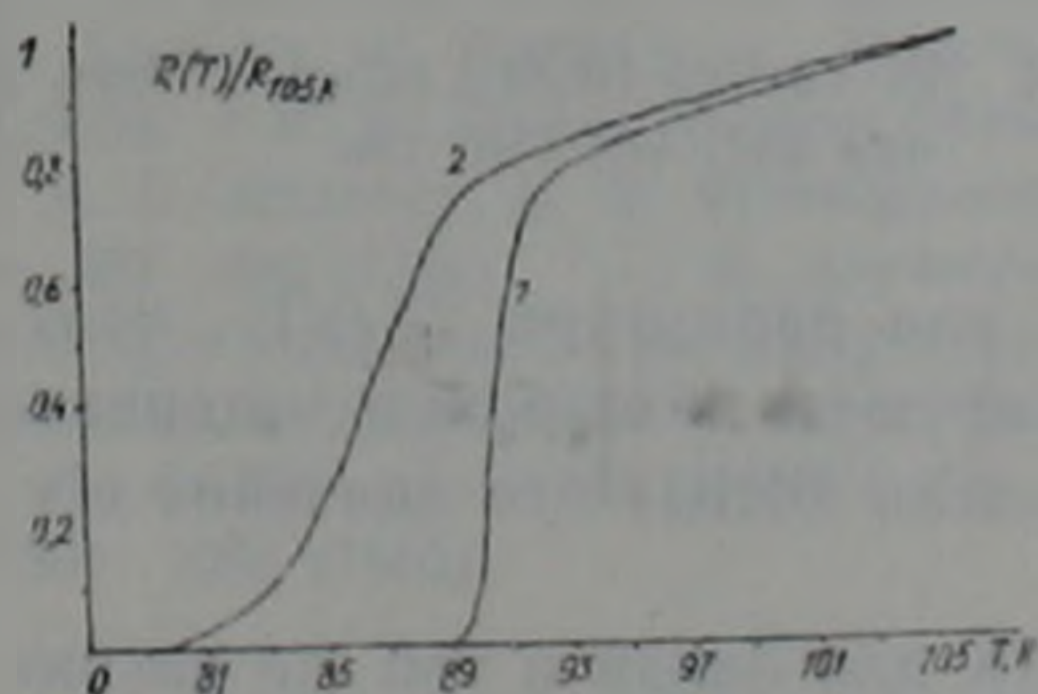


Рис. 1. Зависимости $R(T)/R_{105K}$ для $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (1) и $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$ (2) пленок

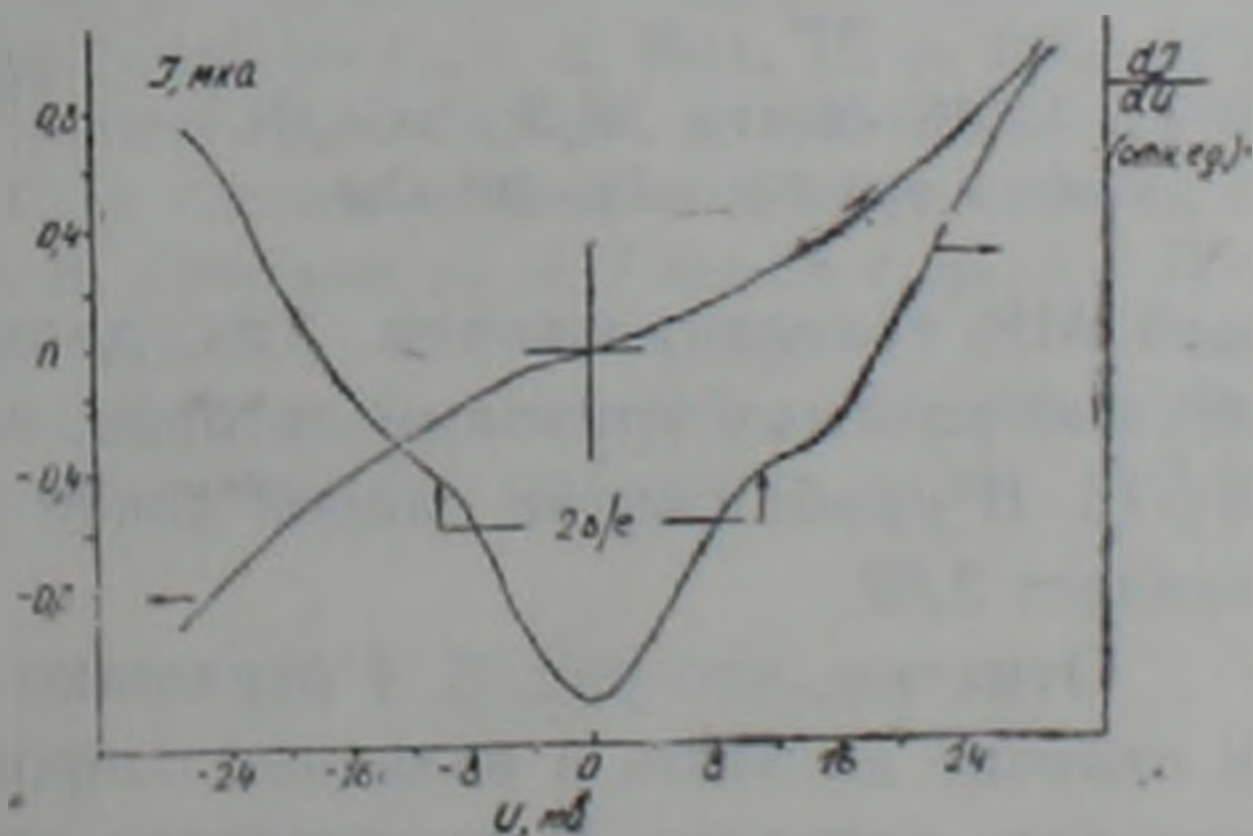


Рис. 2. МК спектр $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ пленки

приведены зависимости относительного изменения сопротивления этих пленок от температуры, измеренные обычным четырехзондовым методом. Сверхпроводящий переход лежит в областях 88—92 К для $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и 79—92 К для $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$.

МК туннельные спектры имеющихся у нас образцов снимались с использованием стандартной методики измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) и их производных (^{8,9}). В качестве микроконтактного электрода служила игла из бронзы. Измерения проводились при температуре жидкого гелия 4,2 К. На рис. 2—4 приведены результаты измерений ВАХ для наших образцов. На кривых зависимости дифференциальной проводимости от напряжения около центрального минимума четко проявляются два максимума, располагающихся на расстояниях 10 ± 1 мВ для иттриевой и $13 \pm 1, 16 \pm 1$ мВ для висмутовой систем. Появление этих максимумов интерпретируется как наличие щелевых особенностей в стандартной модели туннелирования в системе сверхпроводник—изолятор—металл. Полученные величины для щели: $2\Delta = 20 \pm 2$ мэВ для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и $2\Delta = 23 \pm 2, 2\Delta = 32 \pm 2$ мэВ для $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$. Оценки отношения $2\Delta/kT_c$, сделанные из этих величин, дают значения $2,6 \pm 10\%$ ($T_c = 90\text{K}$) и $3,6 \pm 8, 4,4 \pm 7\%$ ($T_c = 85\text{K}$) для иттриевой и висмутовой пленки соответственно.

В настоящее время, по данным из литературы, существует значительная неопределенность в величине энергетической щели, определяе-

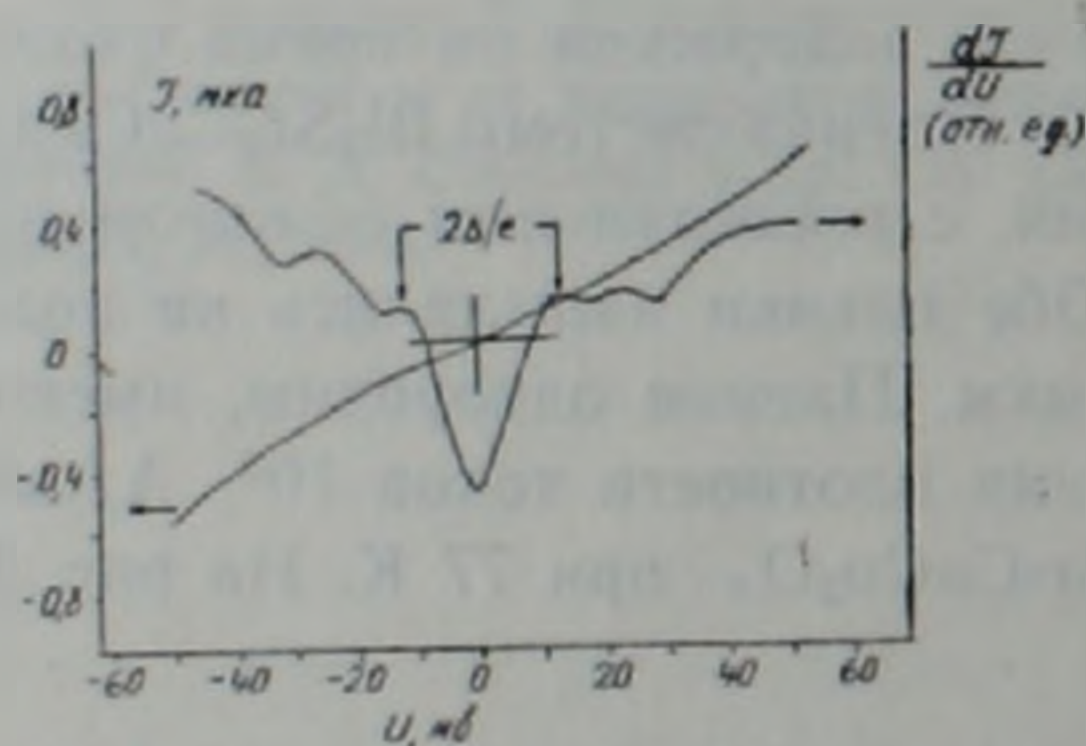


рис. 3. МК спектр $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ пленки при $R(U \rightarrow 0) \sim 10^4$ Ом

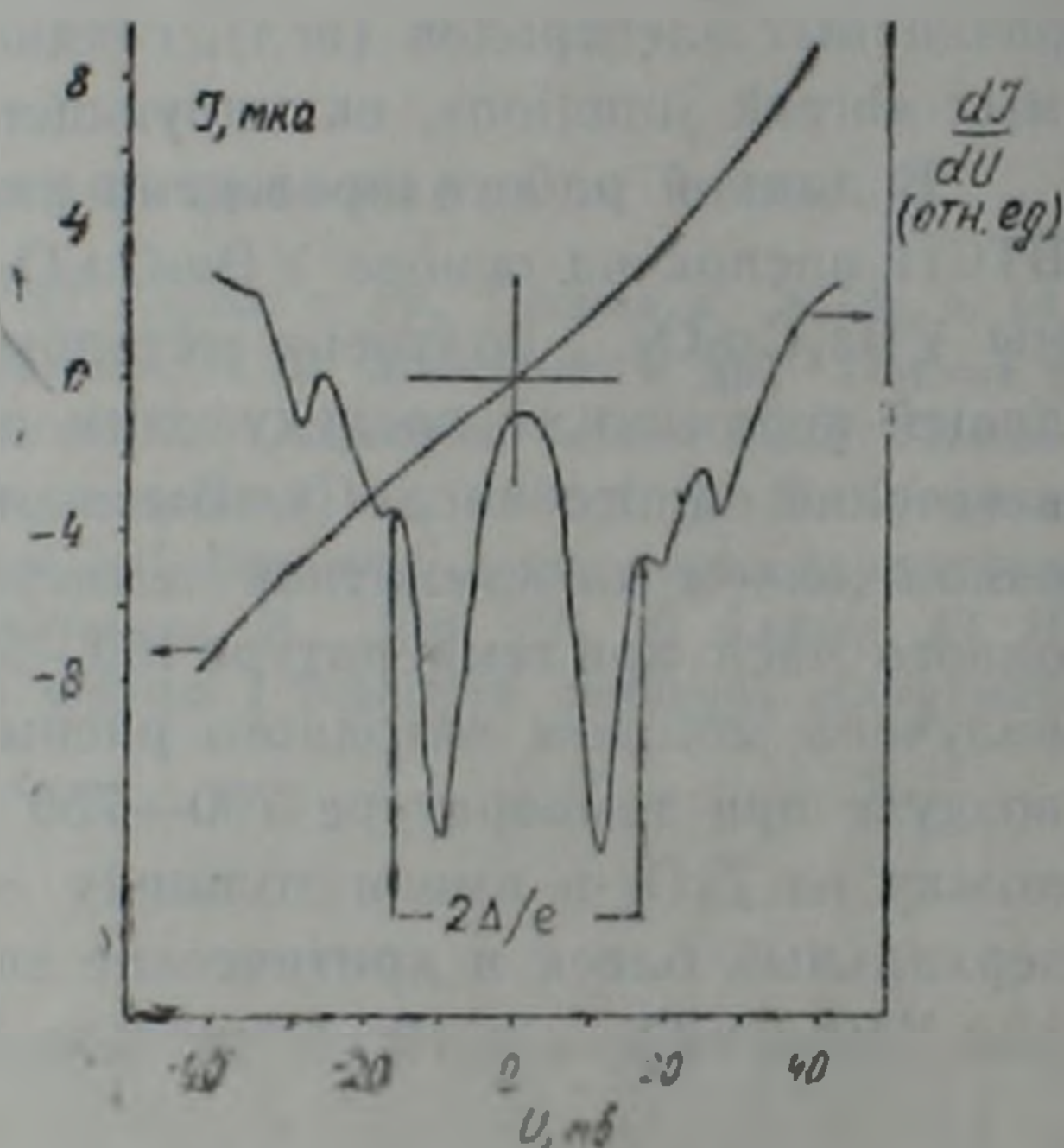


рис. 4. МК спектр $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ пленки при $R(U \rightarrow 0) \sim 10^3$ Ом

мой МК туннелированием. Так, данные для параметра $2\Delta/kT_c$, полученные разными группами авторов, варьируются в широком интервале $3 \div 13$. В приближении слабой связи (модели БКШ) это значение составляет 3,52.

Отметим, что рис. 3, 4 отражают ВАХ для одной и той же пленки и отличие их лишь в величине сопротивления и местоположения туннельного контакта. Периодическая структура, наблюдаемая на кривых дифференциальной проводимости висмутовой пленки, характерна для этой системы и не зависит от местоположения МК. Из рис. 4 видно, что минимум на кривой дифференциальной проводимости двоясанный. Сдвигание происходит при $R(U \rightarrow 0) < 10^4$ Ом для данного соедине-

նյա և օրինաբար կարծրացնող օքսիդները, որոնք հանգում են մետաղական վիճակի, և սովորաբար բնութագրվում են բարձր ջերմաստիճանային կայունությամբ և օքսիդացման ցածր արագությամբ:

Այս աշխատանքում շնորհակալություն հայտնում ենք Հ. Մ. Գուլյանին և Վ. Մ. Փիլոսովին, որոնք օգնություն են ցուցաբերում աշխատանքի ընթացքում:

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Ս. Ս. ՀԱՎՈՐՅԱՆ, Ս. Ս. ՀԱՐՈՒԹՅԱՆՅԱՆ, Վ. Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ե. Ս. ՓԻՆՈՍՅԱՆ,
Ա. Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Բ. Վ. ՆԱԿՈՎԱՆՅԱՆ

Միկրոկոնտակտային սպեկտրոսկոպիան բարձրաստիճանային գերադրոցիչների բաղադրանքում

Այս աշխատանքում շնորհակալություն հայտնում ենք բարձրաստիճանային գերադրոցիչների թաղանթների ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ և $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$) միկրոկոնտակտային թու-
նելային սպեկտրները: Որպես միկրոկոնտակտային էլեկտրոդ ծառայել է բր-
բրանդից պատրաստված ասեղը: Չափումները անցկացվել են չեզոք չեղիումի
4.2 ջերմաստիճանում: № 1 նկարի վրա պատկերված են թաղանթների հարա-
բերական դիմադրության փոփոխության կորերը կախված ջերմաստիճանից:
2—4 նկարներում պատկերված են սեր նմուշների վոլտամպերային բնութա-
գրերի շափման արդյունքները: Հնդկական ճեղքի համար ստացվել են հետևյալ
մեծությունները՝ $2\Delta = 20 \pm 2$ մէվ, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ թաղանթի համար և $2\Delta =$
 $= 26 \pm 2$ մէվ, $2\Delta = 32 \pm 2$ մէվ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ թաղանթի համար: Ելնելով
ճեղքի մեծությունից հաշված են $2\Delta/kT_c$ հարաբերության արժեքները $2.6 \pm$
 $\pm 10\%$ ($T_c = 90\text{K}$) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ թաղանթի համար և $3.6 \pm 8\%$ $4.4 \pm 7\%$
($T_c = 85\text{K}$) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ թաղանթի համար:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Mark Lee, D. B. Mitzl, A. Kapitulnik e. a., Phys. Rev. B., v. 39, № 1, p. 801—803 (1989). ² J. Moreland, A. F. Clark, L. F. Goodrich e. a., Phys. Rev. B., v. 35, № 16, p. 8711—8713 (1987). ³ P. J. M. van Bentum, L. E. C. van de Leemput, L. W. M. Schreurs e. a., Phys. Rev. B., v. 36, № 1, p. 843—845 (1987). ⁴ M. Reiffers, P. Samuely, M. Kupka e. a., Modern Physics Letters B., v. 2, № 11, 12, p. 1269—1277 (1988). ⁵ K. E. Gray, Modern Physics Letters B., v. 2, № 10, p. 1125—1130 (1988). ⁶ А. П. Володин, Б. Я. Котюжанский Г. А. Степанян, Письма ЖЭТФ, т. 48, В. 8, с. 457—460 (1988). ⁷ П. Б. Абрамян, А. В. Геворкян, Б. А. Глушко и др., 7-я Все-
союзная конференция по росту кристаллов, т. 11, с. 374—375 (1988). ⁸ D. E. Tho-
mas, J. M. Klein, The Review of Scientific Instruments, v. 34, № 8, p. 920—924 (1963). ⁹ D. E. Thomas, J. M. Rowell, The Review of Scientific Instruments, v. 36, № 9, p. 1301—1306 (1965).

УДК 539.216.2

ФИЗИКА

Э. А. Арутюнян, С. Х. Галоян, С. П. Погосян

Прецизионное определение показателя преломления приповерхностных волноводных пленок

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. А. Казаряном 4/X 1989)

Быстрое и точное определение параметров приповерхностных тонких пленок, допускающих волноводное распространение света, является актуальной практической задачей, особенно в связи с необходимостью экспресс-контроля параметров тонкопленочных волноводных структур в технологическом процессе их изготовления.

Целью настоящей работы является получение аналитических выражений для прецизионного определения показателя преломления (ПП) тонких волноводных слоев по экспериментально измеренному модовому спектру, что приводит также к существенному упрощению задачи расчета остальных параметров тонкопленочных структур ⁽¹⁾.

Напишем уравнение поперечного резонанса для непогруженного пленочного волновода в следующем виде:

$$h q_m - \operatorname{arctg} \left(\frac{r_m}{q_m} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{p_m}{q_m} \right) = \pi m, \quad (1)$$

где h — толщина пленки, $q_m = k(n_f^2 - n_m^2)^{1/2}$ — поперечная компонента постоянной распространения зондирующего излучения, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ — длина волны света в вакууме, n_f — ПП пленки, n_m — эффективный ПП m -ой моды волновода. $m = 0, 1, 2, \dots (M-1)$, $r_m = k(n_m^2 - 1)^{1/2}$, $p_m = k(n_m^2 - n_s^2)^{1/2}$, n_s — ПП подложки. Заметим, что экспериментально определяемыми величинами является набор эффективных ПП n_m . Уравнение (1) можно привести к наиболее простому виду, учитывая, что для мод низких порядков многомодового волновода отношения r_m/q_m и p_m/q_m являются большими величинами и поэтому правомерно следующее разложение:

$$\operatorname{arctg} \left(\frac{r_m}{q_m} \right) \approx \frac{\pi}{2} - \frac{q_m}{r_m}; \quad \operatorname{arctg} \left(\frac{p_m}{q_m} \right) \approx \frac{\pi}{2} - \frac{q_m}{p_m}. \quad (2)$$

С учетом (2) из (1) получим

$$q_m = \frac{\pi}{h_{\text{эф}}^m} (1 + m), \quad (3)$$

где $h_{\text{эф}}^m = h + \frac{1}{r_m} + \frac{1}{p_m}$ — эффективная толщина волновода.

Получим еще одно уравнение из (1) на основе следующих допущений. При постоянных значениях величин n , и h q_m становится функцией только от дискретного параметра m . Однако математически формально можно в уравнениях (1) допустить непрерывное изменение величины $m \geq 0$ и проводить дифференцирование по аргументу m , полагая $q_m = q(m)$. Эта процедура приводит к следующему уравнению:

$$\frac{dq_m}{dm} = \frac{\pi}{h_{эф}^m} \quad (4)$$

С учетом (4) уравнение (3) принимает вид

$$q_m = q_0(1 + m). \quad (5)$$

Если из этого соотношения определить величину n_1 , то получим выражение $n_1^2 = \frac{4n_0^2 - n_1^2}{3}$, приведенное в работах (2, 3). Эту формулу можно получить непосредственно из дисперсионного уравнения (1), аппроксимируя фазовые скачки на границах волновода к величине π (3). Это приближение удовлетворительно для многомодовых волноводов и обычно не обеспечивает высокой точности, если число мод в волноводе меньше пяти. Отметим, что вид полученного соотношения (5) указывает на возможность его уточнения. Из уравнения (3) и (4) следует, что выражение (5) является частью разложения величины $q_m = q(m)$ в ряд Тейлора вокруг значения $m = 0$. Поэтому q_m в общем случае можно представить в следующем виде:

$$q_m = q_0(1 + m)[1 + R(m)], \quad (6)$$

где $R(m)$ — произвольная функция. Разлагая ее в ряд

$$R(m) = R(0) + \left(\frac{dR}{dm}\right)_0 m + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2R}{dm^2}\right)_0 m^2, \quad (7)$$

покажем, что справедливы соотношения $R(0) = 0$ и $\left(\frac{dR}{dm}\right)_0 = 0$. Первое равенство прямо следует из (6); чтобы получить второе, запишем производную функции (6) в следующем виде:

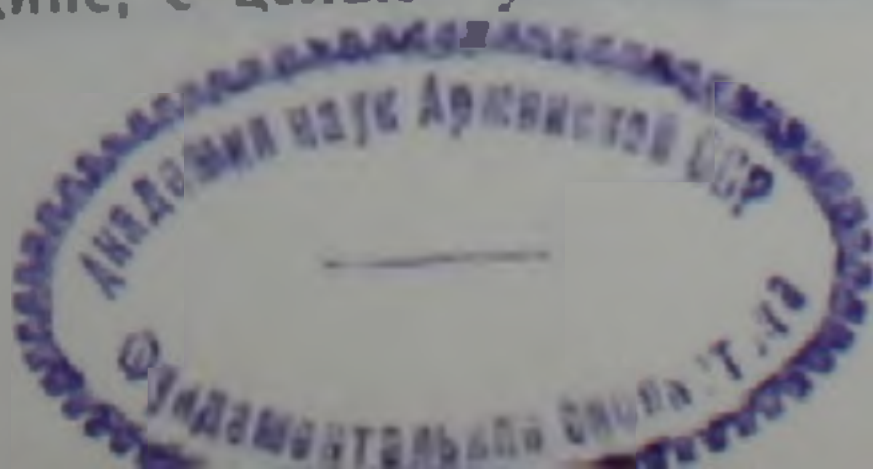
$$\left(\frac{dR}{dm}\right)_0 = \left(\frac{dq_m}{dm}\right)_0 - q_0 = \frac{\pi}{h_{эф}^0} - q_0. \quad (8)$$

Как было отмечено, уравнение (3) лучше всего удовлетворяется для мод низких порядков, так что для нулевой моды тонкопленочного волновода оно является достаточно хорошим приближением, и поэтому можно записать $q_0 \approx \frac{\pi}{h_{эф}^0}$. Подставляя это значение в (8), получим

$\left(\frac{dR}{dm}\right)_0 = 0$. Таким образом, в разложении (7) останется только член второго порядка и обобщенное уравнение (6) примет следующий вид:

$$q_m = q_0(1 + m)(1 + \alpha m^2), \quad (9)$$

где α — неизвестная постоянная. В принципе, с целью увеличения точ-



ности расчета можно учитывать и следующие члены разложения $R(m)$. Однако при этом возрастает число неизвестных коэффициентов, и для решения системы (9) потребуется большее число резонансных мод. Однако поскольку для многомодовых волноводов формула (5) обеспечивает удовлетворительную точность, то такая процедура теряет свой смысл.

Исключив из системы уравнений (9) для мод с индексами $m=0$ и $m=1$ неизвестный коэффициент α , получим уравнение

$$9q_0 - 6q_1 + q_2 = 0. \quad (10)$$

Это биквадратное уравнение относительно n_1 имеет решение

$$n_1^2 = \frac{A - (A^2 - 112B)^{1/2}}{448}, \quad (11)$$

где $A = 891n_0^2 - 414n_1^2 - 29n_2^2$; $B = (81n_0^2 - 36n_1^2 + n_2^2)^2 - 324n_0^2n_2^2$.

Как показывают расчеты, с помощью этой формулы можно с прецизионной точностью определить параметр n_1 ; особенно точные результаты обеспечиваются в случае маломодовых волноводов.

Если к уравнению (10) прибавить малую величину $\beta = q_1 - 2q_0$, которая в нулевом приближении, согласно уравнению (5), равна нулю, то получим новое уравнение

$$7q_0 - 5q_1 + q_2 = 0. \quad (12)$$

Из (12) найдем выражение для n_1 :

$$n_1^2 = \frac{A - (A^2 - 60B)^{1/2}}{240}, \quad (13)$$

где $A = 329n_0^2 - 136n_1^2 - 16n_2^2$; $B = (49n_0^2 - 16n_1^2 + n_2^2)^2 - 196n_0^2n_2^2$.

В таблице приведены точные значения параметров различных волноводов и соответствующие расчетные значения величины n_1 по формулам (11) и (13). Заметим, что хотя эти расчетные значения обеспечивают достаточные для практических задач точности (не хуже $\pm 1 \cdot 10^{-4}$),

Точные значения параметров волновода (n_f , n_s , h)	Эффективные показатели преломления (n_m)	Расчетные значения показателя преломления волноводных пленок n_1		
		по формуле (11)	по формуле (13)	по формуле (5)
1. $n_f = 2.7$ $n_s = 2.2$ $h = 0.6$ мкм ($M=3$)	$n_0^2 = 7.088945$ $n_1^2 = 6.494559$ $n_2^2 = 5.546499$	2.699876	2.700007	2.699458
2. $n_f = 2.7$ $n_s = 2.2$ $h = 2$ мкм ($M=5$)	$n_0^2 = 7.267401$ $n_1^2 = 7.199630$ $n_2^2 = 7.086790$	2.699999	2.699999	2.699998
3. $n_f = 1.8$ $n_s = 1.4$ $h = 1.1$ мкм ($M=4$)	$n_0^2 = 3.176680$ $n_1^2 = 2.988114$ $n_2^2 = 2.679408$	1.799923	1.799978	1.799871

одновременно видно, что можно рекомендовать применять формулу (11) для расчета параметра n_1 маломодовых волноводов ($M=3$;

4), а формулу (13)—для волноводов с числом мод $M=4;5$. При числе мод $M \geq 5$ прецизионную точность обеспечивает уравнение (5).

В заключение отметим, что прецизионное определение параметра n , позволяет также существенно повысить точность расчета толщины h и ПП подложки n тонкопленочных волноводов, с использованием процедуры последовательных приближений, изложенной в работе (1).

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Ի. Հ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ս. Կ. ԿԱԼՈՅԱՆ, Ս. Վ. ՊՈԴՍՅԱՆ

Մակերևութային ալիքառաքային բիբեղների բեկման ցուցչի նշգրիտ որոշումը

Աշխատանքում նրբաթիթեղ դիէլեկտրիկ ալիքառաքների բնութագրական հաճախարման հիման վրա ստացվել են թիթեղների բեկման ցուցիչը որոշող ճշգրիտ անալիտիկ արտահայտություններ: Յույց է ւ.ր՝ած, որ ստացված արտահայտությունները կարող են ապահովել բեկման ցուցչի $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ հաշվարկային ճշտություն:

ЛИТЕРАТУРА—ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Э. А. Арутюнян, С. Х. Галоян, С. П. Погосян, Письма в ЖТФ, т. 14, № 18, с. 1698—1702 (1988). ² E. A. Arutunyan, S. Kh. Galoyan, Opt. Commun., v. 56, №6 p. 399—402 (1986). ³ G. H. Charter, P. C. Jaussaud, J. Appl. Phys., v. 49, №2, p. 917—919 (1978).

УДК 621.371.533.33

ФИЗИКА

Г. Г. Бахшян, М. Г. Григорян, К. Е. Карапетян

Расщепление вращательных резонансных линий ($\lambda = 1,35$ см) молекул H_2O под действием силы Магнуса

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. М. Мартirosьяном 4/XI 1989)

В (1-2) было показано, что гравитационные силы и силы Магнуса приводят к пространственной преимущественной ориентации содержащихся в атмосфере молекул типа асимметричных волчков—гироскопических маятников (H_2O , O_3 и др.), так что преимущественную ориентацию в пространстве молекул H_2O можно рассматривать как дополнительную прецессию ее ротации. Следовательно, по аналогии с физическим незакрепленным маятником потенциальная энергия молекулы вследствие ее вынужденной прецессии должна измениться на величину $F \cdot l$, где F —действующая сила, l —плечо маятника, что, в свою очередь, приводит к расщеплению вращательных линий, величина которой будет рассмотрена ниже.

При расчете будем руководствоваться методикой эффекта Штарка на вращательных линиях и вращательных уровнях (3-4). Согласно расчетной методике эффекта Штарка добавочную энергию как возмущающее действие необходимо прибавить к полному невозмущенному гамильтониану. Энергию возмущения удобно записать посредством преобразования направляющих косинусов от системы координат $g(x, y, z)$, жестко связанных с молекулой, к системе координат $G(X, Y, Z)$, фиксированной в пространстве относительно направления F . F можно считать направленной вдоль оси Z . Энергия возмущения будет иметь вид

$$H_s = F_Z \sum_k l_g \Phi_{Z,g}, \quad (1)$$

где F_Z —возмущающая сила, $\Phi_{Z,g}$ —матрица направляющих косинусов между осями координат G и g .

Молекулы типа симметричных и асимметричных волчков испытывают на себе воздействие одной из сил инерции (Магнусовой силы), которая представляет собой фактически влияние вращения подвижной системы координат на относительное движение молекул: $F = m(\omega \times v)$ (5,6), где m —масса молекулы, $v = v_1 + g_0 \tau_0$, v_1 —линейная скорость движения молекулы в атмосфере, g_0 —ускорение силы тяжести, τ_0 —интервал времени между двумя последовательными столкновениями молекул атмосферного газа, ω —частота собственного вращения молекулы.

Следующий шаг—определение l_K (плеча асимметрии молекулы)

через вращательные и геометрические параметры молекулы в подвижной системе координат (g). В предположении, что ядра атомов в молекуле закреплены жестко, и учитывая, что оси асимметрического распределения массы, собственного дипольного момента молекулы и геометрической симметрии совпадают, выражение для I_g приближенно запишется в виде

$$|I_g| \simeq \frac{m_o \xi_o^2 + 2m_H \xi_H^2}{m_o \xi_o - 2m_H \xi_H}, \quad (2)$$

где m_o — масса атома кислорода, m_H — масса атома водорода, ξ_o и ξ_H — структурные расстояния в молекуле воды.

Процесс расчета величины возмущающей ΔW_z энергии и соответствующего ей уширения спектральных линий $\Delta\nu$ сводится к аналогичному расчету задачи эффекта Штарка на вращающихся спектральных линиях молекул (^{3,4}). Окончательно для $\Delta\nu$ имеем

$$\Delta\nu = \frac{\Delta W_z}{h} \simeq - \frac{F_z^2}{h} \sum_k \frac{\sum_g l_g^2 |(\sigma, \tau, M | T^{-1} x^{-1} \Phi_{Og} x T | \sigma', \tau', M)|^2}{W_{\sigma', \tau', M} - W_{\sigma, \tau, M}}, \quad (3)$$

где h — постоянная Планка, σ — вращательное квантовое число, τ — квантовое число, имеющее смысл нумерации подуровней вращательной энергии, M — квантовое число, характеризующее проекцию вращательного момента количества движения на направление действующих сил, x — матрица симметризации, T — матрица диагонализации, $W_{\sigma', \tau', M} - W_{\sigma, \tau, M} = h\nu$, ν — частота резонанса, значение $|(\sigma, \tau, M | T^{-1} x^{-1} \Phi_{Og} x T | \sigma', \tau', M)|^2$ можно найти в табл. 1 из работы (³).

Выполним числовые оценки: принимая, что $m = 3 \cdot 10^{-26}$ кг; $l_g = 0,5$ нм; $\omega = 10^{13}$ Гц; $v = 1$ м/с; $|(\sigma, \tau, M | T^{-1} x^{-1} \Phi_{Og} x T | \sigma', \tau', M)|^2 \simeq 0,025$, $\nu = 22,235$ ГГц; $|F_z|^2 = (m|\omega| \cdot |v|)^2 \sin^2 \alpha = 1,5 \cdot 10^{-36}$ Н². Получим $\Delta\nu \simeq 1$ ГГц. Здесь надо обратить внимание на то, что как в теории Ван Флека (¹), так и в последующих работах (см. литературу в (²)), в зависимости формы спектральных линий и их полуширины от давления не учтено гироскопическое свойство молекулы, способствующее восстановлению исходной ориентации после соударения с соседними молекулами. При этом конечное время соударений молекул, обладающих гироскопическим свойством, подавляет прецессию и соответственно уменьшает эффективную полуширину вращательных спектральных линий. Полученный результат согласуется с различием, которое имеется между экспериментальным и теоретически рассчитанным значениями полуширины резонансной линии $\lambda = 1,35$ см (²).

Уширение спектральных линий, приведенное в настоящей работе, есть следствие пространственной ориентации молекул воды под воздействием возмущающей механической силы. Но не все акты уширения спектральных линий приводят к преимущественной ориентации молекул. Например, уширение вследствие воздействия давления и эффекта Доплера не приводит к пространственной преимущественной ориентации молекул, так как действующая сила, обусловленная столкновениями молекул, хотя и по величине постоянна, но по направлению со временем меняется. Такого рода силы хотя и приводят к ориентации от-

дельных молекул и уширению их спектральных линий, но они не приводят к пространственной преимущественной ориентации.

Пространственная преимущественная ориентация молекул и соответствующее ей расщепление спектральных линий могут иметь место лишь под воздействием стационарных сил, например, как в эффектах Штарка и Зеемана, а также и в вышензложенном случае.

Для экспериментального подтверждения полученного результата необходима регистрация зависимости значений полуширины резонансной спектральной линии $5_{-1}-6_{-3}$ ($\lambda=1,35$ см) от скорости и направления движения мономерных молекул H_2O .

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հ. Գ. ԲԱՃՅԱՆ, Մ. Գ. ԴՐԻՓՈՐՅԱՆ, Կ. Ե. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

H_2O մոլեկուլի պոտոդական ռեզոնանսային գծի ($\lambda=1,35$ սմ) ճեղումը
Մագնուսի ուժի ազդեցության տակ

Բացահայտված է ջրի մոլեկուլի պոտոդական ռեզոնանսային գծերի ճեղքման նոր մեխանիզմ, որը իրականացվում է Մագնուսի ուժի և սեփական ծանրության ուժի ազդեցությունների տակ, երբ ջուրը մթնոլորտում գտնվում է գազային վիճակում: Ջրի մոլեկուլը մթնոլորտում դիտարկվում է որպես շամրացված համարժեք գիրոսկոպիկ ճոճանակ, որի ստիպողական պրեցեսիան (Մագնուսի ուժի ազդեցության տակ) պատճառ է դառնում պոտոդական ռեզոնանսային գծերի ճեղքմանը և նրանց լայնացմանը: Դնահատված է այդ լրացուցիչ լայնացման չափը: Ցույց է տրված ինչպես կարելի է մեծ հեռավորության վրա ռադիոֆիզիկական փորձով դիտարկել թննարկվող երեւելիքը:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Г. Г. Бахмян, ДАН АрмССР, т. 85, № 3, с. 117—120 (1987). ² Г. Г. Бахмян, К. Е. Карапетян, Тезисы докл., Использование спутниковой информации в исследованиях океана и атмосферы. 1989 г. Звенигород, М., с. 94. 1989. ³ Ч. Таунс, А. Шавлов, Радиоспектроскопия, ИЛ, М., 1959. ⁴ М. Стренберг, Радиоспектроскопия, ИЛ, М., 1956. ⁵ Ф. Х. Гельмуханов, Л. В. Ильичев, Сб. научн. трудов. Оптическая ориентация атомов и молекул, Л. 1987, с. 97—107. ⁶ Л. Прандтль, Гидроаэромеханика, пер. с нем., ИЛ, М. 2, изд. 1951. ⁷ S. H. Van Vleck, Phys. Rev., №71, p 413 (1947). ⁸ А. В. Соколов, Е. В. Сухонин, Труды 11 Всесоюзной школы симп. зюма по распространению ММВ и СубММВ в атмосфере, Илим, Фрунзе с. 3—10. 1986. ⁹ С. А. Жевакин, А. П. Наумов, Ради. физика, т. 6, № 4, с. 669—694 (1963).

УДК 534.833.26

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. Гаспарян, С. А. Маргарян, Б. Ю. Гаспарян

Определение импеданса низкочастотного резонатора с учетом акустических потерь

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. И. Тер-Степаняном 3/V 1989)

На практике при расчете импедансных характеристик низкочастотного звукопоглотителя ⁽¹⁾ наиболее широко применяется способ волноводного распространения акустических колебаний ⁽²⁻⁶⁾. Предположим, что звуковое поле распространяется вдоль координат x в зависимости от времени t , потенциал скорости которой выражается $\Phi(x, r, t) = \Psi(r, x)e^{j\omega t}$. После подстановки этой функции в волновое уравнение приходим к уравнению Гельмгольца. Решение волнового уравнения будем искать в виде потенциала скоростей

$$\Phi(r, x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} (A_n e^{jk_p x} + B_n e^{-jk_p x}) J_0(k_n r) e^{-j\omega t}, \quad (1)$$

здесь A_n, B_n — значения коэффициентов, которые определяются граничными условиями: $k_p^2 = k^2 - k_n^2 = k[1 - (f_{on}/f)^2]^{1/2}$; $f_{on} = \frac{c}{\lambda_{on}}$; λ — волновое число и длина падающей звуковой волны для нормальных волн, распространяющихся вдоль оси on ; k — волновой вектор $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c} =$

$= \frac{2\pi f}{c}$; $\lambda_{on} = \frac{2\pi}{k_n}$; f_{on} — критическая частота моды on и частота звука — f ; $J_0(k_n r), J_1(k_n r)$, соответственно, цилиндрические функции Бесселя нулевого и первого порядка; k_n — волновое число поперечных волн, определяемое из граничных условий равенства нулю радиальной компоненты колебательной скорости на жестких стенках резонатора волновода, т. е. из условия $J_1(k_n R) = 0$ нулевого и первого порядка, $k_n = \frac{\pi n}{R}$. Задачу будем решать в цилиндрической симметрии. В ре-

зонаторе можно выделить характерные области: $0 < r \leq R - r_n$; $\delta < r \leq R$; $R - r_n = \delta$; $0 \leq x \leq L + \tau$.

Для нахождения постоянных следует использовать граничные условия. Предположим, что амплитуда колебательной скорости в кольце резонатора $\delta < r \leq R$ площадью $S_k = S - S_n = \pi(R^2 - r^2)$; $u(r) = U_0$; $0 < r \leq \delta$; $u(r) = 0$; $\delta < r \leq R$; $Z_{pc} = \frac{1}{\pi S_k} \int P_s dS$

Разложим амплитуду колебательной скорости в ряды по собственным функциям резонатора: $U_r = \sum_{n=1}^{\infty} a_n J_0(k_n r)$; $a_0 = U_0 (\delta/R)^2$;

$$a_n = U_0 \frac{2(\delta/R) J_1(k_n \delta)}{(k_n R) J_0'(k_n R)} = U_0 F_n(\delta/R); \quad Z_r = U_0^{-1} \int_0^{\delta} P_{n=0} 2\pi r dr$$

$$Z_r = S_{kpc} \sum_{n=0}^{\infty} F_n(\delta/R) \operatorname{th} \psi_n. \quad (2)$$

Пользуясь граничными условиями $y=0$ и $y=R-r$, получим

$$\Phi(r, x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a_n}{k_p} \frac{\cos k_p(x-L)}{\sin k_p L} J_0(k_n r) e^{j\omega t}. \quad (3)$$

Звуковое давление двухсекционного резонатора рассматривается в виде P_1, P_2 :

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \sum_{n=0}^{\infty} (A_n e^{jk_p x} + B_n e^{-jk_p x}) J_0(k_n r) \\ P_2 &= \sum_{n=0}^{\infty} C_n \operatorname{ch}[jk_p(l_2 - x_2)] J_0(k_n r) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для низких частот, при $l \gg R$, $k_p \approx jk_r$, при определении коэффициентов A_n, B_n, C_n , выражающих непрерывность осевой скорости U_x , имеем:

$$\left. \begin{aligned} A_n e^{jk_p l_1} - B_n e^{-jk_p l_1} - C_n \operatorname{sh}(jk_p l_2) &= 0 \\ A_n e^{jk_p l_1} + B_n e^{-jk_p l_1} - C_n \left[\operatorname{ch} jk_p l_2 + \frac{\delta k \operatorname{sh}(jk_p l_2)}{k_p \rho c} \right] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Пользуясь $P = \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t}$; $U = -\frac{\partial \Phi}{\partial z}$, найдем выражение для звукового давления и колебательной скорости в резонаторе:

$$\left. \begin{aligned} P &= j\omega \rho (A e^{jk_p x} + B e^{-jk_p x}) J_1(k_n r) e^{j\omega t}; \\ U &= jk_p (A e^{jk_p x} + B e^{-jk_p x}) J_1(k_n r) e^{j\omega t}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для плоских волн при нулевой моде колебаний имеем:

$$Z_{Bx} = \left(\frac{S - S_n}{S} \right)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{k}{k_p} F_n \left(\frac{\delta}{R} \right) \left(\frac{Z_s \operatorname{sh} k l_2 \cos k l_1 + j \cos k L}{\sin k L - j Z_s \sin k l_1 \sin k l_2} + Z_r \right). \quad (7)$$

Отсюда реактивная компонента $Y(f)$ импеданса равна:

$$Y(f) = \left(\frac{S - S_n}{S} \right)^2 \sum_{n=1}^{\infty} F_n \left(\frac{\delta}{R} \right) k \frac{(Z_s k/k_p)^2 \operatorname{sh} k_p l_1 \operatorname{sh}^2 k_p l_2 + \operatorname{sh} k_p L \cdot e^{jk_p l_1}}{\operatorname{sh}^2 k_p L + (Z_s k_p/k)^2 (\operatorname{sh} k_p l_1 \operatorname{sh} k_p l_2)^2} \quad (8)$$

Первый член выражения (7) определяет импеданс кольцевого отверстия звукопоглотителя. При этом диссипативные потери будут обеспечиваться за счет вязкости и теплопроводности воздуха, протекающего в кольцевых отверстиях, и находиться в колебательном движении за счет кольцевого излучателя входного отверстия и податливой лицевой панели. Второй член представляет упругое сопротивление воздуш-

ной полости, характеризующей дополнительную инерционность отверстия.

При совместной работе двух излучателей в двухсекционном резонаторе акустическое сопротивление каждого из них изменяется на величину вносимого (или изанмного) импеданса, обусловленного реакцией входного излучателя и других внутренних излучателей. Наличие ряда излучателей в резонаторе приводит к изменению энергии, излучаемой каждым из них, а также к изменению фазы колебаний. Если резонатор, настроенный в резонанс ($\psi = 0$), расположен вблизи источника, т. е. kl весьма мало, когда $\psi = \pi/2 + kl$, т. е. $\psi = \pi/2$ — колебание в резонаторе — отстает по фазе от колебаний входного источника на $\pi/2$ градусов. При настройке резонатора на низкую частоту колебаний входного источника получается сдвиг фаз на π . Реактивный импеданс второй секции резонатора согласно рекомендациям Ю. Ингарда и Н. Н. Ворониной, с учетом воздушной полости $Y_p = -\text{ctg} kl_2$ равен

$$Y = k(\tau + 2\delta_z)\eta + j \left[\left(\omega M_p - \frac{k}{\omega} \right) - \text{ctg} kl_2 \right], \quad (9)$$

где $\eta = \frac{S_{\text{ш}}}{S_1}$ — коэффициент перфорации, $S_{\text{ш}}$, S_1 — площади входного сечения щели и резонатора, τ , $2\delta_z$ — толщина и двухсторонняя концевая поправка к толщине лицевой панели.

Эффективная инерционность кольцевого отверстия S_k , определяемая как массами воздуха в отверстии и резонирующей полости, так и дифракционными эффектами входной податливой сплошной панели, согласно рекомендациям (2), равна: $M_p = M_n + \left(\frac{S_k}{S} \right)^2 (M_+ + M_L) + M_{12}$; $M_+ =$

$$= \frac{S_k \rho}{k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_n(\delta/R)}{a_n} \text{cth}(k\lambda_n \tau); \quad M_L = \frac{S_k P}{k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_n(\delta/R)}{a_n} \text{cth}(k\lambda_n L)$$

$$a_n = -jk_p; \quad a_n \ll 1; \quad M_{12} = 2S_k k^{-1} \sum_{n=1}^{\infty} (H_n^2 \lambda_n) \text{sn}^{-1}(k\lambda_n L) \quad (10)$$

Ее — физический смысл характеризуется уравнениями:

$$H_n = -\frac{\delta r}{R^2 - r^2} \frac{4J_0^2(k_p \delta) J_1(k_p \delta)}{(k_p)^2 J_1^2(k_p R)}; \quad F_n = \frac{4J_1^2(k_n \delta)}{(k_n R)^2 J_1^2(k_n R)}. \quad (11)$$

$M_n = S_n \rho_n \tau$ — масса поршневой входной панели; M_+ , M_L — соответственно, внутренние присоединенные массы воздуха в отверстиях площади кольцевого отверстия с щелевым зазором $\delta = (0,1 \div 0,5)$ см и с глубиной резонирующей полости резонатора L ; M_{12} — взаимная присоединенная масса, возникающая вследствие наложения кольцевых излучателей S_{k1} , S_{k2} в полости резонатора при $L/\lambda \ll 1$; $R/\lambda \ll 1$; M_k , M_p — массы воздуха во входных кольцевых отверстиях и в полости резонатора:

$$M_k = \frac{S_k \rho}{k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_n}{a_n} \text{ — внутренняя присоединенная масса кольцевого отверстия.}$$

тия.

Концевая поправка кольцевого отверстия резонатора

$$\delta_z = S_{\text{ш}}^{1/2} \frac{4}{V^{\pi}} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{J_1^2(k_{mn} \delta_{\text{ш}})}{(k_{mn} R)^3 \left| 1 - \left(\frac{m}{k_{mn} R} \right)^2 \right| J_n^2(k_{mn} R)} \quad (12)$$

Активная компонента импеданса резонатора обусловлена вязкими потерями фрикционного характера на трение в кольцевом отверстии при протекании воздуха за счет разности звукового давления: основную роль градиента давления можно отнести за счет сопротивления в кольцевом отверстии $S_{\text{ш}}$ и податливой лицевой панели:

$$R(f) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n \left(\frac{\delta}{R} \right) \frac{Z_1 \text{sh}^2 k_p l_2}{\text{sh}^2 k_p L + (Z_1 k_p / k)^2 \text{sh} k_p l_1 \text{sh} k_p l_2} \quad (13)$$

Энергетическое уравнение акустического импеданса полости резонатора, в диапазоне от адиабатических до изотермических условий, представлено в виде: $\lambda_T \nabla^2 T_T - j \omega \rho [c_p T_T + (c_p - c_v) / R_B] = 0$,

$$\nabla^2 T_T = \xi^2 (T_T - B_T); \quad B_T = \frac{P T_0}{T_0} \left(1 - \frac{1}{\kappa} \right); \quad \xi = 3,9 f^{1/2} (1 + j), \quad (14)$$

где $\kappa = (\omega \rho c_p / 2 \lambda_T)^{1/2} = 3,9 f^{1/2}$, c_p , c_v — удельные теплоемкости при постоянном давлении и объеме, $\kappa = \frac{c_p}{c_v} = 1,4$ при $t = 20^\circ \text{C}$; P , P_0 — статическое давление и амплитуда давления; T_1 , T_0 — амплитуда и температура окружающей среды; λ_T — удельная теплопроводность; R_B — газовая постоянная Больцмана; $\rho = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ — плотность воздуха; ρc — волновое сопротивление воздуха; k_1 — волновое число для вязкой волны, см^{-1} ; $\mu = 1,88 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}$; η — коэффициент вязкости воздуха; λ_μ — длина вязкой волны, см .

Согласно закону Бойля — Мариотта, используя значение T_T , B_T с введением временного множителя $e^{j\omega t}$ получаем: $-\frac{\delta V}{V} = \frac{P}{P_0} - \frac{P}{P_0} (1 - \kappa^{-1})(A + jB)$; $\frac{\delta V}{V} = \frac{P}{\kappa P_0} (c^2 + d^2) e^{j(\theta + \omega t)}$; $\Phi = \frac{\pi}{2} - \theta - \text{tg}^{-1} c_1 / d_1$, где $c = A(\kappa - 1) - \kappa$; $d = B(\kappa - 1)$.

Акустический импеданс равен $\frac{\partial(\delta V)}{\partial t} = -\frac{P e^{j\omega t}}{Z}$. Дифференцируя значение δV , получим импеданс полости резонатора:

$$Z_T = \frac{j \kappa P_0 e^{-j\Phi}}{\omega V (c^2 + d^2)^{1/2}} = |Z_T| e^{j\Phi}; \quad |Z_T| = \frac{\kappa P_0}{\omega V} (c_1^2 + d_1^2)^{-1/2}. \quad (16)$$

Для резонатора, имеющего цилиндрическую полость радиуса a , решение, удовлетворяющее граничному условию $T_T = 0$ при $r = a$, имеет вид:

$$\frac{T_T}{B_T} = 1 - \frac{J_1[2d f_1(-2j)^{1/2}]}{J_0[2D f_1(-2j)^{1/2}]}; \quad d = 2r; \quad D = 2R. \quad (17)$$

Усредняя по цилиндрической внутренней поверхности, получим

$$\frac{T_T}{B_T} = 1 - \frac{2}{2D f_1(-2j)^{1/2}} \frac{J_1[2D(-2j f^{1/2})]}{J_0[2D(-2j f^{1/2})]} = A'' + jB'', \quad (18)$$

где $A'' = 1 - (F + G)(-2Df_1)^{-1}$; $B'' = 1 - (F - G)(2Df_1)^{-1}$; $F = vx - vy/v^2 + u^2$
 $G = (vy + ux)/(v^2 + u^2)$; $u = J_0[2D(-2jf^{1/2})]$; $v = J_0[2L(-2j)^{1/2}]$
 $x = J_1[2D(-2jf^{1/2})]$; $y = J_1[2L(-2j)^{1/2}]$;

x, y, u, v — действительная и мнимая часть звуковой волны.

Исследования показали, что наряду с диссипативными потерями при движении воздуха в щелевых входных отверстиях резонатора происходят тепловые потери, обусловленные вязкостью граничного слоя и характеризующиеся термодинамическими параметрами — термометрической проводимостью, вязкостью среза и плотностью воздуха. Потери, обусловленные вязкостью и теплопроводностью, характеризуются тепловой релаксацией и происходят в граничном слое. Вязкие потери и изменение теплопроводности вязких и тепловых волн в объеме резонирующей полости, в частности, значения температуры и составляющих колебательной скорости, влияют на акустические свойства звукопоглотителя.

Экспериментальная проверка проведенной работы была произведена на модели конструкции цилиндрической формы, сечением радиуса $R = 4,9$ см, толщина лицевой панели $\tau = 0,5$ см, контурный щелевой зазор лицевой панели $\delta = (0,1 \div 0,5)$ см. Корпус модели резонатора и лицевая панель были изготовлены из фанеры $\rho_f = (0,5 \div 1,0)$ г/см³. Инерционный импеданс конструкции резонатора определялся экспериментально на акустическом интерферометре, в частотном диапазоне $(100 \div 1700)$ Гц. На рис. 1 показана экспериментальная частотная зависимость реактивного импеданса исследуемой системы. Сравнение теор-

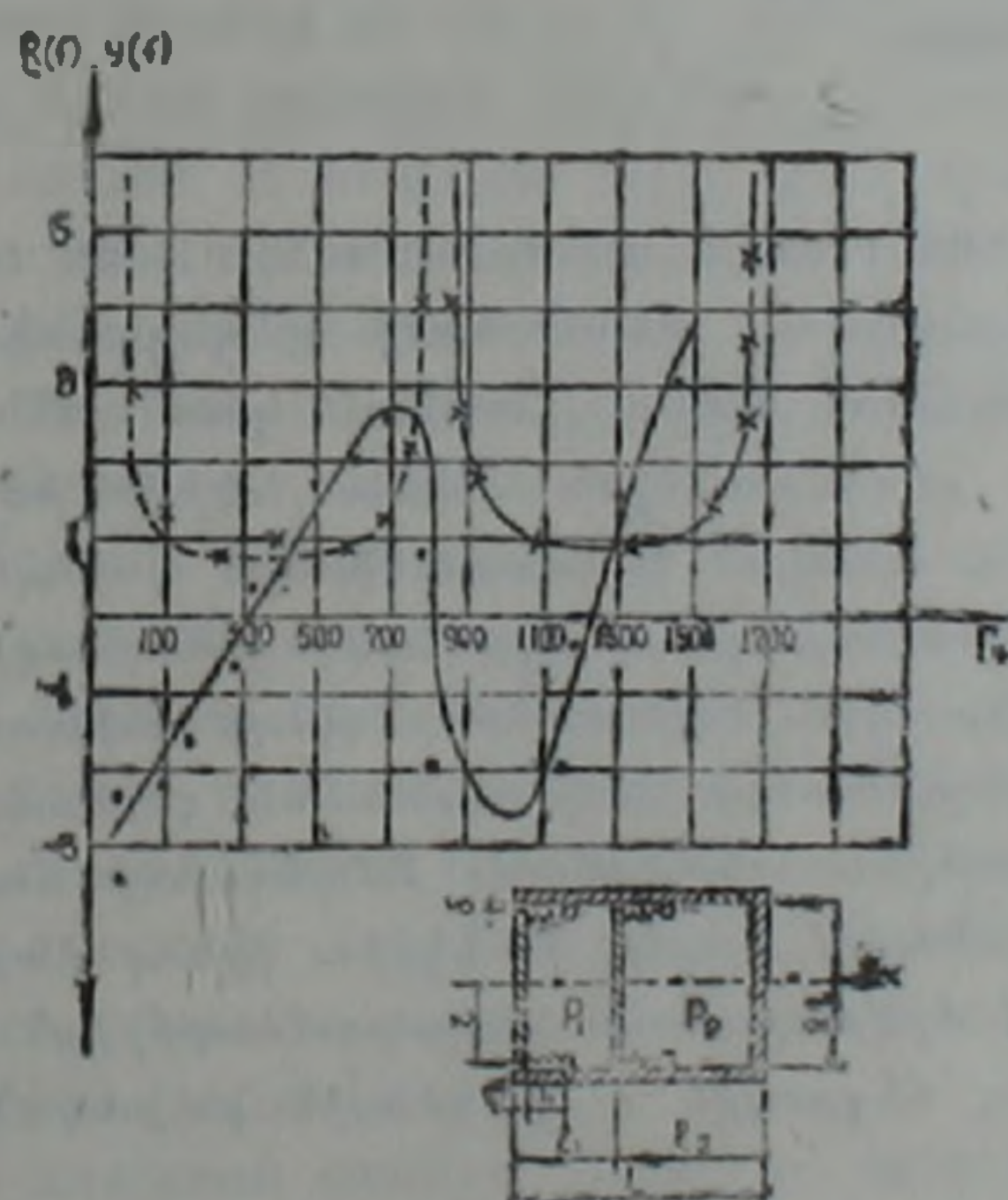


Рис. 1 Частотная характеристика поверхностного импеданса двухсекционного резонатора с лицевой сплошной и внутренней перфорированными податливыми панелями на упругих связях. $\bullet$ — $Y(j)$, $\times$ — $R(j)$, соответственно, реактивные и активные компоненты импеданса, полученные экспериментально; сплошные линии — те же величины, полученные расчетным путем.

реческих и экспериментальных данных, рассчитанных по формулам (8), (9), с учетом (10), (12), (16), произведены на ЭВМ. Вычисление импеданса производилось модами низших порядков, при δ_{opt} и M_p как функции от R/ρ , L/ρ , $l_{1,2}/\rho$. Масса M_p , полученная в результате действия мод низших порядков, дает максимум, когда оптимальный щелевой контурный зазор лицевой панели находится в пределах $\delta_{opt} = (0,1—0,3)$ см (рис. 2); в этом случае происходит наибольшее сме-

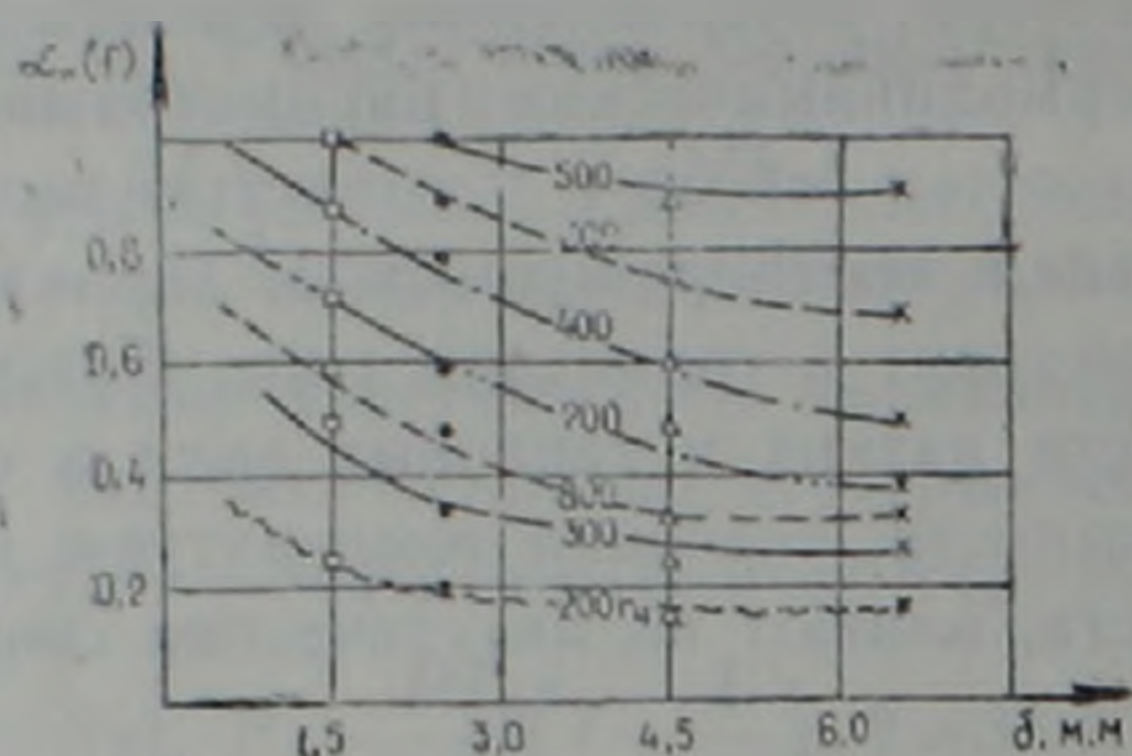


Рис. 2. Зависимость нормального коэффициента звукопоглощения от ширины щелевого контурного зазора δ (мм) лицевой панели, установленной на упругих связях — пружинах.

щение резонансной частоты в сторону низких частот. Измерения импеданса системы как функции расстояния между секциями резонатора подтвердили существенное согласие с теоретическими результатами

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

ՅՈՒ. Ա. ԴԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ս. Ա. ՄԱՐԴԱՐՅԱՆ, Բ. ՅՈՒ. ԴԱՍՊԱՐՅԱՆ

Ցածր հաճախականության ռեզոնատորի իմպեդանսի ուղղումը հաշվի առնելով ձայնագրիտական կորուստները

Դիտարկված է ռեզոնանսային ձայնակլանիչի իմպեդանսի տեսական հաշվարկը: Նկատի է առնված կենսարուկյէայի կոմպլեքսային իմպեդանսի ակտիվ և ռեակտիվ բաղադրիչների վրա ազդող ձայնագրիտական կորուստները: Խոռոչի ձայնագրիտական կորուստները ղգալի կերպով ազդում են ակտիվ դիմադրության և ռեզոնատորի ձայնակլանման գործակցի վրա, առանձնապես ցածր հաճախության տիրույթում: Իմպեդանսի հաշվարկը կատարված է ցածր կարգի մոդաներով որպես ֆունկցիա իջնող ձայնային ալիքի երկարությունից կախված երկրաչափական սլարամետրերից՝ ռեզոնանսային ձայնակլանիչի օպտիմալ ճեղքային ուղիագծային բացականների դեպքում:

ЛИТЕРАТУРА—ԴՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ А. С. № 1463881 СССР Е04В1/84 Резонансный звукопоглотитель. Ю. А. Гаспарян, Ю. М. Чудинов и др. (СССР). — № 424 4867; Заявл 31. 3. 1987; опубл. 7.3.89. БИ № 9—3с.
- ² К. А. Велажанин, В. А. Оборотов, Акустический журн., т. 29, № 1, с. 5—10 (1983).
- ³ Н. Н. Воронина, Акустический журн., т. 30, № 2, с. 254—258 (1987).
- ⁴ К. А. Велажанин, Е. А. Вощукал, Н. Н. Нефедов, Акустический журн., т. 32, № 3, с. 114—116 (1986).
- ⁵ Р. М. Morse, U. Ingard, Theoretical Acoustics, N. Y., McGraw-Hill, 1968
- ⁶ W. Davern, Applied Acoust., v. 10, № 2, p. 85—112 (1977).

УДК 539.376

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

К. С. Карапетян

О закономерностях изменения прочностных и деформативных свойств бетона во времени в условиях различной влажности среды

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Б. Л. Абрамяном 17/VII 1989)

Известно, что в нормальных влажностных условиях процесс твердения и упрочнения бетона во времени может длиться более двадцати лет. При низкой же влажности среды высыхание приводит к быстрому обезвоживанию и прекращению упрочнения бетона, а в дальнейшем к спаду прочности, иногда даже до уровня ниже достигнутого к месячному возрасту, т. е. проектной марки (¹⁻²). Однако длительных опытов по исследованию этого в научном и практическом отношении важного вопроса пока проводилось мало. Учитывая это, автор исследовал изменение прочностных и деформативных свойств некоторых видов бетонов до возраста 21 год в различных влажностных условиях.

Исследования проведены: над двумя составами легкого бетона на литондной пемзе, на песке и щебне из литондной пемзы; над одним составом смешанного бетона на песке из литондной пемзы и базальтовом щебне и над одним составом тяжелого бетона на кварцевом песке и базальтовом щебне. В качестве вяжущего применен портландцемент марки 400. Составы бетонов приведены в табл. 1.

Испытывали кубики с ребром 20 см и цилиндрические образцы диаметром 14 см, высотой 60 см. Приготовление бетона производили вручную, а уплотнение—на виброплощадке при продолжительности вибрации 30 с. Образцы освобождали от форм через трое суток, после чего хранили в условиях следующих двух влажностных режимов:

1. первые три года во влажной камере при температуре $T=17\pm 9^\circ\text{C}$ и относительной влажности среды $P=92\pm 4\%$, последующие 18 лет в обычных лабораторных условиях, где 7 лет $T=21\pm 7^\circ\text{C}$, $P=50\pm 10\%$, а остальные 11 лет $T=18\pm 5^\circ\text{C}$, $P=60\pm 11\%$. В этих условиях хранили все образцы, кроме некоторого количества образцов из бетона состава № 2 (табл. 1);

2. 28 суток во влажной камере, далее до возраста 10 лет в обычных лабораторных условиях ($T=21\pm 7^\circ\text{C}$, $P=50\pm 10\%$). В этих условиях хранили часть образцов из бетона состава № 2.

Образцы испытывали в возрасте 7, 28 суток; 3, 6, 15 месяцев; 3 года, 6, 10, 15 лет и 21 год. Загружение цилиндрических образцов производили ступенями по $0,1 R_{цл}$ ($R_{цл}$ — цилиндрическая прочность). На каждой ступени сжимающей нагрузки образец выдерживали 5 мин. После выдержки под нагрузкой $0,5 R_{цл}$ образец разгружали, затем нагрузку вновь доводили до $0,5 R_{цл}$ и далее, ступенями $0,1 R_{цл}$, до $0,7-0,8 R_{цл}$, после чего измерители деформаций снимали и образец дово-

дили до разрушения. До возраста 10 лет в каждом возрасте из каждого состава бетона испытывали по три образца, а в возрасте 15 лет и 21 год — по два. Характеристики прочности всех бетонов, хранившихся в условиях режима 1, приведены в табл. 2.

Таблица 1

Составы бетонов									
№ состава	Вид бетона	В — Ц	Осадка конуса ΣK_{30} для тяжелого и сме- шанного бетонов; ΣK_{40} для легкого бето- на, см	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг				γ_b т/м ³	
				Ц	П	Щ	В		
1	Легкий	1.11	1	233	463	752	261	1.72	
2	Легкий	0.95	1	295	454	708	280	1.74	
3	Смешанный	0.82	1	300	416	1146	246	2.18	
4	Тяжелый	0.68	1	264	749	1220	179	2.41	

Таблица 2

Характеристики прочности бетонов										
Характерис- тики проч- ности бето- на	Характеристики в возрасте									
	7 сут.	28 сут.	3 мес.	6 мес.	15 мес.	3 года	6 лет	10 лет	15 лет	21 год

Бетон на литсианой пемзе, состав № 1

R_t , МПа	9.2	15.1	19.4	22.4	27.8	30.9	—	26.9	28.8	—
$R_{ц.л}$, МПа	7.4	14.2	18.8	20.9	25.2	26.3	24.3	23.5	23.2	21.9
$R_{ц.л}/R_k$	0.80	0.94	0.97	0.93	0.90	0.85	—	0.88	0.81	—
$R_k R_{28}^k$	0.61	1.00	1.28	1.48	1.84	2.05	—	1.78	1.91	—
$R_{ц.л} R_{28}^{ц.л}$	0.52	1.00	1.32	1.47	1.77	1.85	1.71	1.65	1.63	1.54

Бетон на литондной пемзе, состав № 2

R_t , МПа	12.7	20.0	22.8	26.3	28.1	31.5	—	29.6	26.8	—
$R_{ц.л}$, МПа	10.3	16.4	17.8	21.5	23.6	26.1	25.9	24.9	24.1	23.7
$R_{ц.л}/R_k$	0.81	0.82	0.78	0.82	0.83	0.84	—	0.84	0.90	—
$R_k R_{28}^k$	0.64	1.00	1.14	1.31	1.42	1.57	—	1.48	1.34	—
$R_{ц.л} R_{28}^{ц.л}$	0.63	1.00	1.09	1.31	1.44	1.61	1.58	1.52	1.47	1.45

Смешанный бетон, состав № 3

R_k , МПа	14.1	20.3	25.5	31.0	37.5	34.5	—	32.9	33.6	—
$R_{ц.л}$, МПа	11.1	15.5	19.7	23.0	25.4	26.8	27.0	29.0	27.7	26.0
$R_{ц.л}/R_k$	0.78	0.76	0.77	0.74	0.68	0.78	—	0.88	0.83	—
$R_k R_{28}^k$	0.70	1.00	1.26	1.53	1.85	1.70	—	1.62	1.66	—
$R_{ц.л} R_{28}^{ц.л}$	0.71	1.00	1.27	1.49	1.64	1.73	1.74	1.88	1.79	1.68

Тяжелый бетон, состав № 4

R_t , МПа	14.3	19.6	26.1	29.6	35.2	34.0	—	32.3	—	—
$R_{ц.л}$, МПа	11.0	15.8	19.1	21.6	26.5	27.2	30.5	28.8	25.3	—
$R_{ц.л}/R_k$	0.77	0.80	0.73	0.73	0.75	0.80	—	0.89	—	—
$R_k R_{28}^k$	0.73	1.00	1.33	1.51	1.80	1.74	—	1.64	—	—
$R_{ц.л} R_{28}^{ц.л}$	0.70	1.00	1.21	1.37	1.68	1.72	1.93	1.82	1.60	—

По данным двух составов легких бетонов на литондной пемзе закономерности изменения их кубиковых и цилиндрических прочностей во времени вплоть до конца опытов качественно имеют одинаковый характер. Как правило, в течение 3-годового влажного хранения их прочности во времени нарастали с убывающей скоростью, а после этого через некоторое время в обычных лабораторных условиях начинался длительный процесс разупрочнения, но в итоге значения R_k (R_k —кубиковая прочность) и $R_{пл}$ сохранились существенно выше достигнутых к месячному возрасту. Все сказанное в полной мере относится и к остальным двум составам бетонов. Разница заключается лишь в том, что снижение их прочностей началось в более поздних возрастах.

Исследования показали, что при режиме 1 качественно аналогично происходит и изменение модулей деформаций исследованных бетонов во времени. Нарастание модулей деформаций бетонов на литондной пемзе во влажных условиях, а в дальнейшем их длительные спиды в обычных лабораторных условиях относительно больше, но все же конечные значения оказались несколько выше достигнутых к месячному возрасту. Выше месячного сохранилось и конечное значение модуля деформации тяжелого бетона, а что касается модуля деформации смешанного бетона, то в этом случае спад начался еще до возраста 3 года и по этой причине уже к возрасту 15 лет его значение до уровня напряжения 0,25 оказалось ниже достигнутого к месячному возрасту.

Как уже отмечали, часть образцов из бетона на литондной пемзе состава № 2 хранили в условиях режима 2, т. е. до месячного возраста во влажных условиях, а в дальнейшем до возраста 10 лет в обычных лабораторных условиях. Результаты этих опытов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики прочности и модули деформации бетона

Характеристики бетона	Характеристики в возрасте						
	7 сут.	28 сут.	3 мес.	6 мес.	15 мес.	3 года	10 лет
$R_{к\pi}$, МПа	12.7	20.0	22.0	23.3	—	—	12.8
$R_{пл}$, МПа	10.3	16.4	17.7	19.9	20.1	17.6	9.1
$R_{пл}/R_k$	0.81	0.82	0.81	0.85	—	—	0.71
R_k/R_{28}	0.64	1.00	1.10	1.17	—	—	0.64
$R_{пл}/R_{28}$	0.63	1.00	1.08	1.22	1.23	1.08	0.56
$E_{к\pi} \times 10^{-2}$, МПа(з $R_{пл}=0$)	103	117	123	120	104	88	69
$E_{к\pi} \times 10^{-2}$, МПа(з $R_{пл}=0.25$)	77	91	108	104	98	82	60
$E_{к\pi} \times 10^{-2}$, МПа(з $R_{пл}=0.50$)	54	69	91	92	92	76	52

По данным табл. 3 понижение влажности среды после месячного влажного хранения привело к замедлению интенсивности роста как прочности, так и модуля деформации, а в дальнейшем к длительному процессу их деградации, и в итоге в возрасте 10 лет их конечные значения оказались существенно ниже достигнутых к месячному возрасту. Из сравнения данных табл. 2 и 3 следует, что в возрасте 10 лет R_k и $R_{пл}$ бетона на литондной пемзе состава 2 при режиме 2 соответственно в 2,3 и 2,7 раза меньше, чем при режиме 1.

Данные табл. 2 и 3 приводят к выводу, что в условиях сухого жаркого климата некоторых районов Армянской ССР, где влажность среды в летние месяцы снижается до 15–20%, в результате высыхания конечная прочность бетона может оказаться еще более ниже проектной, чем это получилось в наших опытах (табл. 3).

Спитакское землетрясение (7 декабря 1988 г.) вызвало массовые разрушения зданий и сооружений в городах и селах северо-западных районов Армянской ССР. По мнению авторитетных специалистов помимо силы землетрясения, которая превышала расчетную балльность, причиной столь массовых разрушений явилось также низкое качество строительных работ. Отмечены случаи низкой прочности бетонов железобетонных конструкций, которые оказались в 3–4 раза ниже проектных; причиной этого считается невведение в бетон нужного количества цемента.

Конечно, никто не может отрицать, что в процессе строительства допускалось, да и сейчас допускается, множество технологических нарушений. Но самым серьезным вопросом остается—почему же спустя много лет после строительства прочности бетонов железобетонных конструкций разрушенных зданий оказались существенно ниже проектных? На основании результатов вышеописанных длительных опытов можно утверждать, что изготовители железобетонных сборных элементов не могли допустить введение в бетон значительно меньше цемента, чем требовалось расчетом, так как эти элементы тут же на заводе ЖБК разрушились бы под собственным весом при погрузке для транспортирования к месту назначения. Кроме того существует строго установленная отпускная прочность для бетонов сборных железобетонных элементов (70% от проектной), ниже которой заводы ЖБК не имеют права отпускать их потребителю. Мы не исключаем, что эти требования иногда в известной мере нарушались и невведением в бетон нужного количества цемента, но в такой мере, чтобы конечная прочность оказалась в 3–4 раза ниже проектной, вряд ли могло иметь место, так как в таком случае последствия сразу же дали бы о себе знать.

На основании вышеописанных длительных опытов можно с уверенностью утверждать, что прочности бетонов железобетонных элементов в момент их отпуска из заводов ЖБК не могут быть существенно ниже отпускных, а следовательно, снижение прочностей происходит в основном в процессе строительства объектов при низкой влажности среды. Существенное отрицательное влияние низкой влажности среды на прочность бетонов, а следовательно на несущую способность железобетонных конструкций, требует разработки и осуществления необходимых мероприятий для их защиты от высыхания. С этой же целью необходимо максимально сократить сроки строительства объектов. В тех случаях, когда выполнение этих мероприятий связано с большими трудностями, в районах, где влажность среды низкая, проектировать и строить железобетонные конструкции зданий и сооружений следует с более высокими запасами.

Институт механики Академии наук
Армянской ССР

Միջավայրի տարբեր խոնավային պայմաններում բետոնի ամրության և դեֆորմացիաների հետազոտումը ժամանակի ընթացքում

Աշխատանքում բերվում են տարբեր խոնավային պայմաններում բետոնի ամրության և դեֆորմացիաների հետազոտման արդյունքները 21 տարվա ընթացքում: Հաստատված է, որ անկախ սկզբնական նորմալ խոնավային պայմաններում պահելու տևողությունից, բետոնի հետագա ջրազրկումը ցածր խոնավության դեպքում բերում է նրա ամրության և դեֆորմացիաների մոդուլների էական փոքրացմանը, որի հետևանքով նրանց վերջնական մեծությունները կարող են շատ ավելի ցածր լինել նախագծայինից: Առաջարկվում է շոր կլիմայական պայմաններում կրճատել շինարարության ժամկետները և երկաթբետոնյա կոնստրուկցիաները պաշտպանել շորացումից կամ նախագծել ավելի բարձր պաշարով և հետազոտում ապահովել նրանց նորմալ ամրացումը:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Я. В. Столяров, Введение в теорию железобетона, Стройиздат, М.—Л., 1941.
- ² М. З. Симонов, Основы технологии легких бетонов, Стройиздат, М., 1973.

УДК 631.416

ЭКОЛОГИЯ

Г. Б. Бабаян, Р. Г. Ревазин, Л. А. Араратян

О водной миграции тяжелых металлов и бора в почвах

(Представлено академиком АН Армянской ССР В. О. Казаряном 16/V 1989)

Одним из важных звеньев биогеохимического круговорота химических элементов в системе почва—растение—воды является их водная миграция.

Содержание тяжелых металлов и бора в почвах в основном зависит от состава почвообразующих пород, которые являются главным источником их в почвах. Однако в условиях все возрастающего техногенного загрязнения, особенно на территориях, прилегающих к крупным промышленным центрам, геохимическая обстановка ландшафта может существенно измениться, что определяется не только количеством попадающих в почву продуктов техногенеза, но и характером их дальнейших превращений. Продукты техногенеза, попадая в почву, в зависимости от окислительно-восстановительных, кислотно-щелочных и других условий подвергаются различным превращениям и вовлекаются в водные, воздушные и биогенные потоки перемещения с миграционной средой.

В настоящем сообщении приводятся результаты лизиметрических опытов по изучению водной миграции тяжелых металлов в почвах и почвогрунтах. Характеристика почв и методика проведения опытов описаны в работах (1, 2), концентрация тяжелых металлов в лизиметрических фильтратах определена методом количественного спектрального анализа на кварцевом спектрографе ИСП—28.

Представленные в табл. 1 данные показывают, что по содержанию марганца лизиметрические фильтраты бурых почв и черноземов характеризуются близкими показателями, а в фильтратах каштановых почв его содержание вдвое меньше. Содержание железа в фильтратах несколько повышенное, и по типам почв существенных различий не наблюдается. Содержание никеля и меди в фильтратах ниже ПДК, при этом более низкими показателями выделяются фильтраты каштановых почв. Свинец в фильтрате лугово-бурой почвы отличается высоким содержанием—превышает ПДК в 1,8 раза, что, вероятно, связано с техногенным загрязнением. В фильтратах черноземов и каштановых почв, по сравнению с бурными почвами, содержание свинца в несколько раз меньше. Содержание титана и бора наибольшее в фильтратах лугово-бурых и наименьшее—в каштановых почвах, в целом же характеризуется невысокими показателями.

Важной частью исследований обнаженных почвогрунтов оз. Севан является изучение геохимических потоков тяжелых металлов, мигри-

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов и бора в лизиметрических фильтратах
почв Армянской ССР, мг/л (0,5 м слой почвы)

Элемент	П о ч в а		
	Лугово-бурья	Горно-каштановая	Горный чернозем
Марганец	0.531	0.306	0.681
Железо	0.607	0.672	0.595
Никель	0.015	0.013	0.020
Медь	0.024	0.011	0.020
Свинец	0.181	0.064	0.051
Титан	0.303	0.189	0.256
Бор	0.109	0.068	0.071

рующих в цикле атмосферные осадки—лизиметрические воды. Исследования показали (табл. 2) заметные различия в миграции тяжелых металлов и бора под покровом леса и на прогалине в почвогрунтах Севанского бассейна. Высокое содержание тяжелых металлов и бора отмечается в лизиметрических водах из-под подстилки под покровом леса, что, очевидно, объясняется стекающими с деревьев водами. Последующее взаимодействие их с аннионами сульфатов, фосфатов, карбонатов снижает, очевидно, их растворимость и миграцию вниз по профилю почвогрунтов. Низкое содержание тяжелых металлов и бора в нижних горизонтах почвогрунтов под покровом леса следует объяснить также усиленным поглощением их корнями деревьев.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов и бора в лизиметрических водах почвогрунтов
бассейна оз. Севан, мг/л (среднее из шести проб)

Глубина лизиметров, см	pH	Fe	Mn	Ti	Ni	Cu	Pb	B
Под покровом леса								
5 (подстилка)	6,8	0,76	0,8	0,43	0,08	0,06	0,2	0,23
50	7,2	0,18	0,3	0,23	0,02	0,02	0,08	0,15
150	7,3	0,05	0,1	0,04	0,001	0,007	0,001	0,08
На прогалине								
3 (подстилка)	7,5	0,68	0,6	0,27	0,06	0,04	0,1	0,16
50	7,7	0,49	0,4	0,22	0,04	0,02	0,09	0,15
150	7,8	0,13	0,3	0,26	0,025	0,01	0,09	0,13

Наблюдается изменение pH лизиметрических вод в зависимости от того, с какого слоя взяты образцы; так, лизиметрические воды под покровом леса на глубине 0—5 см имеют слабокислую реакцию, а с глубины 0—50 см—слабощелочную; на прогалине под подстилкой реакция слабощелочная, а в 150-см слое щелочная.

Известно, что миграция металлов обусловлена также их физико-химическими свойствами, и потому сравнительный анализ поведения этих элементов, являющихся аналогами, позволяет выявить особенности миграции отдельных элементов.

Данные, приведенные в табл. 3 (3—6), указывают на некоторые перемещения элементов в рядах их содержаний в фильтратах различных

типов почв; так, в черноземах содержание марганца несколько превышает содержание железа, меняются местами Pb и B, а также Cu и Ni.

Наиболее сильно отличаются ряды содержаний элементов в фильтрах от их валовых содержаний в почвах. Так, Mn в ряду элементов в фильтрах переместился на 2-е и даже 1-е место, в почве же он находился на 3-ем месте; B также переместился на средние места, что указывает на сравнительно большую подвижность B и Mn в почвах.

Таблица 3

Ряды содержаний элементов в лизиметрических водах, почвах (валовое содержание) и по кларкам литосферы

Почва	Форма содержания	Ряды элементов
Лугово-бурья Горно-каштановая Горный чернозем Почвогрунты оз. Севан а) под покровом леса б) на проталине	В лизиметрических водах	$Fe > Mn > Ti > Pb > B > Cu > Ni$ $Fe > Mn > Ti > B > Pb > Ni > Cu$ $Mn > Fe > Ti > B > Pb > Cu > Ni$ $Mn > Ti > Fe > B > Pb > Cu = Ni$ $Fe > Mn > Ti > B > Pb > Ni > Cu$
Лугово-бурья Горно-каштановая Горный чернозем	Валовое содержание	$Fe > Ti > Mn > Ni > Cu > B$ $Fe > Ti > Mn > Ni = Cu > B$ $Fe > Ti > Mn > Ni = Cu > B$
По кларкам литосферы		$Fe > Ti > Mn > Ni > B \geq Cu > Pb$

Одним из наиболее удобных биогеохимических параметров миграции элементов-аналогов является их количественное соотношение, изменение которого при переходе из одних объектов в другие дает определенные сведения об их миграционных свойствах. Для этой цели мы использовали в качестве «опорного элемента» никель, содержание которого приняли за единицу.

В табл. 4 приводится относительное содержание элементов по сравнению с никелем. Данные указывают на значительное превышение отношений Fe/Ni и Ti/Ni в почве по сравнению с фильтрами; отношение B/Ni , наоборот, в фильтрате заметно больше по сравнению с почвой. Чтобы численно определить эти различия, мы рассчитали «наблюдаемые отношения» (НО). В данном случае

$$НО = \frac{\text{отношение содержания элемента к содержанию в фильтрате}}{\text{отношение содержаний тех же элементов в почве}}$$

Данные, приведенные в табл. 4, показывают значительную подвижность бора в исследуемых почвах (НО составляет 11—88). Слабее всего выражена подвижность железа. Несмотря на определенные различия по типам почв, полученные данные НО позволяют расположить исследуемые элементы по степени их подвижности в почвах в следующий нисходящий ряд: $B (10) > Cu = Mn = Ni (п) > Ti (0,1п) > Fe (0,0п)$. Интересно, что в такой же последовательности располагаются элементы по величине их КБП растениями ('), что свидетельствует о преобладающей роли фактора подвижности их в почве в накоплении элементов в растениях.

Таблица 4

Количественные отношения элементов с никелем и величины наблюдаемых отношений (НО) для пары фильтрат/почва

Почва		Fe, Ni		Mn, Ni		Ti, Ni		Cu, Ni		B, Ni	
		валовой	в фильтрате	валовой	в фильтрате	валовой	в фильтрате	валовой	в фильтрате	валовой	в фильтрате
Луговой бурый	отношения	364	10	12	35	57	20	0.4	1.6	0.08	7.0
	НО	0.11		2.9		0.3		4.0		88	
Горнокаштановая	отношения	600	52	21	24	70	15	0.8	0.8	0.12	5.2
	НО	0.09		1.1		0.2		1.0		43	
Горный чернозем	отношения	1080	30	25	34	120	13	1.0	1.0	0.32	3.6
	НО	0.03		1.4		0.1		1.0		11	

Проведенные исследования позволили установить некоторые различия в содержании тяжелых металлов и бора в фильтратах различных типов почв. Содержание свинца в фильтратах бурых почв превышает ПДК в 1,8 раза и связано с техногенным загрязнением. Высокое содержание исследуемых металлов отмечено в лизиметрических водах из-под подстилки под покровом леса. Расчеты биогеохимического параметра НО позволили выявить миграционную способность исследуемых тяжелых металлов и бора, располагающихся в следующий нисходящий ряд: В (10) > Cu = Mn = Ni (п) > Ti (0,1п) > Fe (0,0п), соответствующий рядам биологического поглощения их растениями.

Таким образом, получены данные, характеризующие водную миграцию тяжелых металлов в почвах и почвогрунтах, позволяющие полнее характеризовать миграционную структуру ландшафта.

Институт геологических наук Академии наук Армянской ССР

Գ. Ռ. ԲԱՐԱՏԱՆ, Ռ. Հ. ԽԵՂԱԶԱՆ, Լ. Ա. ԱՐԱՐԱՏՅԱՆ

Հողերում ծանր մետաղների և բորի ջրային միգրացիայի մասին

Հիդրոմետրիկ հետազոտությունների օգնությամբ ուսումնասիրվել է ծանր մետաղների (Fe, Mn, Ti, Ni, Cu, Pb) և բորի ջրային միգրացիան Հայաստանի ԽՍՀ լեռնային գորշ, լեռնային շագանակագույն հողերում, սևահողերում և Սևանա լճի հողագրունտներում: Պարզվել է, որ հիմնական աղտոտիչ է հանդիսանում կապարը, որի պարունակությունը գորշ հողերի արտադրադիմաց ջրերում 1,8 անգամ գերազանցում է կոնցենտրացիայի թույլատրելի սահմանը:

Տարրերի պարունակության զգալի նվազումը հողագրունտների ստորին շերտերում բացատրվում է ծառերի արմատներով դրանց ուժեղ կլանմամբ:

«Դիտվող հարաբերություններ», կենսակերպարիմիական ցուցանիշի օգնությամբ ստացված տվյալները թույլ են տվել պարզել, որ իրենց միգրացիոն հատկությամբ հետադուստվող տարրերը կազմում են հետևյալ շարքը՝ $B > Cu = Mn = Ni > Ti > Fe$, որը համապատասխանում է դրանց բույսերի կողմից կենսաբանական կլանման շարքին:

ЛИТЕРАТУРА—ԴՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Г. Б. Бабаян, Р. К. Рафаелян, Потери питательных веществ из основных типов почв Армении вследствие вымывания. Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1987. ² Р. Г. Реваян, О. Г. Воробьев, ДАН АрмССР, т. 84, № 2, 1987. ³ Г. С. Давтян, Г. Б. Бабаян, в кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР (республики Закавказья), Наука, М., 1965. ⁴ Ж. А. Амирджанян, Содержание микроэлементов в некоторых почвах бассейна оз. Севан АрмССР и эффективность применения микроудобрений. Автореф. канд. дис., Ереван, 1970. ⁵ С. М. Кашун, Содержание микроэлементов в некоторых типах почв АрмССР. Автореф. канд. дис., Ереван, 1972. ⁶ Почвы Армянской ССР, Айастан, Ереван, 1976. ⁷ А. Н. Перельман, Геохимия ландшафта. Высшая школа, М., 1966.

УДК 612.824:615.35

ФАРМАКОЛОГИЯ

Член-корреспондент АН Армянской ССР Э. С. Габриелян, С. Э. Акопов,
К. С. Тумасян

Исследование влияния β -адреноблокаторов на мозговой кровоток

(Представлено 20/V 1989)

β -адреноблокаторы являются классом лекарственных соединений, широко применяемых при сердечно-сосудистых заболеваниях и нашедших свое применение, особенно в последние годы, при нарушениях мозгового кровообращения (¹). Однако вопрос о характере влияния на мозговые сосуды и кровоток далек от окончательного решения; существующий фактический материал чрезвычайно противоречив. С одной стороны, классические воззрения на адренергическую регуляцию тонуса мозговых сосудов предусматривают увеличение под действием β -адреноблокаторов тонуса мозговых артерий с возможным снижением мозгового кровотока (²). Вместе с тем в работах ряда исследователей было установлено, что под действием β -адреноблокаторов, в частности пропранолола, возможно развитие церебральной вазодилатации, увеличение мозгового кровотока (³⁻⁴). Наиболее оправданной представляется точка зрения, согласно которой эффект β -адреноблокаторов на мозговую сосудистую сеть носит сложный характер и может включать, в зависимости от конкретных условий, различные по характеру изменения церебральной гемодинамики. При этом если механизмы сосудосуживающего эффекта β -адреноблокаторов относительно ясны, то причины сосудорасширяющего компонента их действия совершенно не изучены.

Все это диктует необходимость новых исследований характера и механизмов действия β -адреноблокаторов на состояние циркуляторного гомеостаза мозга, что и явилось целью настоящей работы.

Исследования выполнены на 40 кошках, наркотизированных нембуталом (50 мг/кг) или уретаном (600 мг/кг) с хлоралозой (50 мг/кг). С целью регистрации изменений сопротивления мозговых сосудов применялся метод резистографии в условиях стабилизации перфузионного давления, дающий возможность устранить влияние сдвигов системного артериального давления на внутричерепную гемодинамику. Резистографию осуществляли при помощи перистальтического насоса S—32 (ПНР), обеспечивающего постоянство поступающей в мозговые сосуды крови. Адекватный потребности животного объем перфузии устанавливался так, чтобы уровень перфузионного давления соответствовал величине системного артериального давления либо незначительно превышал его. Перфузируемая кровь нагнеталась из бедренной артерии во внутренние челюстные артерии, являющиеся ветвью наружной

сонной артерии, так как внутренняя сонная артерия у кошек редуцирована и питание мозга осуществляется в основном через позвоночные и внутренние челюстные артерии (⁵⁶).

Состояние микроциркуляции мозга исследовали методом черепного окна. Микрофотографии пинальных артерий и вен получали на микроскопе Wild; измерения диаметра сосудов проводили на телевизионном анализаторе «Видеоплан», по разработанной нами методике.

Объемный мозговой кровоток определяли при помощи новой модификации метода теплового клиренса. Сущность его состоит в подведении тепла к исследуемому участку и последующей регистрации там же спада температуры, который обусловлен главным образом кровотоком.

Сосудистые сегменты перфузировали на установке, детально описанной ранее (⁷), в режиме, соответствующем условиям реального кровотока. Изменение тонуса сосудистого сегмента контролировали по его диаметру, мониторинг которого осуществлялся с использованием блока оптической регистрации (модель 275 K/Hügo Saks Elektr, ФРГ). Удаление эндотелия осуществляли прогонкой сжатого воздуха.

Исследования показали, что в подавляющем большинстве экспериментов введение пропранолола вызывало снижение цереброваскулярного сопротивления (рис. 1). Эффект пропранолола был дозозависимым.

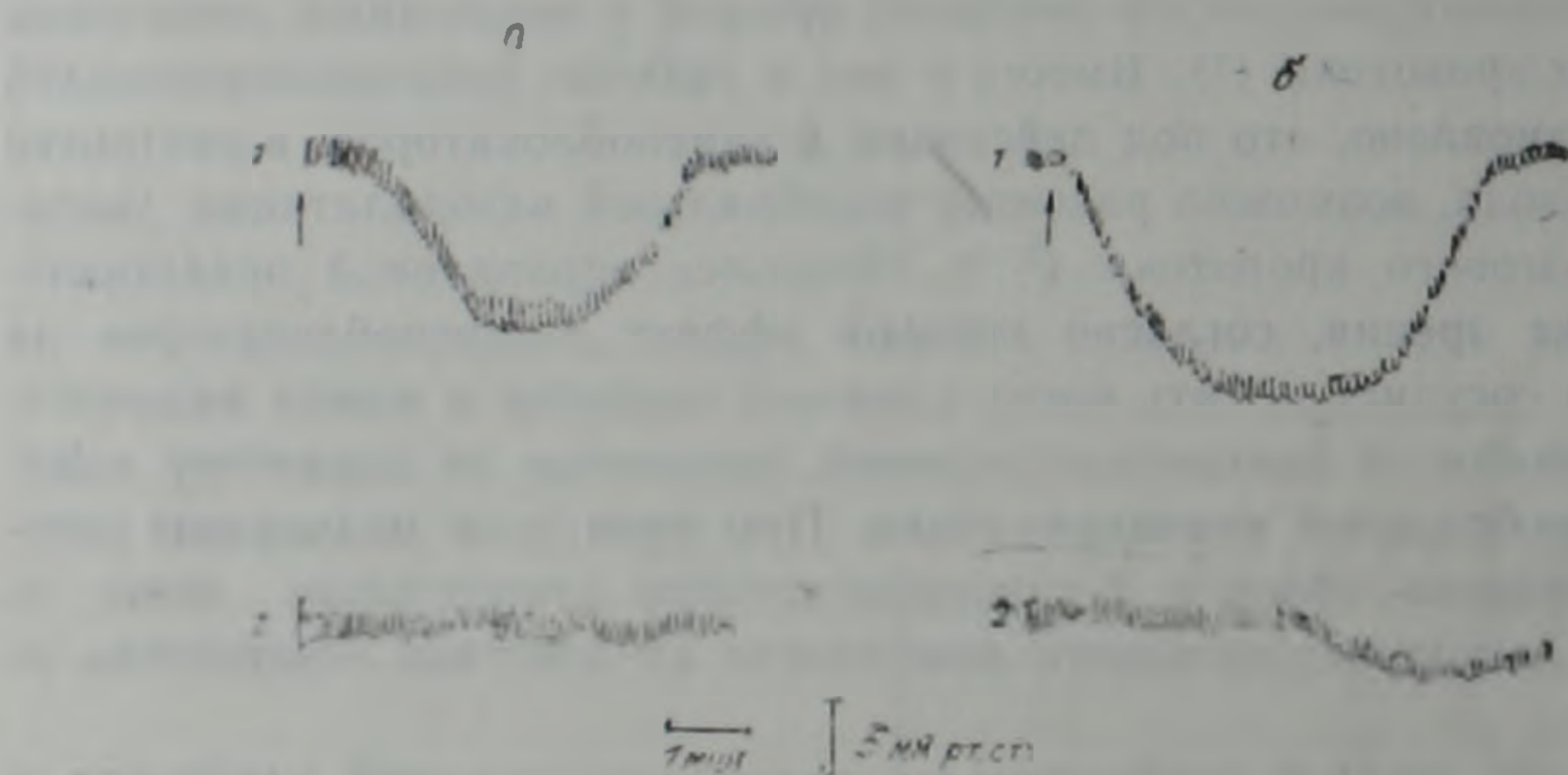


Рис. 1. Влияние пропранолола (а) и изадрина (б) на перфузионное (1) и артериальное (2) давление у наркотизированных кошек.

мым, причем перфузионное давление при введении пропранолола в дозе 0,03 мг/кг снижалось на $13,8 \pm 3,9$ мм рт. ст., а в дозе 0,1 мг/кг—на $20,7 \pm 6,7$ мм рт. ст.

Эффект изадрина также включал в себя снижение перфузионного давления и был более выражен, чем у пропранолола. Таким образом, проведенное исследование подтвердило возможность развития церебральной вазодилатации под действием β -адреноблокаторов. Продолжив исследования в этом направлении, мы провели анализ влияния изадрина и пропранолола на пинальные артерии и вены мозга. Оказалось, что и в этом случае как изадрин, так и пропранолол вызывают расширение пинальных артерий и в меньшей степени вен (рис. 2). Следует отметить, что имелись различия в эффектах пропранолола при внутривенном и внутриартериальном введениях. Если при внутриарте-

риальном введении сосудорасширяющий эффект пропранолола был выраженным, то при внутривенном его воздействие был маловыраженным и недостоверным.

Аналогичная зависимость наблюдается и во влиянии пропраноло-

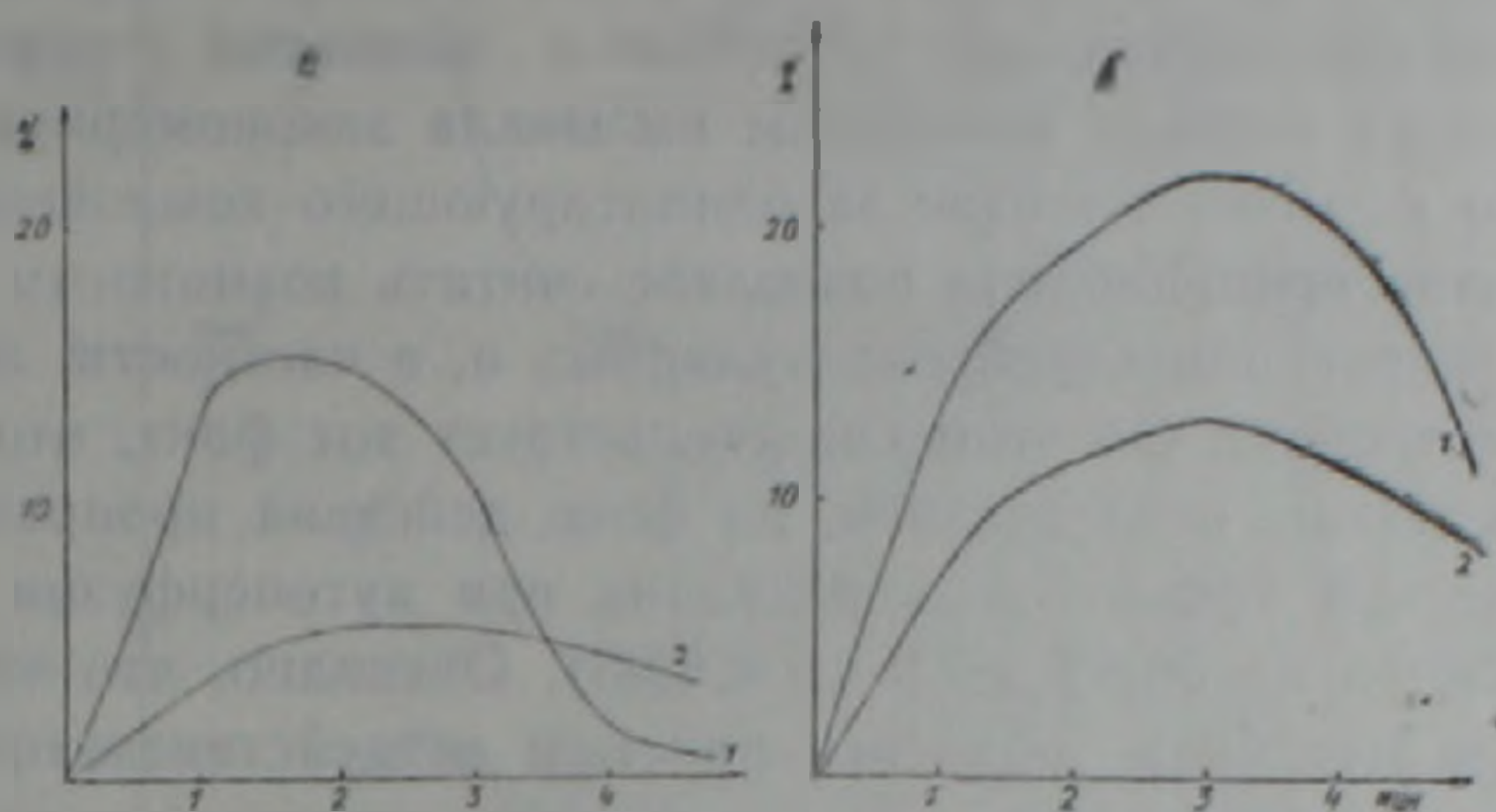


Рис. 2. Изменение диаметра инальных артерий (1) и вен (2) под действием изадрина (б) и пропранолола (а). По оси абсцисс—время после введения препарата в минутах, по оси ординат—изменение диаметра в процентах к исходному уровню

ла на объемный мозговой кровоток. Как видно на рис. 3, пропранолол при внутриартериальном введении вызывает дозозависимое увеличение мозгового кровотока, причем степень этого повышения весьма значи-

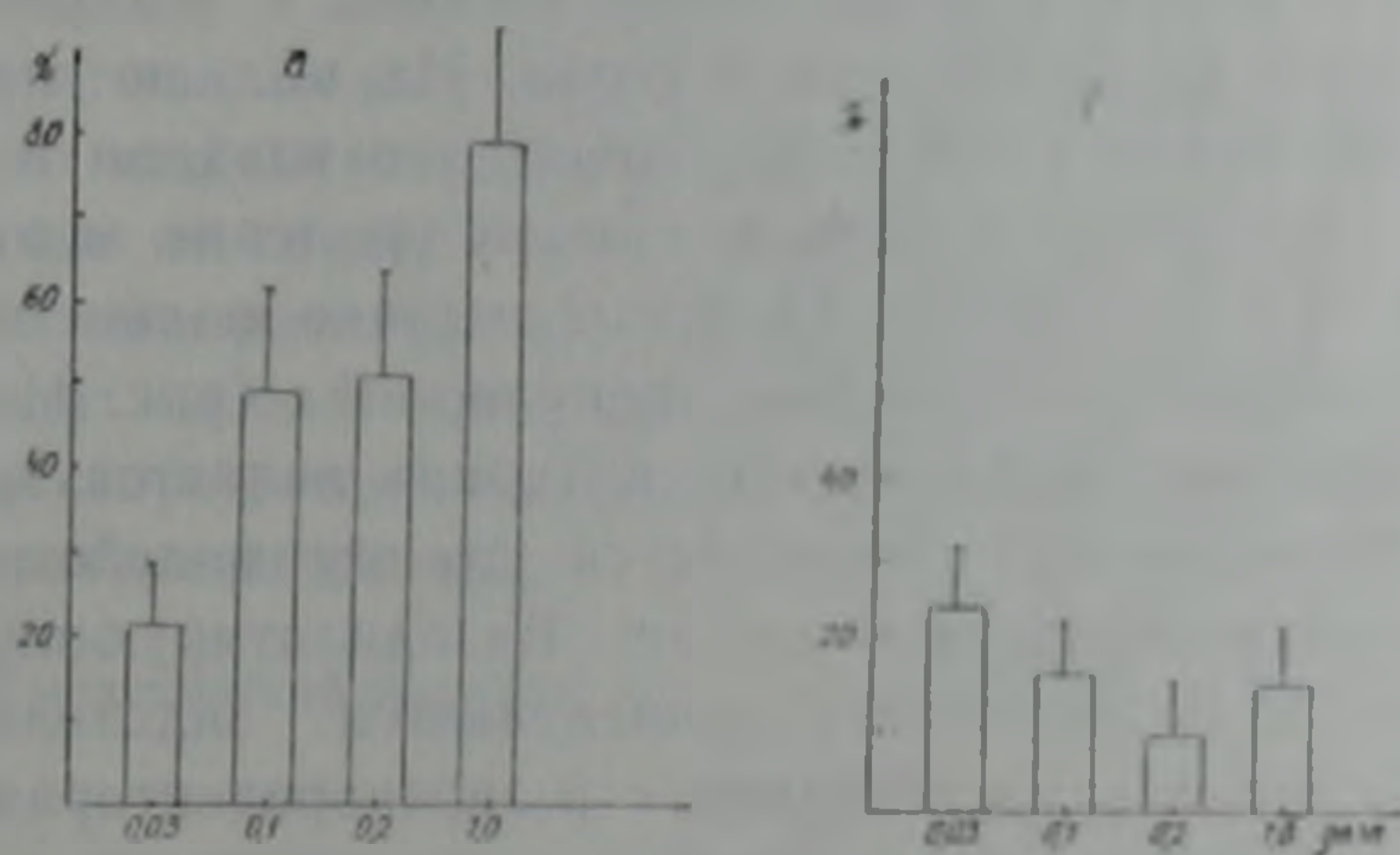


Рис. 3. Влияние пропранолола на объемный мозговой кровоток у наркотизированных кошек (регистрация методом СВЧ-радиографии): а—внутриартериальное введение, б—внутривенное введение. По оси абсцисс доза вводимого пропранолола, по оси ординат—изменение объемного мозгового кровотока в процентах к исходному уровню

тельна. При внутривенном введении эффект пропранолола гораздо меньше, причем в ряде наблюдений под его воздействием наблюдается снижение кровотока при стабильном артериальном давлении и увеличение кровотока со снижением АД.

Итак, согласно полученным данным, пропранолол в условиях стабилизированной перфузии и при внутриартериальном введении может

вызвать церебральную вазодилатацию и увеличивать мозговой кровоток. Различия в его эффектах при внутриартериальном и внутривенном введении, по-видимому, связаны с тем, что в последнем случае эффект определяется также воздействием пропранолола на центральную гемодинамику. Можно предположить, что вазодилатирующий эффект пропранолола по механизму не связан с блокадой β -адреноблокаторов, активация которых изадринном вызывала закономерную вазодилатацию. Тем не менее наличие вазодилатирующего компонента сосудистых эффектов пропранолола позволяет считать возможным его применение для коррекции цереброваскулярных и, в частности, ангиоспастических расстройств. Об этом свидетельствует тот факт, что, как показали проведенные исследования, на фоне действия пропранолола ангиоспастический эффект норадреналина при аутоперфузии мозга кошек снижается на $36,8\% \pm 7,9$ ($P < 0,05$). Очевидно, что этот эффект также не может быть объяснен простым воздействием пропранолола в виде блокады β -адренорецепторов. Чем же определяется способность пропранолола модулировать тонус мозговых сосудов? Следует отметить, что эта способность продемонстрирована и при исследовании ауторегуляции мозговых сосудов (⁸).

Для исследования этого вопроса было обращено внимание на возможность участия эндотелия в развитии сосудистых эффектов пропранолола. Известно, что эндотелий может высвобождать значительное количество вазодилатирующих агентов при самых различных воздействиях (⁹⁻¹¹) и тем самым опосредовать сосудорасширяющий эффект очень многих веществ. Однако применительно к β -адреноблокаторам данная проблема до сих пор не изучена. На модели перфузируемой сонной артерии кошки было установлено, что изадрин и пропранолол расслабляют сосудистые сегменты, причем удаление эндотелия практически не влияет на эффект изадрина, однако полностью устраняет, а иногда и извращает воздействие пропранолола (рис. 4). Отсюда следует, что воздействие β_1, β_2 -агониста изадрина является эндотелийнезависимым и, по-видимому, определяется его взаимодействием с рецепторами гладкой мускулатуры сосудов. Вазодилатирующий эффект же пропранолола (β_1, β_2 -антагонист) определяется эндотелием и может быть связан с его взаимодействием с β -адренорецепторами эндотелиоцитов. В этой связи важно отметить, что на эндотелии сосудов расположен только β_2 -подтип адренорецепторов. Поэтому представляло интерес сравнение вазотропной активности пропранолола и селективного β_1 -антагониста атенолола. Оказалось, что атенолол практически не влияет ни на сопротивление мозговых сосудов и диаметр пинальных артерий, ни на тонус перфузируемого сосудистого сегмента. Это подтверждает гипотезу о различной точке приложения при развитии вазодилатирующего эффекта β -агонистов и антагонистов. Если сосудорасширяющий эффект первых определяется взаимодействием с рецепторами гладкой мускулатуры, то воздействие вторых является эндотелийопосредованным и, возможно, определяется β_2 -рецепторами эндотелиоцитов, которые каким-то образом регулируют высвобождение из клеток вазодилататоров.

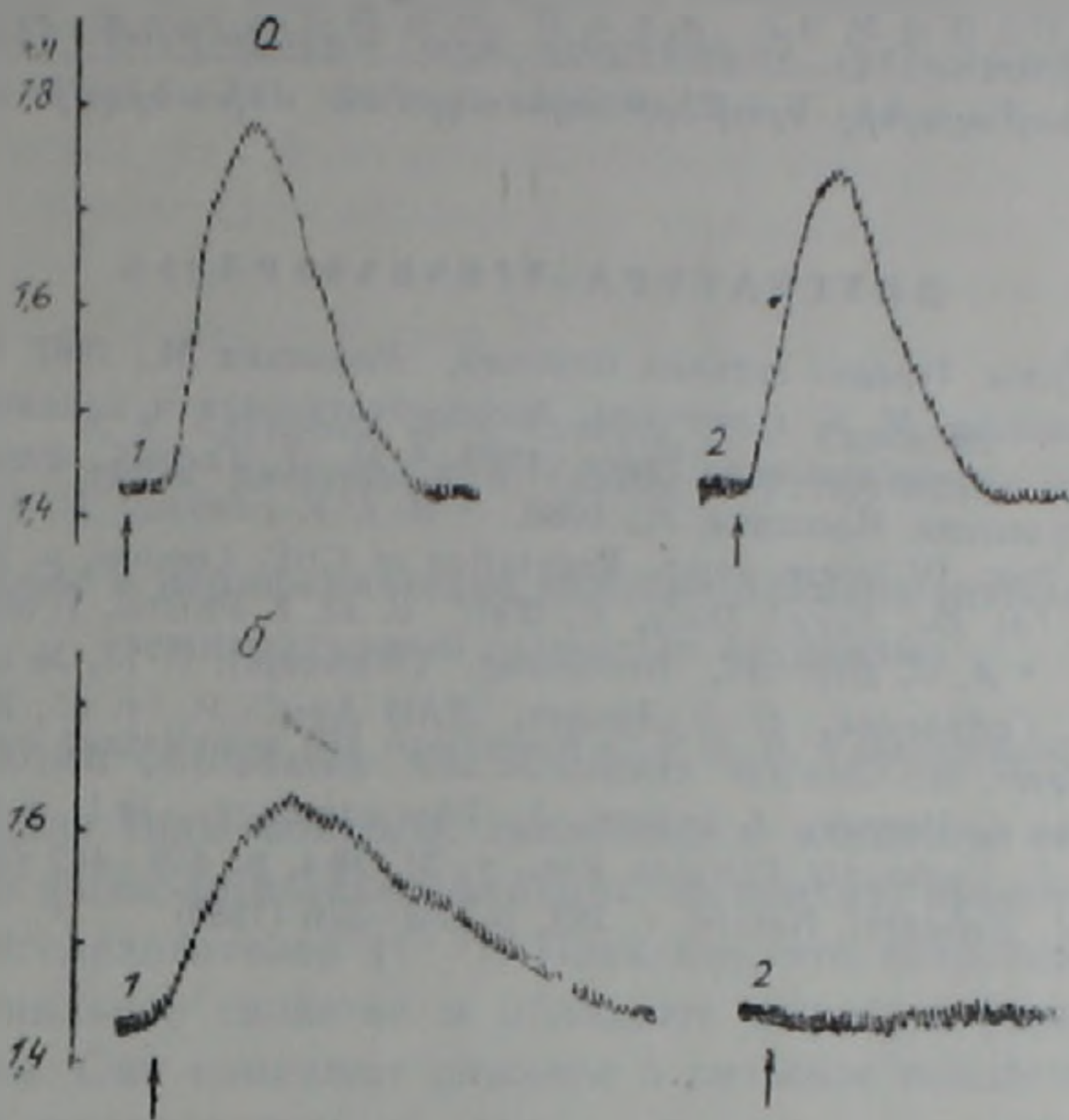


Рис. 4. Влияние изадрина (10^{-7} М) (а) и пропранолола (10^{-7} М) (б) на диаметр перфузируемой сонной артерии кошки: 1—реакция сосуда до дезэндоотелизации; 2—реакция сосуда после дезэндоотелизации. По оси ординат—диаметр сосуда в миллиметрах

Подводя итоги, можно заключить, что проведенные исследования демонстрируют сложную природу сосудистых эффектов пропранолола. Его воздействие на гладкую мускулатуру определяет способность пропранолола не вызывать вазоконстрикцию, эндотелиальный же компонент—вазодилатацию. В различных условиях может преобладать либо первое, либо второе, чем и определяется вышеотмеченная противоречивость литературных данных.

Ереванский медицинский институт

Հայկական ԽՍՀ ԳԱ Իզրակից անդամ է. Ս. ԴԱՐԻՆԵԼՅԱՆ, Ս. Է. ԱԿՈՊՈՎ, Կ. Ս. ՔՈՒՐՍՍՅԱՆ

Ուղեղի արյան շրջանառության վրա β -ադրենոլիկատորների նեբգործության հետազոտումը

Սուր փորձի պայմաններում հետազոտվել է β -ադրեներգիկ դեղամիջոցների ազդեցությունը ուղեղի ծափալային արյան շրջանառության, ուղեղային անոթների դիմադրողականության և նրբենու արյան միկրոշրջանառության վրա:

Բացահայտվել է, որ իզադրինը և պրոպրանոլոլը թուլացնում են անոթի պատի լարվածությունը, իսկ էնդոթելի հեռացումը լրիվ վերացնում է միայն պրոպրանոլոլի ազդեցությունը: Այստեղից կարելի է եզրակացնել, որ պրոպրանոլոլի ազդեցությունը անոթի մկանաթելերի վրա ունի միջնորդված

րնույթ, այսինքն իրագործվում է Հնդոթեյային բջիջների ափսիվութիւն փոփոխման ճանապարհով, հալմանը բար նրա ազդեցութեան հետեանքով այդ բջիջներէջ անոթալայնիչ նյութերի արտադրման մեխանիզմի օգնութեամբ:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ В. А. Карлов, Терапия нервных болезней, Медицина М., 1987. ² А. С. Саратиков, В. В. Белопасов, М. Б. Плотников, Экспериментальная и клиническая фармакология мозгового кровообращения, Томск, 1979. ³ М. Д. Гусев, Фармакология мозгового кровообращения, Медицина, М., 1980. ⁴ В. I. Yordanov, V. Vlanov, in: Brain a. blood flow. Proc. IV Intern. symp. Regulation of CBF, London, p. 223, 1973. ⁵ D. Chungchazoen, M. Dr. Burgh Daly, E. Well e. a., J. Physiol. (London), v. 117, p. 56-62 (1958). ⁶ A. G. Baptista, Neurosurg. (Minneapolis), v. 13, № 10, p. 825-831 (1963). ⁷ Э. С. Габриелян, С. Э. Акопов, ДАН АрмССР, т. 83, № 5, с. 226-231 (1986). ⁸ J. Meyer, in: Cerebral circulation and metabolism, Berlin, p. 545-547, 1975. ⁹ J. Van de Voordt, I. Leusen, J. Pharmacology, № 1, p. 113-120 (1983). ¹⁰ J. De Mey, P. Vanhoute, Circulat. Res., v. 31, № 4, p. 439-442 (1982). ¹¹ R. I. Furchgot, J. V. Zavadzki, Nature, v. 288, p. 373-376 (1980).

УДК 612.57

ФИЗИОЛОГИЯ

Р. А. Арутюнян, Л. А. Саакоеа, Д. С. Саркисян,
 Дж. К. Хачатрян, Г. Х. Саакян, К. Р. Арутюнян

Центральное и периферическое влияние лейцина-энкефалина на
 температурный гомеостаз организма

(Представлено академиком АН Армянской ССР В. В. Фанарджяном 5/XI 1989)

В последние годы вопросы, связанные с влиянием нейропептидов на различные физиологические функции организма, привлекали внимание многих исследователей (¹⁻⁹). Показано, что нейропептиды имеют полифункциональное свойство и обладают широким фармакологическим действием. Они изменяют пищевое и питьевое поведение, стимулируют выброс гонадотропных и других гормонов, регулируют сосудистый тонус, участвуют в модуляции и переработке информации о боли, «переносе памяти» и синаптической передачи, действуют на активность нервных клеток, активируют условнорефлекторную деятельность организма, снижают моторику желудочно-кишечного тракта и т.п. Что касается роли нейропептидов и особенно эндорфинов и энкефалинов в регуляции температурного гомеостаза организма, то этот вопрос остается недостаточно ясным.

В настоящей работе мы попытались выяснить особенности центрального и периферического влияния лейцина-энкефалина на поддержание температурного гомеостаза организма кроликов в хронических условиях опыта.

Методом высокочувствительной термографии у ненаркотизированных кроликов производили одновременную непрерывную регистрацию температуры «ядра» организма в области ободочной кишки, шейных мышц и переднего гипоталамуса и «оболочки» организма в области средней артерии ушных раковин. Регистрация температуры исследуемых точек проводилась с помощью термодатчиков, изготовленных из медной и константановой проволоки диаметром 0,1 мм на 12-канальном самопишущем потенциометре типа ЭПП—09—МЗ. Последний подключен к выходу фотоэлектрического усилителя типа Ф—116/2 с чувствительностью 0,013° для температуры органов «ядра» и 0,13° для температуры органов «оболочки» и термокамеры. Для регистрации мышечной температуры тела термодатчику вводили в мышцы шеи на глубину 2,5—3 см, а температуру ободочной кишки регистрировали на глубине 6—7 см. С целью хронической регистрации гипоталамической температуры «рабочие» спаянные медно-константановые термодатчики вживляли в медиальную преоптическую область гипоталамуса по координатам атласа Ц. К. Сойера и др. (¹). Для внутригипоталамического введения нейропептида по указанным координатам вместе с термодатчиком в передний

гипоталамус имплантировали тонкую канюлю диаметром 1 мм. Для регистрации артериальной температуры «рабочие» спай термопар перед каждым опытом прикрепляли на поверхности средней артерии ушных раковин с помощью липкого пластыря и коллодия. «Свободные» спай термопар помещали в ультратермостат типа У—10, где поддерживалась эталонная температура.

Проведены две серии опытов. В первой серии на 6 кроликах поставлено 11 опытов, в которых изучалось внутривенное влияние лейцина-энкефалина на вышеуказанные температурные параметры организма, а во второй—на 6 кроликах поставлены 13 опытов, в которых определялось внутригипоталамическое влияние лейцина-энкефалина на эти же параметры организма.

Порядок ведения опыта был следующий. В течение 30 мин производили контрольную синхронную регистрацию температуры переднего гипоталамуса, ободочной кишки, шейных мышц, артерии ушных раковин и экспериментальной камеры. Затем в передний гипоталамус с помощью специального микрошприца вводили лейцин-энкефалин в средней дозе 10,79 мкг/кг в объеме 10,79 мкл/кг, а внутривенно—в средней дозе 66,0 мкг/кг в объеме 66,0 мкл/кг бидистиллята. Специальное приучение кроликов к обстановке эксперимента позволило на спокойном животном вести регистрацию температуры различных областей организма в течение полутора часов без эмоциональных реакций.

Полученными результатами установлено, что внутривенное введение лейцина-энкефалина вызывало гипотермический эффект, и в 90% экспериментов температура ободочной кишки и переднего гипоталамуса в течение часа снижалась в среднем на $0,4-0,55^{\circ}$, а температура шейных мышц—в среднем на $0,46^{\circ}$ ($p < 0,05$). Что касается изменения температуры «оболочки» организма, то оказалось, что внутривенное введение лейцина-энкефалина вызывало вазоконстрикцию, которая в 90% экспериментов снижала температуру артерии ушных раковин в среднем на $2,74^{\circ}$ (табл. 1, рисунок).

Данные табл. 2 и рисунка показывают, что введение лейцина-энкефалина в медиальную преоптическую область гипоталамуса вызывало достоверный гипотермический эффект и через час средняя тем-

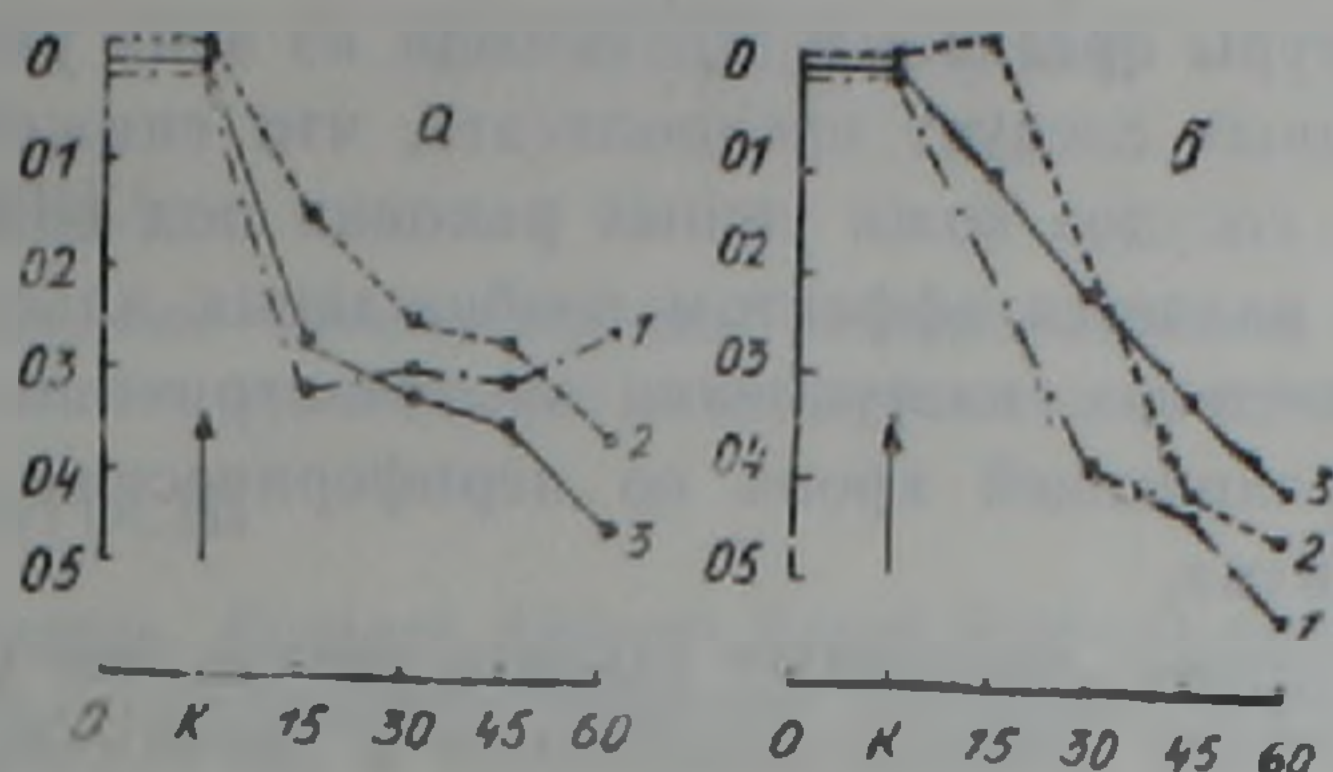
Таблица 1

Изменение температурных показателей органов «ядра» и «оболочки» организма при внутривенном введении лейцина-энкефалина

Показатели	Характер опыта			
	До введения лей-энкефалина	Через час после введения лей-энкефалина	Разница (ΔT)	Значимость, Р.
Температура «ядра»				
1. Ободочной кишки	$38,61 \pm 0,19$	$38,21 \pm 0,23$	$-0,4$	$< 0,1$
2. Шейных мышц	$38,93 \pm 0,22$	$38,47 \pm 0,10$	$-0,46$	$< 0,05$
3. Гипоталамуса	$38,29 \pm 0,32$	$37,74 \pm 0,26$	$-0,55$	$< 0,2$
Температура «оболочки»				
1. Средней артерии ушных раковин	$35,01 \pm 1,62$	$32,30 \pm 2,3$	$-2,74$	$< 0,1$

пература органов «ядра» снижалась в пределах $0,32-0,45^{\circ}$ ($p < 0,05$), а температура «оболочки» организма в среднем на $7,63^{\circ}$ ($p < 0,001$).

Анализируя полученные данные, можно заключить, что в норме лейцина-энкефалин участвует в поддержании температурного гомеоста-



Центральное и периферическое влияние лейцина-энкефалина на температурный гомеостаз организма: по оси абсцисс—контроль (К) и время опыта в минутах; по оси ординат— ΔT температуры гипоталамуса (1), шейных мышц (2) и ободочной кишки (3). Стрелками показано время введения лейцина-энкефалина в гипоталамус (А) и внутривенно (Б)

Таблица 2

Изменение температурных показателей органов «ядра» и «оболочки» организма при внутригипоталамическом введении лейцина-энкефалина

Показатели	Характер опыта			
	До введения лей-энкефалина	Через час после введения лей-энкефалина	Разница (ΔT)	Значимость Р.
Температура «ядра»				
1. Ободочной кишки	$38,30 \pm 0,10$	$37,85 \pm 0,13$	$-0,45$	$< 0,001$
2. Шейных мышц	$38,13 \pm 0,18$	$37,77 \pm 0,20$	$-0,36$	$< 0,1$
3. Гипоталамуса	$37,90 \pm 0,13$	$37,58 \pm 0,12$	$-0,32$	$< 0,05$
Температура «оболочки»				
1. Средней артерии ушных раковин	$35,59 \pm 0,21$	$27,96 \pm 0,96$	$-7,63$	$< 0,001$

за организма. Увеличение его концентрации как в крови, так и в гипоталамусе вызывает гипотермический эффект и снижает температуру как «ядра» организма, так и его «оболочки». Механизм гипотермического эффекта лейцина-энкефалина сложен и мало изучен. Известно, что энкефалины тормозят высвобождение дофамина и норадреналина из везикулов симпатических нервных клеток ⁽²⁾ и подавляют секрецию тиреотропного гормона в организме ⁽³⁾. Исходя из этих данных можно предполагать, что снижение температуры «ядра» организма при экзогенном введении лейцина-энкефалина является результатом уменьшения общего уровня норадреналина и тироксина в организме и снижения как гликолиза, так и протеолитических и других процессов термогенеза в эффекторах термообразования организма. Такое предположение подтверждается не только снижением температуры кишечника и мозга как органов несократительного термогенеза, но и снижением

температуры скелетной мускулатуры как органов сократительного термогенеза.

Что касается механизма снижения температуры «оболочки» организма, то известно, что возбуждение бета-адренорецепторов ослабляет, а альфа-адренорецепторов—усиливает сократительную активность гладкой мускулатуры организма (⁴). Исходя из этих указаний и полученных нами данных следует предполагать, что снижение температуры артериальных сосудов кожи ушных раковин под воздействием лейцина-энкефалина является эффектом возбуждения альфа-адренорецепторов сосудистых стенок, наступления вазоконстрикции и уменьшения количества циркулирующей крови по периферическим сосудам и к «оболочке» организма.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что увеличение концентрации эндогенного лейцина-энкефалина в организме вызывает гипотермический эффект и снижает температуру как органов «ядра», так и «оболочки» организма.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели
Академии наук Армянской ССР

Թ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Լ. Ա. ՍԱՀԱԿՈՎԻ, Դ. Ս. ՍԱՐԴՈՅԱՆ, Զ. Կ. ԿԱԶԱՏՐՅԱՆ,
Հ. Կ. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, Բ. Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Լեյցին-էնկեֆալինային կենտրոնական և ծայրամասային ազդեցությունը օրգանիզմի ջերմային հոմեոստազի վրա

Ապացուցված է, որ լեյցին-էնկեֆալինը մասնակցում է օրգանիզմի ջերմային հոմեոստազի պահպանմանը: Նրա քանակի ավելացումը, ինչպես արյան մեջ, այնպես էլ ուղեղային հյուսվածքում հարուցում է հիպոթերմիա և ուղեղի, շրջանաձև աղու և կմախքային մկանների ջերմությունը իջնում է $0,32$ -ից մինչև $0,55^{\circ}$, իսկ տկանջախեցու դարկերակային անոթի ջերմությունը՝ մինչև $7,63^{\circ}$: Ենթադրվում է, որ լեյցին-էնկեֆալինի հիպոթերմիկ ազդյունքը պայմանավորված է օրգանիզմի ջերմարտադրության վրա սինպաթոադրեներգիկ համակարգի ազդեցության թուլացմամբ:

ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ — Л И Т Е Р А Т У Р А

- ¹ C. H. Sawyer et al. Comp. Neurol., v. 101, p. 801–824 (1954). ² Օ. Н. Чичиков, Фармакология и токсикология, т. 41, № 2, с. 245–258 (1978). ³ T. May, J. Mitter, Hormone Metab. Res, v. 11, p. 30–33 (1979). ⁴ В. Н. Овсянников, О. Ю. Гришин, в сб.: Симпозиум физиология пептидов, Л., с. 145–146 (1988). ⁵ Ю. П. Пушкарёв, О. Н. Иванова, в сб.: Симпозиум физиология пептидов, Л., с. 160 (1988). ⁶ J. D. Belluzzi, Nature, v. 260, p. 625–626 (1976). ⁷ A. W. Dugan et al. Nature, v. 264, p. 456–458 (1976). ⁸ R. F. Diellone, J. Physiology (L), v. 250, p. 29–30 (1975). ⁹ F. Bloom et al. Science, v. 194, p. 630–632 (1976).