

11-168

XV 7



ISSN 0002-3078

АЗƏРБАЙҶАН ССР ЕЛМЛƏР АНАДЕМИЈАСЫ  
АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

# МƏРУЗƏЛƏР ДОКЛАДЫ

ТОМ XL ЧИЛД

7 • 1984

4-118



ДАН Азерб. ССР публикует краткие сообщения об оригинальных, нигде не печатанных ранее, результатах научных исследований, представленные академиками АН Азерб. ССР, которые тем самым берут на себя ответственность за научные достоинства представляемой статьи.

В «Докладах» не публикуются крупные статьи, механически разделенные на ряд отдельных сообщений, статьи полемического характера, без новых фактических сообщений, статьи полемического характера, без новых фактических данных, статьи с описанием промежуточных опытов, без определенных выводов и обобщений, чисто методические статьи, если предлагаемый метод не является принципиально новым, а также статьи по систематике растений и животных (за исключением описания особо интересных для науки находок).

Будучи органом срочной информации, журнал «ДАН Азерб. ССР» принимает и отбирает к печати статьи, объем которых допускает их публикацию в установленные решением Президиума АН Азерб. ССР сроки.

В связи со всеми перечисленными ограничениями отклонение статьи редакцией «Доклады АН Азерб. ССР» означает только, что она не согласуется с требованиями и возможностями этого журнала и не исключает ее публикации в других изданиях.

### ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Доклады АН Азерб. ССР» просит авторов руководствоваться приведенными правилами и надеется, что авторы ознакомятся с ними прежде, чем пришлют статью в редакцию.

Статьи, присланные без соблюдения этих правил, к рассмотрению не принимаются.

1. Статьи, направляемые в редакцию, должны иметь представление члена АН СССР или академика АН Азерб. ССР, если оно требуется (см. выше).

Статьи с просьбой направить их на представление редакцией не принимаются.

2. Статья публикуется по мере поступления. Единственным поводом для внеочередной публикации является исключительная важность сообщения и соображения приоритета. Для этого необходимо специальное решение редколлегии.

3. Как правило, редакция направляет представленные статьи на рецензию.

4. «Доклады» помещают не более трех статей одного автора в год. Это правило не распространяется на членов АН СССР, академиков Академии наук Азерб. ССР.

5. Авторы должны определить раздел, в который следует поместить статью, а также дать индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК). К статье прилагается отпечатанный на машинке реферат в двух экземплярах, предназначенный для передачи в один из реферативных журналов ВИННИТИ.

6. В конце статьи нужно указать полное название учреждения, в котором выполнено исследование, фамилии всех авторов а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный и домашний) каждого соавтора.

Кроме того, авторский коллектив должен указать лицо, с которым редакция будет вести переговоры и переписку.

7. Возвращение рукописи автору на доработку не означает, что статья принята к печати. После получения доработанного текста рукопись вновь рассматривается редколлегией. Доработанный текст автор должен вернуть вместе с первоначальным экземпляром статьи, а также ответом на все замечания. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

8. В «Докладах» публикуются статьи, занимающие не более  $\frac{1}{4}$  авторского листа (6 страниц машинописи). В этот объем входят текст, таблицы, библиография (не больше 15 источников) и рисунки, число которых не должно превышать четырех, включая и обозначения «а», «б» и т. д. в том числе вклейки на мелованной бумаге. Вклейки даются только для микрофотографий большого увеличения. Штриховые рисунки (карты, схемы и т. п.) на вклейках не печатаются, а даются на кальке. Текст и графический материал представляются в двух экземплярах. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и графиках недопустимо. Рисунки должны быть выполнены четко, в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей. Фотографии представляются на глянцевой бумаге. Подписи к рисункам должны быть напечатаны в 2-х экземплярах через два интервала на отдельной странице. На обороте рисунков мягким карандашом указываются фамилии авторов, название статьи и номер рисунка.

(Продолжение на третьей странице обложки)

# МƏ'РУЗƏЛƏР ДОКЛАДЫ

ТОМ XL ЧИЛД

И\*





РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Э. Ю. Салаев (главный редактор), Г. Б. Абдуллаев, М. Т. Абасов, Ал. А. Ализаде, (зам. главного редактора), В. С. Алиев, Г. А. Алиев, Дж. А. Алиев, И. Г. Алиев, Дж. Б. Гулиев, Н. А. Гулиев, М. З. Джафаров, Ф. Г. Максудов, А. А. Надиров, Ю. М. Сендов (зам. главного редактора), М. А. Усейнов, Г. Г. Зейналов (ответств. секретарь).

Я. Э. АЛИЕВ, Г. Ф. АЛИЕВ

О ПРИБЛИЖЕННОМ РЕШЕНИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ  
ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ  
НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ф. Г. Максудовым)

Рассматривается следующая краевая задача

$$x''(t) + f[t, x(t), x(t + \tau(t)), x''(t), x''(t + \tau(t))] = 0 \quad (0 \leq t \leq T), \quad (1)$$

$$x(0) = x_0, \quad x(T) = x_T,$$

$$x(t) = \begin{cases} \varphi(t) & \text{на } E_0 = [\inf\{t + \tau(t)\}, 0] \\ \psi(t) & \text{на } E_T = [T, \sup\{t + \tau(t)\}], \end{cases} \quad x''(t) = \begin{cases} \varphi_1(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_1(t) & \text{на } E_T. \end{cases} \quad (2)$$

здесь функция  $f(t, x, y, z, q)$  определена и непрерывна в  $K = [0, T] \times \times [-r, r] \times [-r, r] \times [-r'', r''] \times [-r'', r'']$ ;  $\tau(t)$  — непрерывная дифференцируемая функция, причем  $-1 < \alpha \leq \tau'(t) \leq \beta < 1$ .  $\varphi(\cdot), \psi(\cdot)$  — непрерывные соответствия на  $E_0$  и  $E_T$  функции.

Аппроксимируем задачу (1) — (2) следующим образом:

$$x_{n+1}''(t) + f[t, x_{n+1}(t), x_n(t + \tau(t)), x_{n+1}''(t), x_n''(t + \tau(t))] = 0, \quad (3)$$

$$0 \leq t \leq T,$$

$$x_{n+1}(0) = x_0, \quad x_{n+1}(T) = x_T, \quad x_n(t) = x_0, \quad 0 \leq t \leq T,$$

$$x_{n+1}(t) = \begin{cases} \varphi(t) & \text{на } E_0, \\ \psi(t) & \text{на } E_T, \end{cases} \quad x_{n+1}''(t) = \begin{cases} \varphi_1(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_1(t) & \text{на } E_T, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\lambda_0(t) (|\lambda_0(t)| \leq r)$  — некоторая непрерывная функция. Здесь предполагается, что при любой фиксированной непрерывной функции  $\alpha(t) (|\alpha(t)| \leq r)$  задача

$$x''(t) + f[t, x(t), \alpha(t + \tau(t)), x''(t), \alpha''(t + \tau(t))] = 0, \quad (0 \leq t \leq T),$$

$$x(0) = x_0, \quad x(T) = x_T,$$

$$x(t) = \begin{cases} \varphi(t) & \text{на } E_0, \\ \psi(t) & \text{на } E_T, \end{cases} \quad \alpha''(t) = \begin{cases} \varphi_\alpha(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_\alpha(t) & \text{на } E_T \end{cases}$$

имеет единственное решение  $x(t) (|x(t)| \leq r, |x''(t)| \leq r'')$  и его можно найти. Имеет место.

Теорема 1. Пусть функция  $f(t, x, y, z, q)$  определена непрерывно в  $K$  и удовлетворяет условию

$$|f(t, x, y, z, q) - f(t, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{q})| (x - \bar{x}) \leq \leq L_1(x - \bar{x})^2 + L_2(y - \bar{y})^2 + L_3[(z - \bar{z}) + (q - \bar{q})] (x - \bar{x}),$$

где  $L_1, L_2, L_3$  — положительные числа, подчиненные условиям

$$\sqrt{\frac{2L_1 + L_3}{1 + L_3}} T \leq \frac{\pi}{2}, \quad L_3 < \frac{2}{2\tau_0 + \tau_2},$$



$$0 < \alpha = \frac{L_2 [2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3] + L_3 (2\tau_0 + \tau_2) L_2 \tau_0}{2\sqrt{2L_1(1+L_3)} [2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3] - T [(2 + \tau_0 - \tau_1) L_3 + 2L_2 (2\tau_0 + \tau_2) + (L_1 + L_3 \tau_1)]} < 1,$$

здесь

$$\tau_0 = \sup [1 + \tau'(t)]^{-1}, \tau_1 = \sup [|\tau''(t)| [1 + \tau'(t)]^4], \\ \tau_2 = \sup [1 + \tau'(t)]^{-2}.$$

Тогда решение задачи (1)–(2) единственно (если оно существует) и функции  $x_n(t)$ , определенные из задачи (3)–(4), сходятся к этому решению. Скорость сходимости определяется с помощью следующей формулы:

$$|x^n(t) - x(t)| \leq C^{(0)} \alpha^{\frac{n}{2}}, \|v_0\| = \left[ \int_0^T |x(t) - x_0(t)|^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

$$C^{(0)} = \{T \|v_0\|^2 [2(L_1 + L_3 \tau_1) \alpha + L_2 \tau_0] / [2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3]\}^{\frac{1}{2}}.$$

Доказательство. Докажем справедливость (5). Отсюда будет следовать сходимость  $x_n(t)$  к решению задачи (5). Введем обозначения

$$\tau_n(t) = x_n(t) - x(t).$$

Тогда получим

$$V_{n+1}'(t) V_{n+1}(t) \geq -L_1 V_{n+1}^2(t) - L_2 V_n^2(t) + \tau(t) + L_3 [V_{n+1}(t) + V_n(t + \tau(t))] V_{n+1}(t).$$

Теперь проинтегрируем это неравенство от 0 до  $T$ .

$$\int_0^T V_{n+1}^2(t) dt \leq \frac{2(L_1 + L_3 \tau_1)}{2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3} \int_0^T V_{n+1}^2(t) dt + \frac{2L_2 \tau_0}{2T(2 - 2\tau_0 - \tau_2)} \int_0^T V_n^2(t) dt. \quad (6)$$

Предположим, что  $\Phi(t, U)$  непрерывна и обобщенно монотонна по  $U$ . Пусть непрерывная функция  $V(t)$ , определенная на  $[0, T]$ , удовлетворяет неравенству

$$D_B V + \Phi(t; V) \geq 0, V(0) = U^*, V(T) = U^*(T).$$

Тогда

$$V(t) \leq U^*(t), \quad (0 \leq t \leq T), \quad (7)$$

где  $U^*(t)$  — решение уравнения  $U''(t) + \Phi(t, U) = 0$ .

На следующем этапе, применяя (7) и решая полученную задачу, имеем:

$$V_{n+1}^2(t) \leq \frac{L_2}{V 2L_1(1+L_3)} \int_0^T V_n^2(t) dt + \frac{L_3}{V 2L_1(1+L_3)} \left( \frac{2\tau_0 + \tau_2}{2} \int_0^T V_{n+1}^2(t) dt + \frac{\tau_2 + \tau_1}{2} \int_0^T V_{n+1}^2(t) dt \right).$$

Очевидно, что

$$\int_0^T V_{n+1}^2(t) dt \leq \alpha \int_0^T V_n^2(t) dt \quad (8)$$

Пользуясь оценкой (8) в (6), получим

$$|V_{n+1}(t)| \leq \left\{ \frac{T \|V_0\|^2}{[2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3]} [2(L_1 + L_3 \tau_1) \alpha + L_2 \tau_0] \right\}^{\frac{1}{2}} \alpha^{\frac{n}{2}}.$$

Следовательно (5) имеет место для всех  $n = 0, 1, 2, \dots$ .

Теперь рассмотрим краевую задачу

$$x''(t) + f[t, x(t), x(t + \tau(t)), x'(t), x'(t + \tau(t)), x''(t), x''(t + \tau(t))] = 0, \\ (0 \leq t \leq T), \\ x(0) = x_0, x(T) = x_T, \quad (9)$$

$$x(t) = \begin{cases} \varphi_2(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_2(t) & \text{на } E_T, \end{cases} \quad x'(t) = \begin{cases} \varphi_3(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_3(t) & \text{на } E_T, \end{cases} \\ x''(t) = \begin{cases} \varphi_4(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_4(t) & \text{на } E_T. \end{cases} \quad (10)$$

Задача (9)–(10) аппроксимируется следующим образом:

$$x_{n+1}'(t) + f[t, x_{n+1}(t), x_n(t - \tau(t)), x_{n+1}'(t), x_n'(t + \tau(t)), x_{n+1}''(t), x_n''(t + \tau(t))] = 0, \quad (0 \leq t \leq T), \quad (11)$$

$$x_{n+1}(0) = x_0, x_{n+1}(T) = x_T, x_0(t) = x_0, (0 \leq t \leq T), (n = 0, 1, 2, \dots),$$

$$x_{n+1}(t) = \begin{cases} \varphi_2(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_2(t) & \text{на } E_T, \end{cases} \quad x_{n+1}'(t) = \begin{cases} \varphi_3(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_3(t) & \text{на } E_T, \end{cases} \\ x_{n+1}''(t) = \begin{cases} \varphi_4(t) & \text{на } E_0, \\ \psi_4(t) & \text{на } E_T. \end{cases} \quad (12)$$

Предполагается, что при любой фиксированной непрерывной функции  $\alpha(t)$  ( $|\alpha(t)| \leq r$ ) задача

$$x''(t) + f[t, x(t), \alpha(t + \tau(t)), x'(t), \alpha'(t + \tau(t)), x''(t), \alpha''(t + \tau(t))] = 0, \quad 0 \leq t \leq T, \\ x(0) = x_0, x(T) = x_T$$

имеет единственное решение  $x(t)$   $|x(t)| \leq r, |x'(t)| \leq r', |x''(t)| \leq r''$ . Имеет место

Теорема 2. Пусть функция  $f(t, x, y, z, \eta, \xi, \zeta)$  определена непрерывно в  $R$  и удовлетворяет условию

$$|f(t, x, y, z, \eta, \xi, \zeta) - f(t, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{\eta}, \bar{\xi}, \bar{\zeta})| (x - \bar{x}) \leq \\ \leq L_1 (x - \bar{x})^2 + L_2 (y - \bar{y})^2 + L_3 (z - \bar{z})^2 + L_4 (\eta - \bar{\eta})^2 + \\ + L_5 [(\xi - \bar{\xi}) + (\zeta - \bar{\zeta})] (x - \bar{x}),$$

где  $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$  — положительные числа, подчиненные условиям

$$\sqrt{\frac{2L_1}{1 + L_3 + 2L_4 + 3L_5}} T < \frac{\pi}{2}, L_3 < \frac{2}{2\tau_0 + \tau_2 + \tau_1}.$$



$$0 < \beta = \frac{L_2 [2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3 + L_3 (2\tau_0 - \tau_2) L_2 \tau_0 + L_4 (2\tau_0 - \tau_2) + L_5 \tau_0 - T [L_3 \tau_1 [2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3] + 2L_2 (2\tau_0 + \tau_2) (L_1 + L_3 \tau_1) + L_4 (\tau_0 - \tau_2) + L_5 (L_2 + L_3 \tau_1)]]}{2\sqrt{2}L_1(1+L_3) [2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3] -} < 1.$$

Тогда решение задачи (9)–(10) единственно (если оно существует) и функции  $x_n(t)$ , определенные из задачи (11)–(12), сходятся к этому решению.

Скорость сходимости определяется с помощью формулы:

$$|x_n(t) - x(t)| \leq M\beta^{\frac{n}{2}}, \quad \|V_0\| = \left[ \int_0^T |x(t) - x_0(t)|^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Доказательство. Отметим, что из формул (13) следует утверждение теоремы. Для доказательства (13) введем обозначения

$$V_n(t) = x_n(t) - x(t).$$

Имеем

$$V_{n+1}'(t) V_{n+1}(t) \geq -[L_2 V_{n+1}^2(t) + L_2 V_n^2(t + \tau(t)) + L_3 V_{n+1}'^2(t) + L_4 V_n'^2(t + \tau(t)) + L_5 (V_{n+1}'(t) + V_n'(t + \tau(t))) V_{n+1}(t)].$$

Интегрируя это неравенство от 0 до  $T$ , получим

$$\int_0^T V_{n+1}^2(t) dt \leq \frac{L_2 (2\tau_0 - \tau_2) L_2 \tau_0}{2 + (2 - 2\tau_0 - \tau_2) L_3} \int_0^T V_{n+1}^2(t) dt + \frac{2L_4 \tau_0 + L_3}{L_4 (\tau_0 - \tau_2) + L_5 \tau_1} \int_0^T V_n^2(t) dt. \quad (14)$$

Проведя некоторые преобразования для  $V_{n+1}(t)$ , имеем краевую задачу:

$$(V_{n+1}^2(t))' + \frac{1}{2} (L_1 + L_3) V_{n+1}^2(t) \geq F_n(t),$$

$$V_{n+1}^2(0) = 0, \quad V_{n+1}^2(T) = 0 \\ V_{n+1}(t) = 0, \text{ на } E_0, E_T,$$

здесь

$$F_n(t) = -\frac{1}{2} L_2 V_n^2(t + \tau(t)) - \frac{1}{2} L_4 V_n'^2(t + \tau(t)) - L_5 V_n'(t + \tau(t)) V_n(t).$$

Далее, применяя теорему о дифференциальных неравенствах, получим

$$V_{n+1}^2(t) \leq U_n(t), \quad (0 \leq t \leq T),$$

где  $U_n(t)$  — решение краевых задач

$$U''(t) + \frac{1}{2} (L_1 + L_3) U(t) = F_n(t), \quad U(0) = U(T) = 0.$$

Решая эту задачу, и учитывая оценку (14), рекуррентным способом нетрудно доказать неравенство (13).

## Литература

1. Алиев Р. М., Алиев Г. Ф. Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-тех. и матем. наук, № 2, 1979.
2. Эльсгольц Л. Э., Норкин С. Б. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. М.: Наука, 1971.
3. Алиев Г. Ф., Мамедов Я. Д. Дифференц. уравнения, 8, № 5, 1972.

Институт математики и механики  
АН Азерб. ССР

Поступило 1. II. 1982

Ж. Э. Әлиев, Н. Ф. Әлиев

## НЕЙТРАЛ ТИП ГЕЈРИ-ХӘТТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТӘНЛИКЛӘР ҮЧҮН СӘРҲӘД МӘСЭЛЭЛӘРИНИН ТӘГРИБИ ҺӘЛЛИ ҺАГГЫНДА

Мағаләдә мејлли аргументли икинчи тәртиб гејри-хәтти дифференциал тәнликләр үчүн сәрһәд мәсәләләриндән бәһс олунур. Мәсәләләрин тәғриби һәлли үчүн мүүәјјән интеграсија просеси әсәсләндирилир, просесини јығылмасы исбат олунур вә сүрәти тәјмәтләндирилир.

Ya. E. Aliev, G. F. Aliev

## ON THE APPROXIMATION OF THE SOLUTION OF THE EDGE PROBLEMS FOR NON-LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS OF NEUTRAL TYPE

In the paper the edge problem for the non-linear differential equations of the second order with the deviating argument is considered. The approximation of these problems is based on some iterative process. The convergence of this process is proved, and the estimation of its convergence velocity is given.



В. Н. ФИЛИПОВ

# О НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМАХ УРАВНЕНИЙ СВЕРТКИ В ПРОСТРАНСТВЕ ГОЛОМОРФНЫХ ФУНКЦИЙ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР И. Н. Ибрагимовым)

1. Пусть  $D$  — двуклая область в  $\mathbb{C}^n$ ,  $H(D)$  — пространство голоморфных в  $D$  функций с топологией компактной сходимости,  $H^*(D)$  — сопряженное к  $H(D)$  пространство с топологией равномерной сходимости на ограниченных множествах из  $H(D)$ . Через  $H^l(D)$  обозначим топологическое произведение  $l$  экземпляров  $H(D)$ . Пусть  $M = (\mu_{kj})$ ,  $k = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, l$ , — матрица, элементы которой есть некоторые комплекснозначные меры с компактными носителями в  $D$ . В пространстве  $H^l(D)$  рассмотрим неоднородную систему уравнений свертки

$$\sum_{j=1}^l \mu_{kj} * f_j = g_k, \quad k = 1, \dots, m. \quad (1)$$

где  $g_k \in H(D+K)$ , а компакт  $K$  определяется носителями мер  $\mu_{kj}$ .

Существование решения системы уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами, являющейся частным случаем системы (1), впервые доказано Л. Эренпрайсом [1] и Б. Мальгранжем [2].

Отметим, что система вида (1) рассматривалась В. В. Напалковым [3] при  $l=1$  в пространстве целых функций конечной степени, меньшей  $p = (p_1, \dots, p_n)$ , Л. Харальдом [4] в пространстве целых функций экспоненциального типа в  $\mathbb{C}^n$ . В данной работе система (1) рассматривается в пространстве  $H^l(D)$  при условии, что определяющие множества функционалов, задаваемых мерами  $\mu_{kj}$ ,  $k = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, l$ , есть начало координат (в этом случае  $K = \{0\}$  и  $g_k \in H(D)$ ,  $k = 1, \dots, m$ ).

2. Пусть  $D_v \subset D$ ,  $v = 1, 2, \dots$  — последовательность ограниченных выпуклых областей, таких, что

$$D_v \subset D_{v+1}, \quad D = \bigcup_{v=1}^{\infty} D_v.$$

Через  $P_D$  обозначим множество всех целых функций  $\varphi(z)$  экспоненциального типа, для которых справедлива оценка  $|\varphi(z)| \leq C \exp H_v(z)$ ,  $z \in \mathbb{C}^n$ , где  $C = C(\varphi)$ ,  $v = v(\varphi)$ ,  $H_v(\bar{z})$  — опорная функция  $\bar{D}_v$ . Рассмотрим отображение (см. [5])  $T_D: H^l(D) \rightarrow P_D$ , определяемое правилом:

$$T_D(F) \equiv F(\exp(\zeta, z)) = \int_D \exp(\zeta, z) d\eta(\zeta), \quad F \in H^*(D),$$

где  $\eta$  — мера, определяющая функционал  $F$  (в дальнейшем для краткости вместо  $F(\exp(\zeta, z))$  будем писать  $F(\exp(\zeta))$ ). На множестве  $P_D$  определим топологию так, чтобы отображение  $T_D$  было топологическим изоморфизмом. Отметим, что если  $G = (G_1, \dots, G_m) \in H^m(D)$ ,  $g = (g_1, \dots, g_m) \in H^m(D)$ , то  $(G, g) = (G_1, g_1) + \dots + (G_m, g_m)$  (штрих означает, что следует рассматривать вектор-столбец). Введем отображение  $T_{m,D}$ , которое элементу  $G \in H^m(D)$  ставит в соответствие элемент  $T_{m,D}(G) = (G_1(\exp), \dots, G_m(\exp)) \in P_D^m$ . Так как  $T_D$  — топологический изоморфизм, то  $T_{m,D}$  устанавливает топологический изоморфизм между  $H^m(D)$  и  $P_D^m$ .

Матрица  $M$  определяет линейный непрерывный оператор  $L_M: H^l(D) \rightarrow H^m(D)$ . Сопряженный к  $L_M$  оператор  $L_M^*: H^m(D) \rightarrow H^l(D)$  порождает эквивалентный в топологическом смысле оператор  $L_{ZM}: P_D^m \rightarrow P_D^l$ , действие которого заключается в умножении элемента из  $P_D^m$  на матрицу  $ZM = (Z\mu_{kj}(z))$ ,  $k = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, l$ , где через  $L\mu_{kj}(z)$  обозначены преобразования Лапласа функционалов, задаваемых мерами  $\mu_{kj}$ .

Заметим, что из тождества

$$(L_M^*(G), f) = (G, L_M(f)), \quad f \in H^l(D), G \in H^m(D),$$

которое верно по определению сопряженного оператора, следует включение  $\text{Im } L_M \subset (\ker L_M^*)^\perp$ .

Теорема 1. Система (1) разрешима в пространстве  $H^l(D)$  для всякого  $g \in (\ker L_M^*)^\perp$ , тогда и только тогда, когда множество  $\text{Im } L_{ZM}$  замкнуто в  $P_D^l$ .

Доказательство опирается на результат Ж. Дьедонне и Л. Шварца ([6], теорема 7) о прямом и сопряженном отображениях в пространствах Фреше и теорему Хана — Банаха.

3. Л. Хёрмандером [7] доказана теорема, в которой приводится необходимое и достаточное условие порождаемости кольца

$A_p(\Omega) = \{f: f \in H(\Omega), \exists C_1(f), C_2(f), |f| \leq C_1 \exp(C_2 p(z)), z \in \Omega\}$  конечным набором элементов  $f_1, \dots, f_q \in A_p(\Omega)$ . Здесь  $\Omega$  — открытое множество в  $\mathbb{C}^n$ ,  $p(z)$  — плюрисубгармоническая в  $\Omega$  функция, удовлетворяющая некоторым условиям. Отметим, что пространство  $A_p(\Omega)$  представимо как индуктивный предел некоторых банаховых пространств.

Мы будем рассматривать пространство

$E_{1,1,0} = \{f: f \in H(\mathbb{C}^n), \forall \varepsilon > 0 \exists C(\varepsilon, f), |f| \leq C \exp(\varepsilon |z|), z \in \mathbb{C}^n\}$  всех целых функций первого порядка и минимального типа. В отличие от  $A_p(\Omega)$  пространство  $E_{1,1,0}$  представимо как проективный предел банаховых пространств.

Теорема 2. Элементы  $f_1, \dots, f_q \in E_{1,1,0}$  порождают  $E_{1,1,0}$ , тогда и только тогда, когда для любого  $\varepsilon > 0$



$$|f_1(z)| + \dots + |f_q(z)| \geq C(\varepsilon) \exp(-\varepsilon|z|), z \in \mathbb{C}^n.$$

Доказательство по существу основано на лемме 3.6.7 из [8].

Отметим, что в случае размерности  $n=1$  и двух порождающих функций теорема 2 доказана А. Ю. Тимофеевым [9] интерполяционным методом.

4. Дж. Келлехером и Б. Тейлором [10] обобщен результат Л. Хёрмандера [7] на  $A_p$ -модули  $M = (A_p(\Omega))^1$ .

Подмодуль в модуле  $P_D$ , порожденный элементами  $F_1 = (L_{\mu_{11}}, \dots, L_{\mu_{1l}}), \dots, F_m = (L_{\mu_{m1}}, \dots, L_{\mu_{ml}})$ , обозначим через  $N(L_{\mu_{kj}})$ . Согласно утверждению Дж. Келлехера и Б. Тейлора,  $N(L_{\mu_{kj}}) = P_D$ , тогда и только тогда, когда всевозможные определители вида  $|L_{\mu_{k_j, j}}|_1$ ,  $1 \leq k_1 < \dots < k_l \leq m$ , порождают  $P_D$  ( $m > l$ ). Перенумеруем определители  $|L_{\mu_{k_j, j}}|_1$  (их число  $q = C_m^l$ ):  $\Delta_1(z), \dots, \Delta_q(z)$ . В дальнейшем будем считать, что замыкание идеала  $I(\Delta_1, \dots, \Delta_q)$  в пространстве  $P_D$  совпадает со всем  $P_D$ , т. е.

$$\overline{I(\Delta_1, \dots, \Delta_q)} = P_D. \quad (A)$$

Заметим, что для размерности  $n=1$  условие (A) всегда выполняется, если функции  $\Delta_1(z), \dots, \Delta_q(z)$  не имеют общих корней.

С учетом теорем 1 и 2, справедливо следующее утверждение.

**Теорема 3.** Система (I) при выполнении условия (A) и  $m > l$  разрешима в пространстве  $H^1(D)$  для всякого  $g \in (\ker L_M^*)^\perp$ , если для любого  $\varepsilon > 0$

$$|\Delta_1(z)| + \dots + |\Delta_q(z)| \geq C(\varepsilon) \exp(-\varepsilon|z|), z \in \mathbb{C}^n,$$

где  $\Delta_1, \dots, \Delta_q$  — всевозможные различные определители вида

$$|L_{\mu_{k_j, j}}|_1, 1 \leq k_1 < \dots < k_l \leq m.$$

#### Литература

1. Ehrenpreis L. Amer. J. Math., vol. 76, № 4, 883—903, 1954.
2. Maingrange B. Ann. Inst. Fourier, vol. 6, 271—355.
3. Напалков В. В. Матем. заметки, т. 26, № 2, 217—226, 1979.
4. Harald L. Rep. Dep. Math. Univ. Stockholm, Oct. 1—7, 1980.
5. Напалков В. В. Сиб. матем. ж., т. 14, № 2, 427—436, 1973.
6. Дьедонне Ж., Шварц Л. Математика, т. 2, №2, 77—107, 1958.
7. Hörmander L. Bull. Amer. Math. Soc., vol. 73, № 6, 943—949, 1967.
8. Ронкин Л. И. Введение в теорию целых функций многих переменных. М.: Наука, 1971.
9. Тимофеев А. Ю. ДАН СССР, т. 260, № 1, 43—46, 1981.
10. Kelleher J. J., Taylor B. A. Math. Ann., vol. 193, № 3, 225—237, 1971.

Отдел физики и математики с ВЦ  
Башкирского филиала АН СССР

Поступило 26. IV 1982

В. Н. Филиппов

#### ГОЛОМОРФ ФУНКЦИЈАЛАР ФЭЗАСЫНДА БИРЧИНСЛИ ОЛМАЖАН БҮРҮНМӘ ТӘНЛИКЛӘРИ СИСТЕМИ ҺАГГЫНДА

Мәғаләдә голоморф функцијалар фэзасында бирчинсли олмажан бүрүнмә тәнликләри системинин һәлли үчүн зәрури вә кафи шәртләр тапылмышдыр.

V. N. Philippov

#### ON NONHOMOGENEOUS SYSTEMS OF EQUATIONS OF CONVOLUTION IN SPACE OF HOLOMORPHIC FUNCTIONS

In the paper the necessary and sufficient condition of solvability of the nonhomogeneous system of equations of convolutions in the space of holomorphic functions of several complex variables is established.



И. Р. САДЫХОВ

# ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА ГИБКИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОГО МАТЕРИАЛА НА ЭВМ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ КОНТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ф. Г. Максудовым)

С учетом деформированного состояния рассматривается работа прямоугольных в плане со сторонами  $a$   $b$  полых оболочек переменной толщины и кривизны, окаймленных по контуру ребрами, которые выполнены, как и сама оболочка, из нелинейно-деформируемого материала. Исходная система дифференциальных уравнений в функциях напряжений  $\Phi$  и прогиба  $w$  при коэффициенте Пуассона  $\mu=0,5$  (случай несжимаемого материала), с помощью энергетических принципов строительной механики получена в виде:

$$\nabla^2 (D \nabla^2 w) - 0,5 L(D, w) - \nabla^2 \Phi = q;$$

$$\nabla^2 (H \nabla^2 \Phi) - 1,5 L(H, \Phi) + \nabla^2 w = 0,5 L(w, w),$$

где  $D = \frac{E'h}{9}; H = \frac{1}{E'h};$

$h$ —толщина оболочки;  $E' = \sigma/\epsilon$ —переменный модуль деформации материала оболочки;  $q$ —интенсивность нагрузки;  $\sigma(\epsilon)$ —интенсивность напряжений, являющаяся нелинейной функцией интенсивности деформаций  $\epsilon$ , аппроксимирующей диаграмму растяжения—сжатия; дифференциальные операторы  $\nabla^2$ ,  $L(D, w)$  и  $L(w, w)$  имеют такой же вид, как и в работе [1].

Контурные условия для краев  $y=0$  ( $i=1$ ) и  $y=b$  ( $i=2$ ) имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( C_{ix} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) &= \pm D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 0,5 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( b_{ix}^b \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = \\ &= \pm D \left( \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + 1,5 \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right) \pm \frac{\partial D}{\partial y} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 0,5 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \pm \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \pm \\ &\quad \pm \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \frac{\partial w}{\partial y} \pm \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \frac{\partial w}{\partial x}; \\ \pm \frac{1}{H_{ix}} \frac{\partial \Phi}{\partial y} &= H \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - 0,5 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right) + \kappa_1 w - 0,5 \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} w; \\ \pm \frac{\Phi}{B_{ix}} &= H \left( \frac{\partial^3 \Phi}{\partial y^3} + 2,5 \frac{\partial^3 \Phi}{\partial x^2 \partial y} \right) + \frac{\partial H}{\partial y} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y^2} - 0,5 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right) + \end{aligned}$$

$$+ 3 \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} + \kappa_1 \frac{\partial w}{\partial y} - 2 \kappa_2 \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial \kappa_2}{\partial x} w + 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2 \partial y} w,$$

где  $C_{ix}$ ,  $B_{ix}^B$ ,  $B_{ix}^G$ —крутильные и изгибные жесткости ребер в вертикальных и горизонтальных плоскостях, а  $H_{ix}$ —жесткости на растяжение—сжатие, которые также являются нелинейными функциями деформаций.

Для решения системы нелинейных уравнений (1) и (2) применим шаговый метод, который позволяет на каждом шаге нагружения произвести геометрическую линеаризацию и тем самым получить систему нелинейных уравнений, отражающих лишь физическую нелинейность материала. Разложив эти уравнения в ряд Тейлора по степеням приращения жесткостей оболочки, функций прогиба, напряжения и кривизны на  $j$ -ом шаге нагружения и отбросив члены второго и выше порядка малости, получим систему линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

Для решения этих уравнений используем метод малого параметра, в качестве которых принимаем:

$$v_{j-1} = h_{cp} \cdot H_{cp(j-1)} = \frac{1}{ab} \int_0^a \int_0^b h \, dx \, dy \cdot \frac{1}{ab} \int_0^a \int_0^b H_{j-1} \, dx \, dy;$$

$$\zeta_j = K_{ij}^{cp} = \frac{1}{ab} \int_0^a \int_0^b \kappa_{ij} \, dx \, dy;$$

Искомые функции прогиба  $w_j$  и напряжений  $\Phi_j$  представляем в виде разложений по степеням этих параметров

$$w_j = \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} v_{j-1}^p \eta_l^j (W_{(l)p,j} + W_{(l)p,j}^*);$$

$$\Phi_j = \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} v_{j-1}^p \zeta_l^j (\varphi_{(l)p,j} + \varphi_{(l)p,j}^*);$$

где

$$\begin{aligned} W_{(l)p,j} &= \sum_m \sum_n B_{mn}^{(p,l)} \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b}; \quad \varphi_{(l)p,j} = \\ &= \sum_m \sum_n A_{mn}^{(p,l)} \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b}; \end{aligned}$$

$W_{(l)p,j}^*$ ,  $\varphi_{(l)p,j}^*$ —функции, соответствующие центральному нелинейно-упругому защемлению оболочки по контуру, вызывающему распределенные изгибающие моменты, нормальные силы, относительные удлинения опорных элементов, а также прогибы опорных сечений. Выражения этих функций подбираются в зависимости от вида контурных закреплений.

С учетом разложений (5) будем иметь следующую бесконечную последовательность систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\begin{aligned} D_{cp(j-1)} \nabla^2 \nabla^2 w_{(l)p,j} - \nabla^2_{\kappa c(l)} \Phi_{(l)p,j} &= \zeta_{p,l}^{(1)}; \quad H_{cp(j-1)} \nabla^2 \nabla^2 \Phi_{(l)p,j} + \\ &+ \nabla^2_{\kappa c(l)} w_{(l)p,j} = \zeta_{p,l}^{(2)}; \end{aligned}$$



$$C_{ix(i-1)} \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} w_{(i)p,1} = \pm D_{cp(i-1)} \left( \frac{\partial^3}{\partial y^3} + 0,5 \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} \right) w_{(i)p,1} + R_{p,1}^{(1)};$$

$$B_{ix(i-1)}^{b, cp} \frac{\partial^4 \Phi_{(i)p,1}}{\partial y^4} = \pm D_{cp(i-1)} \left( \frac{\partial^3}{\partial y^3} + 1,5 \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} \right) w_{(i)p,1} + K_{p,1}^{(2)};$$

$$\pm \frac{1}{H_{ix(i-1)}^{cp}} \frac{\partial \Phi_{(i)p,1}}{\partial y} = H_{cp(i-1)} \left( \frac{\partial^3}{\partial y^3} - 0,5 \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} \right) \Phi_{(i)p,1} + K_{i,1}^{cp} w_{(i)p,1} + R_{p,1}^{(3)};$$

$$\pm \frac{\Phi_{(i)p,1}}{B_{ix(i-1)}^{cp}} = H_{cp(i-1)} \left( \frac{\partial^3}{\partial y^3} + 2,5 \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} \right) \Phi_{(i)p,1} + K_{i,1}^{cp} \frac{\partial w_{(i)p,1}}{\partial y} + K_{p,1}^{(4)};$$

где  $C_{p,1}^{(1)}, Q_{p,1}^{(2)}, R_{p,1}^{(1)}, K_{p,1}^{(2)}, K_{p,1}^{(3)}, K_{p,1}^{(4)}$  — известные функции;

$$p = 1, 2, 3, \dots, \infty; l = 1, 2, 3, \dots, \infty.$$

Условия сопряжения оболочки с контурными ребрами по краям  $x=0$  ( $i=1$ ) и  $x=a$  ( $i=2$ ) получим из (8), заменив  $x$  на  $y$  и наоборот.

Решив уравнения (7) и (8), определим напряженно-деформированное состояние оболочки при любом значении нагрузки, меньшем предельного. По достижении максимального значения нагрузки и превышении его, перемещения начнут интенсивно возрастать и разложения (5) будут расходиться. Этот принцип используется для определения предельной нагрузки на оболочку.

Полученные системы уравнений (7) и (8) обладают достаточной общностью, что позволяет решать задачи применительно как к отдельным стоящим оболочкам, так и к оболочкам в многоволновом исполнении.

На основании приведенного алгоритма составлена программа на языке «Фортран», с помощью которой исследовано влияние жесткости контурных ребер на растяжение на напряженно-деформированное состояние двояко-выпуклых прямоугольных в плане пологих оболочек в виде эллиптического параболоида переменной толщины и кривизны, срединная поверхность которых описывается уравнением:

$$Z = f \left[ \frac{(2x-a)^2}{2a^2} + \frac{(2y-b)^2}{2b^2} - 1 \right],$$

где  $f$  — стрела подъема;  $a, b$  — размеры ко. тура.

Уравнения, выражающие физическую нелинейность материала оболочки и контурных ребер, принимались в виде:

$$\sigma = Ee - Be^3; \quad \sigma_{ix} = E_{ix} e_{ix} - B_{ix} e_{ix}^3;$$

$$\sigma_{iy} = E_{iy} e_{iy} - B_{iy} e_{iy}^3;$$

где  $E, E_{ix}, E_{iy}$  — начальные модули деформации;  $\sigma_{na}, \sigma_{npr}$  — пределы прочности материала оболочки и ребер.

Константы  $B_{ix}, B_{iy}, B$  определялись по формулам [1]:

$$B_{ix} = \frac{4}{27} \frac{E_{ix}^3}{\sigma_{npr}^2}; \quad B_{iy} = \frac{4}{27} \frac{E_{iy}^3}{\sigma_{npr}^2}; \quad B = \frac{4}{27} \frac{E^3}{\sigma_{npr}^2}.$$

Приняты следующие исходные данные для расчета оболочки:

$$\sigma_{na} = \sigma_{npr} = 350 \text{ МПа}; \quad E = E_{ix} = E_{iy} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Толщина оболочки уменьшалась от контура ее к центру по закону

$$h = h_0 \left( 1 - \lambda \sin \frac{\pi x}{a} \cdot \sin \frac{\pi y}{b} \right).$$

Соотношения геометрических размеров:  $\gamma = b/a = 1; a/h_0 = 100; 91, 984; 108, 106; a_1/h_0 = 10; 9; 19; 10, 81; b_1/h_0 = 8; 7,35; 8,65$ ; соответственно для случаев  $\lambda = 0; 0,2; -0,2$ .

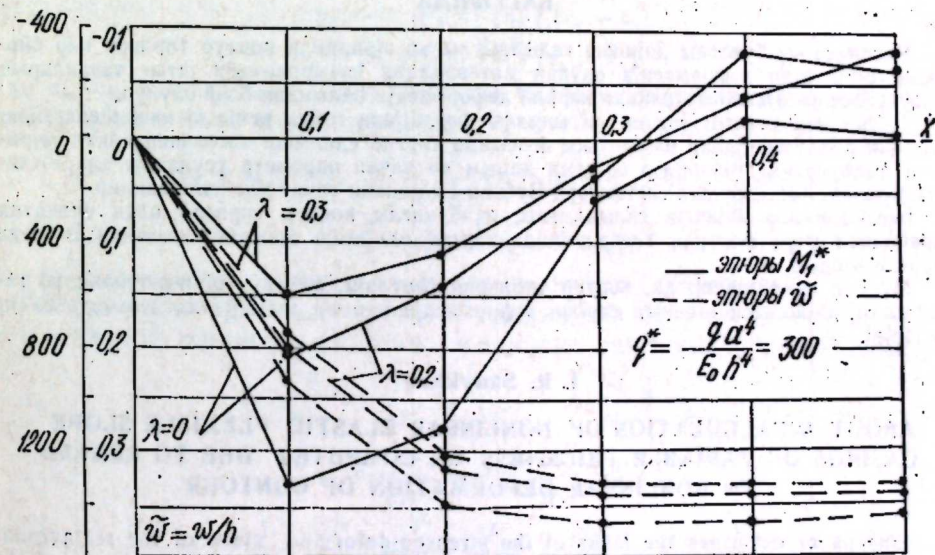
Начальные значения жесткости контурных балок со сторонами сечения  $a_1$  и  $b_1$  были приняты  $H_{ix0} = H_{iy0} = 2513, 645; 625 \cdot 10^4; 360025,84$ .

Системы дифференциальных уравнений решались вариационным методом Бубнова-Галеркина. Выражения для  $W_{(i)p,1}$  и  $\Phi_{(i)p,1}$  в этом случае имели вид:

$$W_{(i)p,1} = 0; \quad \Phi_{(i)p,1} = -\frac{b^2}{2} \left( \frac{y}{b} - \frac{y^3}{b^2} \right) \sum_m \theta_{m(i)}^{(p,1)} \sin \frac{m\pi x}{a} - \\ - \frac{a^2}{2} \left( \frac{x}{a} - \frac{x^3}{a^2} \right) \sum_n \theta_{n(i)}^{(p,1)} \sin \frac{n\pi y}{b}.$$

Расчеты проводились по разработанной программе с учетом как физической, так и геометрической нелинейностей.

На рисунке показаны эпюры прогибов и изгибающих моментов при различных значениях параметра изменения толщины  $\lambda$ , из которых следует, что изменение толщины оболочки при условии сохранения объема



$$M_1^* = \frac{M_1 \cdot 10^7}{E_0 h}$$

приводит к значительному уменьшению прогибов и максимальных изгибающих моментов. Наибольшее значение изгибающего момента  $M_1^*$  для случая  $\lambda=0,3$  уменьшилось более, чем в два раза. Однако в средней части их значения увеличились более трех раз. Перераспределение материала оболочки от центра к краям способствует увеличению ее несущей способности. Величина предельной нагрузки при  $\lambda=0,3$  оказалась на 8% больше предельной нагрузки оболочки постоянной толщины.



Учет обоих видов нелинейностей приводит к увеличению мембранных усилий. Уменьшение жесткости контурных балок вызывает увеличение изгибных деформаций и усилий. Из мембранных усилий нормальная сила изменяется незначительно, а максимальные значения сдвигающих сил уменьшаются так, что приводят к качественному изменению картины их распределения. С увеличением жесткости контурных балок на растяжение предельные нагрузки увеличиваются, причем максимальные их значения при учете физической и геометрической нелинейностей будут иметь место при опирании оболочки на идеальные диафрагмы. Это указывает на необходимость учета действительной жесткости и прочности контурных балок пологих оболочек, изменения их толщины, а также физической и геометрической нелинейности.

#### Литература

Лукаш П. А. Основы нелинейной строительной механики. М.: Стройиздат, 1978, с. 204.

АзПИ им. Ч. Ильдрыма

Поступило 1. II 1983

И. Р. Садыгов

ДӘИШӘН ГАЛЫНЛЫГЛЫ ГЕҖРИ-ХӘТТИ ЕЛАСТИК МАТЕРИАЛДАН НАЗЫРЛАНМЫШ ЧЕВИК ЈАТЫГ ТАВАНЛАРЫН КОНТУРУНУН ГЕҖРИ-ХӘТТИ ДЕФОРМАСИЈАСЫНЫ НЭЗЭРЭ АЛМАГЛА ЕҢМ-ДӘ ҺЕСАБЛАМА УСУЛУ НАГГЫНДА

Мәгәләдә дүзбучаглы дәишән галынлыгы вә әйрилиги контур тирләри илә бир-лигдә геҗри-хәтти деформасија олунан материалдан назырланмыш јатыг таванларын сонлу деформасијалар дахилиндә кәркин деформасија һалындан бәһс олунур.

Геҗри-хәтти еластик чисим наггындакы фәрзијјәни гәбул етмәклә кичик еластики-пластики деформасијалар изәријјәси әсасында тәртиб едилмиш мәсәләни илкин геҗри-хәтти диференциал тәңликләр системи адым вә кичик параметр усуллары илә хәтти-ләшдирилир. Хәтти тәңлик системләри Бубнов-Галјоркин усулу илә һәлл едилир.

Һесабламалар дәишән галынлыгы, дүзбучаглы контур тирләри олан еллиптик параболоид үчүн фортран алгоритминдә тәртиб едилмиш програм әсасында ЕҢМ-дә апарылмышдыр.

Мүәјјән едилмишдир ки, контур тирләрин сәртлији, физики геҗри-хәттилик вә галынлыгын дәишмәси таванын кәркин деформасија һалына әһәмијјәтли дәрәҗәдә тәсир кәстәрир.

I. R. Sadykhov

#### ABOUT A CALCULATION OF NONLINEAR ELASTIC FLEXIBLE SLOPE CASINGS OF VARIABLE THICKNESS ON COMPUTER DUE TO REGARD TO NONLINEAR DEFORMATION OF CONTOUR

The paper examines the tasks of the stressed-deformed state of the rectangular slope casings of variable thickness and curvature with contour beams made of the same, as the casing, nonlinear-deformed material on result deformations.

The initial system of the nonlinear-deformed equation of the task, based on the theory of the small elastic-plastic deformations attracting the hypothesis of the nonlinear-elastic body, is linearized with the help of pedometer method and small parameter method. The linear equations system is calculated by using the Bubnov-Galerkin method.

Calculations are carried out on computer by the program of Fortran tongue for the elliptic paraboloid of variable thickness contour beam of rectangular section. The stressed-deformed state of the casing is under the influence of the rigidity of the contour beams, physical nonlinearization and variability of thickness essentially.

УДК 539.374

#### МЕХАНИКА

М. Х. ИЛЬЯСОВ, Т. А. НАСИБОВ, Б. Р. НУРИЕВ

#### РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ПО НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ ОБОЛОЧКЕ, ЗАПОЛНЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ф. Г. Максудовым)

Рассмотрим задачу продольного удара по цилиндрической безмоментной оболочке с идеальной жидкостью. Примем, что жидкость линейно сжимаем ( $\frac{dp}{d\rho_{ж}} = a_{ж}^2 = \text{const}$ ), а материал оболочки подчиняется нелинейно-упругому закону деформирования [3]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_0 + 2\mu\gamma(\psi_0^2)(\epsilon_x - \epsilon_0) \\ \sigma_\theta &= \sigma_0 + 2\mu\gamma(\psi_0^2)(\epsilon_\theta - \epsilon_0) \\ \sigma_r &= \sigma_0 + 2\mu\gamma(\psi_0^2)(\epsilon_r - \epsilon_0),\end{aligned}\quad (1)$$

где  $\sigma_x$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_r$  и  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_\theta$ ,  $\epsilon_r$  — компоненты тензора напряжений и деформаций в оболочке в цилиндрической системе координат  $(r, \theta, x)$ ,

$$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_\theta + \sigma_r), \quad \epsilon_0 = \frac{1}{3}(\epsilon_x + \epsilon_\theta + \epsilon_r), \quad \psi_0 = \frac{8}{9}(\epsilon_x^2 + \epsilon_\theta^2 + \epsilon_r^2 - \epsilon_x\epsilon_r - \epsilon_x\epsilon_\theta - \epsilon_\theta\epsilon_r),$$

а  $\gamma(\psi_0^2)$  — некоторая известная функция своего аргумента.

Уравнения осесимметричного движения безмоментной оболочки и идеальной жидкости (течение жидкости одномерно) имеют вид:

$$\begin{aligned}\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x}, \quad \rho_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -\frac{\sigma_\theta}{R} + \frac{P}{h}, \\ \epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \epsilon_\theta = \frac{w}{R} - 1,\end{aligned}\quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_{ж0}} \frac{\partial P}{\partial x}, \quad \frac{1}{\rho_{ж0} a_{ж}^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{2}{\kappa} \frac{\partial w}{\partial t} = 0,$$

где  $u(x, t)$  и  $w(x, t)$  — продольное и поперечное смещение частиц оболочки,  $\rho_0$  и  $\rho_{ж0}$  — начальная плотность материала оболочки и жидкости,  $R$  — начальный радиус оболочки,  $v(x, t)$  и  $P(x, t)$  — скорость точек жидкости и давление в ней,  $x$  — лагранжова координата.

Начальные и граничные условия следующие:

$$\begin{aligned}u(x, 0) = w(x, 0) = R = \epsilon_x(x, 0) = P(x, 0) = v(x, 0) = 0 \\ \frac{\partial u(0, t)}{\partial t} = v(0, t) = v_0 = \text{const}.\end{aligned}\quad (3)$$



Применяя метод характеристик [2] к системе (1)–(2), находим, что по системе оболочка–жидкость распространяются волны, имеющие скорости  $C_1 = \sqrt{\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma_x}{\partial \epsilon_x}}$  и  $a_{ж}$ . Очевидно, на первой волне каждая тройка компонентов деформации  $(\epsilon_x, \epsilon_0, \epsilon_r)$  имеет свою скорость.

Будем считать, что материал оболочки несжимаем, откуда имеем:

$$\epsilon_r = -(\epsilon_x + \epsilon_0) \quad (4)$$

В силу тонкости оболочки принимается, что  $\sigma_r = 0$ , учитывая которую совместно с (4) в (1), получим:

$$\sigma_x = 2\mu\gamma(\psi_0^2)(2\epsilon_x + \epsilon_0), \quad \sigma_0 = 2\mu\gamma(\psi_0^2)(\epsilon_x + 2\epsilon_0) \quad (5)$$

Пренебрегая инерционным членом в поперечном направлении  $(\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0)$  из второго уравнения системы (2) находим:

$$\sigma_0 = \frac{R}{h} P \quad (6)$$

После этого, как легко доказать, задача становится автомодельной, т. е. безразмерные функции  $W_0 = \frac{w}{R}$ ,  $U_0 = \frac{u}{v_0 t}$ ,  $V_0 = \frac{v}{v_0}$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_0$ ,

$\epsilon_x$ ,  $P_0 = \frac{P}{\rho_{ж0} v_0^2}$ ,  $\sigma_x^0 = \frac{\sigma_x}{\rho_0 v_0^2}$ ,  $\sigma_0^0 = \frac{\sigma_0}{\rho_0 v_0^2}$  могут зависеть лишь от автомо-

дельной переменной  $z = \frac{x}{v_0 t}$ . Следовательно, в новых переменных исходные уравнения примут вид:

$$z^2 \frac{d^2 U_0}{dz^2} = \frac{d\sigma_r^0}{dz} \quad (7)$$

$$z \frac{dV_0}{dz} = \frac{dP_0}{dz} \quad (8)$$

$$\frac{dV_0}{dz} - \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} z \frac{dP_0}{dz} + 2z \frac{dW_0}{dz} = 0 \quad (9)$$

$$\epsilon_x = \frac{dU_0}{dz}, \quad \epsilon_0 = W_0 - 1 \quad (10)$$

Учитывая (5) в (7), а соотношение  $\sigma_0^0 = \alpha P_0$  ( $\alpha = \frac{R}{h} \cdot \frac{\rho_{ж0}}{\rho_0}$ ) и уравнение (8) в (9), после некоторых операций получим:

$$\left( z^2 - \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \frac{d^2 U_0}{dz^2} - \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} \frac{dW_0}{dz} \right) = 0 \quad (11)$$

$$\left[ \left( 1 - \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} z^2 \right) \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_x} \right] \frac{d^2 U_0}{dz^2} + \left[ 2z^2 - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} \left( 1 - \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} z^2 \right) \right] \frac{dW_0}{dz} = 0$$

Решение  $U_0 = 0$  и  $W_0 = 0$  этой системы показывает наличие области постоянных параметров. Однако нетрудно доказать, что это

решение не может охватить всю возмущенную область для произвольной зависимости  $\gamma(\psi_0^2)$ .

Условие существования нетривиального решения системы (11) дает:

$$\frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_0} \left( 1 - \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} z^2 \right) \cdot \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_x} + \left( z^2 - \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \right) \left[ 2z^2 - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} \left( 1 - \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} z^2 \right) \right] = 0 \quad (12)$$

Присоединяя к этому условию одно из уравнений (11) и при этом учитывая соотношения (5), получим систему двух нелинейных уравнений относительно  $\epsilon_x(z)$  и  $\epsilon_0(z)$ . Пока предположим, что полученная система совместна. Решая уравнение (12) относительно  $z^2$ , будем иметь:

$$z^2 = \varphi_1(\epsilon_x, \epsilon_0), \quad (13)$$

где

$$2\varphi_1(\epsilon_x, \epsilon_0) \cdot \left( 2 + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} + \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} + \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \left( 2 + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} \right) \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} +$$

$$+ \left[ \left( \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} + \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \left( 2 + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} \right) \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} \right)^2 - 4 \left( 2 + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} \right) \frac{v_0^2}{a_{ж}^2} \left( \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_0} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \sigma_0^0}{\partial \epsilon_0} \cdot \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \right) \right] \frac{1}{2}$$

Учитывая (13) в первом уравнении системы (11), получим:

$$\left[ \varphi_1(\epsilon_x, \epsilon_0) - \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \right] \frac{d\epsilon_x}{dz} - \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_0} \frac{d\epsilon_0}{dz} = 0,$$

откуда имеем:

$$\frac{d\epsilon_x}{d\epsilon_0} = \varphi_2(\epsilon_x, \epsilon_0), \quad (14)$$

где

$$\varphi_2(\epsilon_x, \epsilon_0) = \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \left[ \varphi_1(\epsilon_x, \epsilon_0) - \frac{\partial \sigma_x^0}{\partial \epsilon_x} \right]$$

Интегрируя уравнения (14) для заданной зависимости  $\gamma(\psi_0^2)$ , находим:

$$F(\epsilon_x, \epsilon_0, c) = 0 \quad (15)$$

После этого  $\epsilon_x(z)$  и  $\epsilon_0(z)$  находятся из (13) и (15) без квадратуры,  $\sigma_x^0$ ,  $\sigma_0^0$ ,  $P_0$  и  $\epsilon_r$  определяются по формулам (5), (6) и (4) непосредственно, а  $V_0(z)$  находится простым интегрированием  $\frac{1}{z} \frac{dP_0}{dz} dz$ .

Следует отметить, что условие несжимаемости материала оболочки не является существенным. В самом деле, это предположение послужило лишь для того, чтобы выразить  $\epsilon_r$  через  $\epsilon_x$  и  $\epsilon_0$  в виде простой формулы (4). Однако это можно было сделать, используя третье уравнение системы (1). При этом вместо формулы (4) получилась бы более громоздкая нелинейная формула, от чего, очевидно



бы, не изменился дальнейший ход рассуждений. Далее будем считать, что материал оболочки сжимаем.

В зависимости от скорости удара, задний фронт нелинейных волн, за которым располагается область постоянных параметров, может находиться как за волной  $x = a_{ж}t$ , так и впереди нее. Рассмотрим случай, когда задний фронт нелинейных волн предшествует волне  $x = a_{ж}t$ .

Для простоты, в области распространения нелинейных волн, где жидкость еще находится в своем начальном положении, изменение давления  $P$ , вызванного наличием  $\epsilon_0$  не учитываем. Тогда в этой области, согласно (6), будем иметь  $\sigma_0 = 0$ . С учетом этого, преобразуя формулы (1) [3], будем иметь:

$$\epsilon_x = \frac{1}{9K} \sigma_x + \frac{1}{3\mu} g(t_0^2) \sigma_x \quad (16)$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{9K} \sigma_x - \frac{1}{6\mu} g(t_0^2) \sigma_x$$

$$\epsilon_r = \frac{1}{9K} \sigma_x - \frac{1}{6\mu} g(t_0^2) \sigma_x,$$

где  $t_0$  — интенсивность касательных напряжений, в данном случае принимает вид:  $t_0^2 = \frac{2\sigma_x^2}{9\mu}$ . Из первого уравнения (16), определяя

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{9K} + \frac{1}{3\mu} g\left(\frac{2\sigma_x^2}{9\mu}\right) \sigma_x \quad (17)$$

и подставляя ее в (7), получим:

$$\left[ z^2 \left( \frac{1}{9K} + \frac{4}{27\mu^2} \frac{dg(t_0^2)}{d(t_0^2)} \sigma_x^2 + \frac{1}{3\mu} g(t_0^2) \right) - \frac{1}{\rho_0 v_0^2} \right] \frac{d\sigma_x}{dz} = 0 \quad (18)$$

В области распространения нелинейных волн уравнение (18) имеет решение

$$z^2 \left[ \frac{1}{9K} + \frac{4}{27\mu^2} \frac{dg(t_0^2)}{d(t_0^2)} \sigma_x^2 + \frac{1}{3\mu} g(t_0^2) \right] = \frac{1}{\rho_0 v_0^2}, \quad (19)$$

откуда для заданной зависимости  $g(t_0^2)$  без квадратуры определяется  $\sigma_x$  как функция от  $z^2$ :  $\sigma_x = f(z^2)$ . После этого  $\epsilon_x$  определяется из (17), а  $\epsilon_0$  и  $\epsilon_z$  — из двух последних уравнений системы (16).

Таким образом, в рассматриваемом случае по оболочке распространяются непрерывные волны Римана, описываемые формулой (19). За волной Римана располагается область постоянных параметров, а на эту область наступает волна  $x = a_{ж}t$ , за которой располагается область постоянных деформаций. Волна  $x = a_{ж}t$  является волной сильного разрыва как для  $v$  и  $P$ , так для  $\sigma_0$ ,  $\epsilon_0$ ,  $\sigma_x$  и  $\epsilon_z$ .

Согласно граничным условиям, за волной  $x = a_{ж}t$  имеем:

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = v_0, \quad v(x, t) = v_0 \quad (20)$$

Условия сохранения количества движения, массы частиц оболочки и жидкости дают:

$$\rho_0 \left( a_{ж} - \frac{\partial u_2}{\partial t} \right) \left( \frac{\partial u_2}{\partial t} - v_0 \right) = (\sigma_{x2} - \sigma_{x1}) (1 + \epsilon_{x2}) \quad (21)$$

$$\left( a_{ж} - \frac{\partial u_2}{\partial t} \right) (1 + \epsilon_{x1}) = (a_{ж} - v_0) (1 + \epsilon_{x2}) \quad (22)$$

$$P = \rho_{ж0} a_{ж}^2 \left( \frac{v_0}{a_{ж}} - 2\epsilon_0 - \epsilon_0^2 \right), \quad (23)$$

где индексами 1 и 2 обозначены соответствующие величины за и впереди волны  $x = a_{ж}t$ , и учтено, что  $\frac{\partial u_1(x, t)}{\partial t} = v_0$ .

Из уравнений (5), (6) и (23) без квадратуры определяются  $P$  и  $\sigma_0$  в области  $0 \leq x \leq a_{ж}t$ .

К уравнениям (21)–(22) присоединяем условие на волне Римана

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = - \int_0^{x_2} \sqrt{\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma_x}{\partial \epsilon_x}} d\epsilon_x \quad (24)$$

и соотношения напряжение–деформация, получим замкнутую систему конечных уравнений, откуда находятся  $\epsilon_{x1}$ ,  $\epsilon_{x2}$ ,  $\frac{\partial u_2}{\partial t}$ ,  $\sigma_{x1}$  и  $\sigma_{x2}$ .

Теперь вернемся к предположению о том, что уравнение (12) или (13) не противоречит уравнениям (11). Однако если  $\frac{\partial \varphi_1}{\partial \epsilon_x} > 0$  и  $\frac{\partial \varphi_1}{\partial \epsilon_0} > 0$ ,

то согласно (13), получим, что большим значениям  $\epsilon_x$  и  $\epsilon_0$  соответствует большое значение  $z$ , т. е.  $\epsilon_x$  и  $\epsilon_0$  являются возрастающей однородной функцией от  $z^2$ :  $\epsilon_x = \epsilon_x(z^2)$  и  $\epsilon_0 = \epsilon_0(z^2)$ , откуда имеем  $\epsilon_x(0) = \epsilon_0(0) = 0$ , чего не может быть. Поэтому в случае  $\frac{\partial \varphi_1}{\partial \epsilon_x} > 0$ ,  $\frac{\partial \varphi_1}{\partial \epsilon_0} > 0$

уравнение (13) несовместимо с уравнениями (11). Следовательно, в этом случае система уравнений (11) не имеет решений, отличных от  $\epsilon_x = \text{const}$  и  $\epsilon_0 = \text{const}$ , а по оболочке вместо непрерывной волны Римана распространяется ударная волна, скорость которой определяется из условий на волнах сильного разрыва. Уравнение сохранения количества движения и массы частиц оболочек на этой волне дает:

$$\rho_0 G \frac{\partial u_2}{\partial t} = -\sigma_{x2}, \quad G(1 + \epsilon_{x2}) = G - \frac{\partial u_2}{\partial t}, \quad (25)$$

где  $\sigma_{x2}$  и  $\epsilon_{x2}$  связаны соотношением  $\sigma_{x2} = 4\mu \left( \frac{8}{3} \epsilon_{x2}^2 \right) \epsilon_{x2}$ .

Таким образом, в случае распространения ударных волн имеем замкнутую систему уравнений (21), (22) и (25), откуда без квадратуры определяются  $\epsilon_{x2}$ ,  $\epsilon_{x1}$ ,  $\frac{\partial u_2}{\partial t}$  и  $G$ .

В заключение отметим, что при линейно-упругих деформациях помимо волны  $x = a_{ж}t$  по оболочке распространяется и упругая ударная волна, а при жестко-идеально пластических деформациях лишь волна  $x = a_{ж}t$ .

#### Литература

1. Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. М., 1949.
2. Курант Г., Фридрих К. Сверхзвуковое течение и ударные волны. ИЛ.,



М. Х. Илјасов, Т. А. Насибов, Б. Р. Нуријев

МАЈЕ ИЛЭ ДОЛДУРУЛМУШ ГЕЈРИ-ХЭТТИ ЕЛАСТИК ӨРТҮКДЭ УЗУНУНА  
ДАЛГАЛАРЫН ЈАЈЫЛМАСЫ

Мәгәләдә идеал сыхылан маје илэ долдурулмуш цилиндрик өртүјә узунуна зәрбә мәсәләсиндән бәһс олунур. Фәрз олунур ки, өртүк моментсиз, мајенин ахыны исә бир-өлчүлүдүр.

Өртүјүн материалы гејри-хәтти еластик гәбул олунмушдур.  
Мәсәленин аналитик һәлли тапылды, Риман вә зәрбә далғаларынын јајылма шәртләри мјәјјәнләшдирилмишдир.

М. Н. Иyasov, Т. А. Nasibov, В. R. Nuriyev

PROPAGATION OF LONGITUDINAL WAVES IN THE  
NONLINEAR ELASTIC SHELL FILLED WITH LIQUID

The paper deals with the problem of longitudinal impact to a cylindrical shell filled with the ideal compressible liquid. The stresses, strains in shell and the velocity of the liquid depend on one spatial variable and on time.

The shell is supposed as a non-moment one. Stress-strain relations of the material of shell are non-linear. The analytical solution of the problem is found. Besides, the condition of existence of Riemann waves and shock waves is obtained.

УДК 621.315.592

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Р. А. АЛИЕВ, Г. Д. ГУСЕЙНОВ, Р. М. САРДАРЛЫ

СТРУКТУРНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В СИСТЕМЕ  
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $\text{TiGa}_x\text{In}_{(1-x)}\text{Se}_2$

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР М. И. Алиевым)

Первые указания на существование ФП в системе твердых растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{(1-x)}\text{Se}_2$  даны в работе [1]. В [2] показано, что  $\text{TiGaSe}_2$  и  $\text{TiInSe}_2$  образуют твердые растворы  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$  с разрывом сплошности при концентрации 40–55 мол. %  $\text{TiGaSe}_2$  ( $0,4 < X < 0,55$ ). Исследуемые образцы выращены по методике, описанной в [2].

Спектры КРС растворов с  $0,3 > X > 0$  исследовались в диапазоне частот 15–400  $\text{см}^{-1}$  при возбуждении линией 1,064 мкм  $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$  лазера непрерывного действия, регистрировались с помощью спектрофотометра ДФС-12. Приемником излучения служил охлаждаемый ФЭУ-83. Спектры рассеяния твердых растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$  при  $1 > X > 0,5$  возбуждались линией 0,6328 мкм  $\text{He-Ne}$  лазера, регистрировались с помощью спектрофотометра ДФС-24. В качестве приемника излучения служил ФЭУ-79. Разрешение в обоих случаях было не хуже 2  $\text{см}^{-1}$ . Измерения проводились в прямоугольной геометрии рассеяния в неполяризованном свете при комнатной температуре.

Спектры отражения измерялись при комнатной температуре при помощи вакуумных спектрофотометров FIS=3 (в спектральной области 400–100  $\text{см}^{-1}$ ) и Фурье спектрометра FS=720 (в области частот 200–20  $\text{см}^{-1}$ ). Разрешение во всей спектральной области было не хуже 2  $\text{см}^{-1}$ . Точность определения частот 2  $\text{см}^{-1}$ .

Спектры отражения обрабатывались стандартным анализом Крамерса–Кронига, частоты продольных (LO) фононов определялись из максимумов функции  $\text{Im}[-\epsilon^{-1}(\omega)]$ , а частоты TO фононов находились из максимумов мнимой части ( $\epsilon_2$ ) диэлектрической проницаемости.

Измерения проводились в поляризованном свете при геометриях отражения  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  и  $\vec{E} \perp \vec{C}$  ( $\vec{E}$  — электрический вектор световой волны,  $\vec{C}$  — оптическая ось кристаллов).

Как видно из рис. 1, частоты фононов от состава твердого раствора изменяются слабо.

При  $0 < X < 0,3$  все спектры идентичны и имеют те же особенности, что и чистый  $\text{TiInSe}_2$ . И в то же время спектр драматически изменяется в случае, когда  $x$  принимает значения  $1 > X > 0,5$ . В этой области концентраций спектры рассеяния идентичны спектрам КР  $\text{TiGaSe}$ . Линии в спектрах КРС при  $x = 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5$  слегка размыты (в сравнении с  $\text{TiGaSe}_2$ ), что связано, по-видимому, с влиянием разупорядоченности кристаллической решетки смешанного



кристалла, при этом относительные интенсивности пиков остаются неизменными. Спектры КР смешанных кристаллов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$  проявляют все особенности твердых растворов с однофазовым характером перестройки оптических мод. Наши результаты в основном

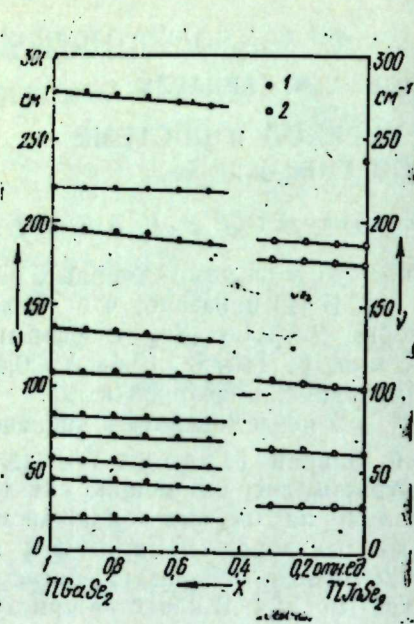


Рис. 1. Зависимость частот оптических фононов, активных в спектрах КРС от состава твердых растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$ : 1 — частоты фононов, полученные при возбуждении линией 0,6238 мкм He—Ne лазера; 2 — частоты фононов, полученные при возбуждении линией 1,064 Yb:Nd<sup>3+</sup> лазера

согласуются с данными работы [1]. По данным авторов статьи отличается лишь концентрационная область структурного ФП при  $0,5 > X \geq 0,3$ , а по данным [1] — при  $0,65 > X > 0,25$ . При значении  $x=0,5$  в спектре КРС исчезает линия с частотой  $20 \text{ см}^{-1}$ . В спектрах со значениями  $x=1; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6$  линия частотой  $20 \text{ см}^{-1}$  достаточно сильна.

Исчезновение линии на частоте  $20 \text{ см}^{-1}$  при  $x=0,5$  можно объяснить, если предположить, что при этой концентрации происходит упорядочение катионной подрешетки твердого раствора, т. е. происходит последовательное замещение Ga на In в смешанном кристалле  $\text{TiGa}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{Se}_2$ . Это равносильно тому, что элементарная трансляция вдоль оси  $z$  уменьшится вдвое, т. е. элементарная ячейка кристалла с  $x=0,5$  будет  $\frac{C}{2}$ , где  $C$  — длина псевдотетрагональной ячейки  $\text{TiGaSe}_2$ .

При этом зона Бриллюэна (ЗБ) кристалла  $\text{TiGa}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{Se}_2$  удвоится и колебание на частоте  $20 \text{ см}^{-1}$  из центра ЗБ „перекинется“ на край

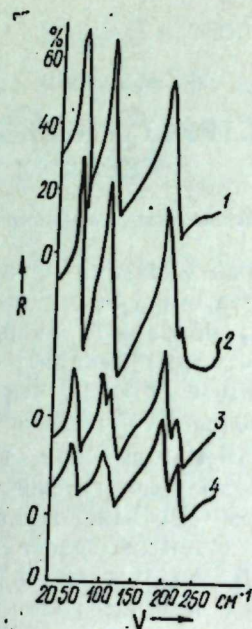


Рис. 2. Спектры отражения твердых растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$  ( $0 < X < 0,3$ ), снятые при  $T=300 \text{ К}$  в поляризации  $\vec{E} \perp \vec{C}$  (1 —  $x=0$ ; 2 —  $x=0,1$ ; 3 —  $x=0,2$ ; 4 —  $x=0,3$ )

зоны и не будет активным в спектре КР. Кристаллы со слоистой типом структуры в направлении (001), слабо дисперсионны [7] и поэтому такое удвоение ЗБ на высокочастотных колебаниях не скажется. В твердом растворе с  $x=0,5$  должна исчезнуть ИК активная низкочастотная линия  $\omega = 15 \text{ см}^{-1}$  [8], которая также должна стать акустической.

Основные экспериментальные результаты по измерениям спектров ИК-отражения твердыми растворами  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$  следующие.

1. Спектры ИК-отражения, снятые в геометрии  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  при  $0 \leq x \leq 0,3$ , проявляют однофазовый характер. В спектрах исследованных образцов не наблюдаются всзгорания новых линий.

2. Спектры решеточного отражения твердых растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$ , снятые в поляризации  $\vec{E} \perp \vec{C}$  (рис. 3, 4) носят многофазовый характер. В спектрах отражения при  $x \leq 0,3$  наблюдаются локальные [3] колебания на частоте  $\omega_0 = 220 \text{ см}^{-1}$  (здесь и далее

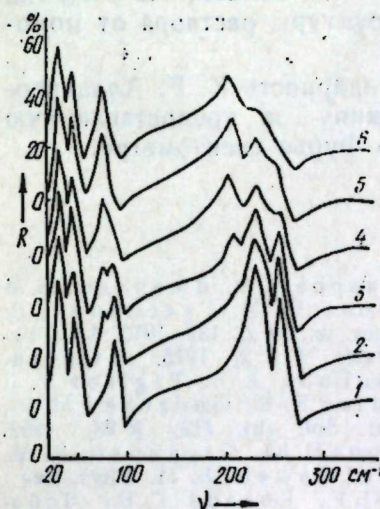


Рис. 3. Спектры отражения твердых растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$  ( $1 \leq x \leq 0,5$ ), снятые при  $T=300 \text{ К}$  в геометрии  $\vec{E} \perp \vec{C}$ : 1 —  $x=1$ ; 2 —  $x=0,9$ ; 3 —  $x=0,8$ ; 4 —  $x=0,7$ ; 5 —  $x=0,6$ ; 6 —  $x=0,5$

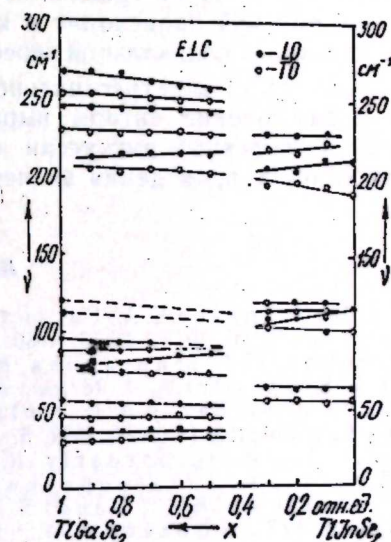


Рис. 4. Зависимости частот оптических фононов от состава твердых растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$ , снятые в геометрии  $\vec{E} \perp \vec{C}$

будет указана частота только гоперечного фонона) и резонансное [3] колебание с частотой  $\omega_0 = 112 \text{ см}^{-1}$ .

3. В спектрах отражения растворов  $\text{TiGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$  при значениях  $x \geq 0,5$  наблюдаются два щелевых колебания на частотах  $\omega_0 = 262 \text{ см}^{-1}$  и  $\omega_0 = 72 \text{ см}^{-1}$ .

4. Продольно-поперечное расщепление фундаментальных колебаний  $\text{TiInSe}_2$  (колебания с частотами 100 и  $190 \text{ см}^{-1}$ ) при  $x=0,3$  умень-



шается (рис. 4), а дальнейшее увеличение  $x$  попадает в область, где отсутствует растворимость и при  $x = 0,5$  спектр радикально меняется, что связано с ФП из группы симметрии  $L_{4h}^{18}$   $TlInSe_2$  в группу симметрии  $TlGaSe_2$  ( $G_{2h}^6$ ). В то время как при  $x \rightarrow 0,3$  силы осцилляторов падают и растет затухание фононов с частотами  $\omega_{to} = 100$  и  $190 \text{ см}^{-1}$ , становятся более интенсивными примесные колебания.

5. В спектре отражения растворов  $TlGa_xIn_{1-x}Se_2$  при  $x \geq 0,5$  кроме двух щелевых колебаний наблюдается 6 полос остаточных лучей, характерных для  $TlGaSe_2$ .

6. Низкочастотные моды в обеих концентрационных областях имеют одномодовый тип перестройки частот. Это характерно для всех твердых растворов на основе халькогенидов таллия, индия и галлия со слоистой и цепочечной структурами [4, 5, 6].

Таким образом, экспериментальные результаты по исследованию КРС-и ИК-отражения твердыми растворами  $TlGa_xIn_{1-x}Se_2$  свидетельствуют о том, что исследуемые твердые растворы претерпевают ФП с уменьшением вдвое элементарной ячейки в направлении (001) при значении  $x = 0,5$  по сравнению с  $x = 1$ .

Второй ФП происходит в концентрационной области  $0,5 \geq x \geq 0,3$ , что связано с радикальной перестройкой структуры раствора от моноклинной ( $C_{2h}^6$ ) к тетрагональной ( $D_{4h}^{18}$ ).

В заключение авторы выражают благодарность К. Р. Аллахвердиеву за полезные дискуссии и Г. Н. Жижину за предоставленную возможность проведения экспериментов на Фурье спектрометре.

#### Литература

1. Виноградов Е. А., Гасанлы Н. М., Гончаров А. Ф., Джавадов Б. М., Тагиров В. И. ФТГ, 22, 3, 1980.
2. Бидзинова С. М., Гусейнов Г. Д., Гусейнов Г. Г., Заргарова М. И. Азерб. хим. ж., № 2, 133, 1973.
3. Barker A. S., Stevers A. J. Reviews of Modern Physics, 47, 2, 1975.
4. Gasanly N. M., Goncharov A. F., Melnik N. N., Ragimov A. S., Tagirov V. I. Phys. Stat. Sol. (b), 116, 427, 1983.
5. Allahverdiev K. R., Godzhaev M. M., Nadzhafov A. U., Sardarly R. M. Phys. Stat. Sol. (b), 112, k 93, 1982.
6. Алиев Р. А., Аллахвердиев К. Р., Сафаров Н. Ю., Сардарлы Р. М. ФТГ, 25, 3, 904, 1983.
7. Jandl S., Brebner J. L., Powebl B. M. Phys. Rev., 1313, 686, 1976.
8. Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В., Лебедев С. П., Прохоров А. М., Алиев Р. А., Аллахвердиев К. Р. Письма в ЖЭТФ, 37, 11, 517, 1983.

Институт физики АН

Поступило 24. X 1983

Р. Э. Элиев, Н. Д. Гусейнов, Р. М. Сардарлы

#### $TlGa_xIn_{1-x}Se_2$ БЭРК МЭНЛУЛЛАР СИСТЕМИНДЭ СТРУКТУР ФАЗА КЕЧИДИ

Мәгаләдә  $TlGa_xIn_{1-x}Se_2$  системиндә инфрақызылы вә комбинацион сәпил-мә спектрләринин тәдгигинин нәтижәләри барәдә мә'лумат верилмишдир. Кәстәрил-мишдир ки, консентрасияны  $0,5 > x > 0,3$  гыймәтләриндә гәфәсин спектринин радикал дәјишмәси баш верир ки, бу да структур фаза кечиди илә әләгәдардыр.

R. A. Aliev, G. D. Guseinov, R. M. Sardarly

#### THE STRUCTURAL PHASE TRANSFORMATION IN $TlGa_xIn_{1-x}Se_2$ SOLID SOLUTIONS SYSTEM

In this work the results of infrared and Raman scattering investigation of  $TlGa_xIn_{1-x}Se_2$  solid solution system are reported where  $1 > x > 0,5$  and  $0 > x > 0,3$ . It is shown that the fundamental reconstruction of vibration spectra in  $0,5 > x > 0,3$  concentration is connected with structural phase transformation. It is supposed, that the disorder of cation under lattice leads to twice as little unit cell of  $TlGa_{0,5}In_{0,5}Se_2$  crystal in comparison with  $TlGaSe_2$  in (001) direction.



УДК 621.315.592

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Акад. Э. Ю. САЛАЕВ, В. К. МАМЕДОВ, Х. Д. ДЖАЛИЛОВА, Э. И. КУРБАНОВА,  
А. Ш. АБДИНОВ

# РАЗОГРЕВ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНКАХ

$n = \text{Pb}_{0,82}\text{Sn}_{0,18}\text{Te}$  СИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ СВЧ

Несмотря на то, что тонкие пленки узкозонных полупроводников  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  являются весьма перспективными материалами для твердотельной микро- и оптоэлектроники, к настоящему времени многие их физические свойства (механизмы генерации, рекомбинации, рассеяния носителей и т. п.) изучены крайне недостаточно.

В данной работе сообщается о влиянии сильного электрического поля на электропроводность монокристаллических эпитаксиальных слоев  $n = \text{Pb}_{0,82}\text{Sn}_{0,18}\text{Te}$ , выращенных методом фотостимулированной эпитаксии на плоскопараллельных диэлектрических подложках  $\text{BaF}_2$  [111], [100]. Монокристаллы  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  и подложка  $\text{BaF}_2$  имеют близкие электрофизические параметры. Для  $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$  постоянная решетки  $a_0 = 6,43 \text{ \AA}$ , коэффициент термического расширения  $\alpha = 2 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$ , коэффициент теплопроводности  $\chi = 0,018 \text{ кал/град} \cdot \text{см} \cdot \text{сек}$ . Соответствующие значения для  $\text{BaF}_2$  равны:  $a_0 = 6,196 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$ ,  $\chi = 0,017 \text{ кал/град} \cdot \text{см} \cdot \text{сек}$ .

С целью снижения концентрации носителей тока и уменьшения вакансий из-под металла Pb в  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ , исследуемые слои в процессе роста легировались донорной примесью (индием) в количестве  $0,3 \div 0,7 \text{ ат. \%}$ . Измерения полуширины рентгенодифракционных кривых и кривых качания показали, что структурное совершенство легированных индием эпитаксиальных слоев  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  находится на уровне лучших монокристаллов, выращенных из газовой фазы [1]. Концентрация ( $n$ ) и подвижность свободных носителей ( $\mu$ ) в исследуемых эпитаксиальных слоях определены из измерений постоянной Холла методом Ван-дер-Пауэ и электропроводности ( $\sigma$ ) [2]. Оказалось, что при  $77 \text{ K}$   $n = 4 \cdot 10^{16} \div 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu \sim 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ,  $\sigma = 83 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  ( $T = 77 \text{ K}$ ). Изученные образцы имели размеры и сопротивления  $\sim 5 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-2} \text{ мм} \times 0,5 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$  и  $120 \text{ Ом}$ , соответственно. Измерения зависимости электропроводности от напряженности сильного электрического поля производились по интегральной СВЧ методике [3] на описанной в [4] экспериментальной установке. При этом длительность прямоугольных СВЧ импульсов равнялась  $\sim 2,0 \text{ мкс}$ , а токовые контакты образца находились вне сильного поля. Последнее позволяло исключить влияние контактных явлений на зависимость электропроводности от напряженности СВЧ поля. Амплитуда, длительность и частота тянущих электрических импульсов не превыша-

ли  $40 \div 60 \text{ В/см}$ ,  $8 \text{ мкс}$  и  $6 \text{ Гц}$ , соответственно. Применяемая измерительная техника позволяла варьировать напряженность СВЧ ( $\lambda \approx 3 \text{ см}$ ) электрического поля ( $E$ ) плавно от нуля до  $\sim 10^4 \text{ В/см}$ . Образцы вместе с волноводом находились в специальном криостате, который

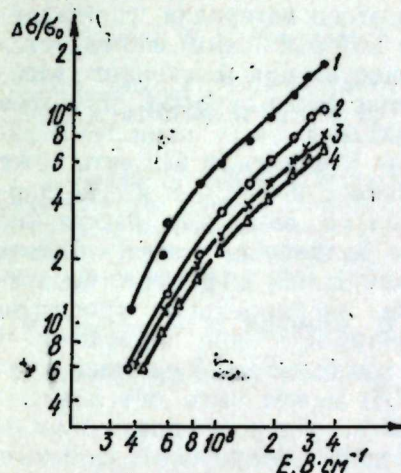


Рис. 1. Зависимость относительного изменения электропроводности от напряженности сильного электрического поля при различных температурах.  
 $T, \text{ K}: 1 - 77; 2 - 120; 3 - 150;$   
 $4 - 180; 5 - 200$

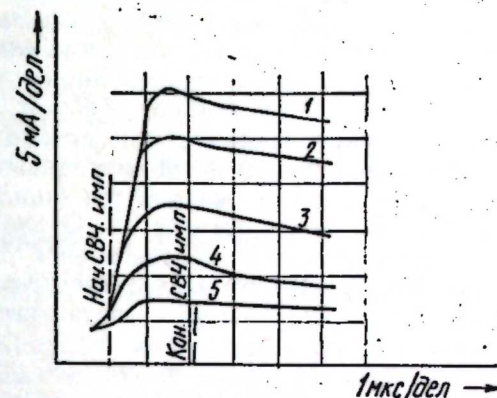


Рис. 2. Кинетика тока при различных напряженностях электрического поля  
 $E, \text{ В/см}: 1 - 3,5 \cdot 10^3; 2 - 2,5 \cdot 10^3; 3 -$   
 $1,5 \cdot 10^3; 4 - 8,5 \cdot 10^2; 5 - 5,8 \cdot 10^2. T = 77 \text{ K}.$

позволял изменять температуру в пределах  $77 \div 200 \text{ K}$  путем испарения жидкого азота. Температура образца измерялась термопарой медь—константан. Экспериментально снимались зависимости относительного изменения электропроводности  $\Delta\sigma/\sigma_0$ , где  $\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0$ , а  $\sigma$  и  $\sigma_0$  — удельные электропроводности при сильных и слабых электрических полях соответственно и кинетика неравновесной проводимости (возбужденной сильным электрическим полем избыточной проводимости) от напряженности электрического поля СВЧ при различных температурах (см. рис. 1 и 2 соответственно). Как видно из рис. 1, с ростом  $E$  электропроводность изучаемых эпитаксиальных слоев увеличивается по квадратичному и линейному законам при относительно низких ( $E < 10^3 \text{ В/см}$ ) и более высоких ( $E > 10^3 \text{ В/см}$ ) полях, соответственно. Из рис. 2 следует, что в изучаемых нами образцах при низких температурах релаксация неравновесной проводимости после прекращения импульса СВЧ поля имеет медленный характер. При этом время релаксации оказывается зависимым от напряженности поля и с ростом  $E$  оно увеличивается. В этом случае процесс нарастания неравновесной проводимости при включении импульса сильного электрического поля тоже более инерционный, чем в случае разогрева носителей в пространственно однородных полупроводниках ( $\tau_n < 10^{-10} \text{ с}$ ). С ростом температуры в изучаемых нами образцах исчезал медленно-релаксирующий характер процесса нарастания и спада неравновесной проводимости при включении и выключении СВЧ импульса, соответственно.



Переходя к обсуждению полученных результатов, прежде всего следует отметить, что обнаруженная нами зависимость  $\sigma$  от  $E$  в эпитаксиальных слоях  $n\text{-Pb}_{0.82}\text{Sn}_{0.18}\text{Te}$  не связана с примесными или межзонными пробоями при воздействии сильного электрического поля, так как ширина запрещенной зоны этого материала составляет  $E_g \approx 0,13$  эВ и напряженность поля, при которой нами наблюдается зависимость  $\sigma(E)$ , недостаточна для осуществления межзонного электрического пробоя [5]. Возможность прямого пробоя при этом исключается вследствие того, что при рассмотренных нами температурах все примесные уровни ионизированы. Контактные эффекты тоже не могут привести к обнаруженной зависимости  $\sigma(E)$ , т. к., во-первых, контакты находятся вне сильного поля, а, во-вторых, расстояние от контактов до активной (находящейся в волноводе) части образца составляет 3 мм и оказывается больше чем длина диффузии носителей в изучаемом материале. Ослабление инерционности процессов нарастания и спада неравновесной проводимости при включении и выключении СВЧ поля соответственно с ростом  $E$  и  $T$  противоречат тому, что обнаруженная зависимость  $\sigma(E)$  может быть обусловлена джоулевым нагревом. Нами предполагается, что рост проводимости эпитаксиальных слоев  $n\text{-Pb}_{0.82}\text{Sn}_{0.18}\text{Te}$  при воздействии сильного электрического поля обусловлен разогревом носителей тока электрическим полем при условиях рассеяния их на ионах примесей, т. к. концентрация примесных ионов в изучаемых образцах достаточно высока (концентрация нескомпенсированных носителей  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , и зависимость  $\sigma(E)$  наблюдается при тех полях, которые превышают критическую напряженность (минимальную напряженность поля, при которой начинается разогрев) электрического поля для исследуемого материала [6]. В рамках этого предположения несколько непонятным остается большая (относительно  $10^{-10}$  с) инерционность процессов нарастания и спада неравновесной проводимости. Однако следует отметить, что из-за введения при выращивании в большом количестве донорных атомов эпитаксиальные слои  $n\text{-Pb}_{0.82}\text{Sn}_{0.18}\text{Te}$  являются сильно компенсированными, наличие флуктуации потенциала в которых очевидно [7]. По-видимому, аналогично сказанному в [8], "горячие" носители тока, преодолевая потенциальный барьер на границе низко- и высокоомных частей образца попадают в высокоомную часть, а после выключения греющего поля медленно высасываются обратно (в низкоомную часть). Поэтому наблюдается медленная релаксация неравновесной проводимости. При высоких температурах уменьшается роль потенциального рельефа и медленный характер релаксации исчезает. В пользу этого предположения свидетельствуют и результаты по фотоэлектрическим свойствам исследуемых образцов [9].

#### Литература

1. Nortrop D. A. J. Electrochem. Soc., 118, 8, 1365, 1971.
2. Джаилова Х. Д., Курбанова Э. И. Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-тех. и матем. наук, 2, 83, 1982.
3. Денис В., Пожела Ю. Горячие электроны. Вильнюс: Минтис, 1971.
4. Ахундов Г. А., Абдинов А. Ш., Мехтиев Н. М., Кязимзаде А. Г. ФТП, т. 7, с. 2030, 1973.
5. Стилбанс Л. С. Физика полупроводников. М.: Сов. радио, 1967.
6. Коуэлл, Э. Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. М.: Мир, 1971.
7. Виноградов В. С., Воронова И. Д., Колужная Т. А., Рагимова Т. Ш., Шотов А. П. Письма в ЖЭТФ, т. 32,

вып. 1, с. 22, 1980. 8. Абдинов А. Ш., Мамедов В. К., Нуруллаев Ю. Г. ФТП, 15, 521, 1981. 9. Вул Б. А., Воронова И. Д., Гришечкина С. П., Рагимова Т. Ш. Письма в ЖЭТФ, т. 33, вып. 6, с. 346, 1981.

Поступило 31. III 1983

Е. J. Салаев, В. К. Мамедов, Х. Д. Чэлилова, Е. И. Курбанова, Э. Ш. Абдинов

$n\text{-Pb}_{0.82}\text{Sn}_{0.18}\text{Te}$  ЭПИТАКСИАЛ МОНОКРИСТАЛЛИК ТЭБЭГЭЛЭРИНДЭКИ  
ЖУКДАШЫЛЫЧЫЛАРЫНЫН ИJT КУЧЛУ ЭЛЕКТРИК САҺӘСИННІН ТӘСІРИ  
ИЛӘ ГЫЗДЫРЫЛМАСЫ

Мәгәләдә  $T=77\text{--}200\text{K}$  температур интервалында тәркиб үчүн  $0,18 \leq X \leq 0,22$  монокристаллик тәбәгәләрдә гызмар жүкдашылычыларын электрик кечиричисе мұшәһидә олунмуш вә тәҷрүби олараг тәдгиг едилмишдир. Алынмыш тәҷрүби нәтижәләрини тәһлили әсасында бу һадисәнин әсас һауһауһулулары мұәјјәнләшдирилмиш вә онун јаранма механизми изаһ едилмишдир.

E. Yu. Salaev, V. K. Mamedov, H. D. Djalilova, E. I. Kurbanova, A. Sh. Abdinov

CURRENT CARRIER HEATING IN  $n\text{-Pb}_{0.82}\text{Sn}_{0.18}\text{Te}$  BY STRONG ELECTRIC FIELD

$n\text{-Pb}_{0.82}\text{Sn}_{0.18}\text{Te}$  monocrystal epitaxial layers are obtained by FGE and the dependence of their electrical conductivity on strong electric field strength. SHF is studied at different temperatures in the region  $77 \leq T \leq 200$  K. The obtained results are explained by current carrier heating by means of electric-field SHF in samples under study.



Э. К. ГУСЕЙНОВ, Ф. Н. КАЗИЕВ, А. К. МАМЕДОВ, акад. Э. Ю. САЛАЕВ,  
Г. С. СЕИДЛИ

# ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ $Cd_xHg_{1-x}Te$

В работе [1] наблюдалось увеличение сигнала фотопроводимости при закорачивании э.д.с. Холла в образцах InSb в магнитном поле. Было показано, что относительное изменение фотопроводимости полупроводникового образца в магнитном поле, в режиме постоянного тока при полном закорачивании э.д.с. Холла и Дембера определяется выражением:

$$\frac{\Delta u_{SH}}{u_{SO}} = \frac{u_{SX} + u_{SD}}{u_{SO}} = \frac{\mu^2 H^2}{C^2} \cdot \frac{1}{\rho_H/\rho_0} + \frac{1}{C} \cdot \frac{H}{\rho_H/\rho_0} \cdot \frac{1}{u_{SO}} \cdot u_{SD} \quad (1)$$

где  $u_{SH}$  и  $u_{SO}$ ,  $\rho_H$  и  $\rho_0$  — фотопроводимость и удельное сопротивление соответственно в присутствии и отсутствии магнитного поля,  $u_{SX}$  и  $u_{SD}$  — напряжения, обусловленные закорачиванием э.д.с. Холла и Дембера соответственно.

Экспериментально для  $n = \text{InSb}$  при закорачивании э.д.с. Холла в магнитном поле до 10 кЭ в режиме постоянного тока наблюдалось значительное увеличение сигнала фотопроводимости. В работе [2] отмечалось увеличение фотопроводимости вследствие закорачивания э.д.с. Дембера для образцов InSb:NiSb.

В данной работе исследована возможность увеличения фотопроводимости монокристаллических образцов  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x \approx 0,2$ )  $n$ -и  $p$ -типа проводимости при закорачивании э.д.с. Холла в продольном магнитном поле. Концентрация носителей тока в исследованных образцах  $n$ -и  $p$ -типа проводимости при 80 К соответственно составляла  $2,5 \cdot 10^{14}$  и  $3,6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , а подвижности —  $2,5 \cdot 10^4$  и  $7,0 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$ .

Для измерений готовились образцы размером  $5 \times 2 \times 0,2 \text{ мм}^3$  с удаленными наружными слоями.

На рис. 1 справа представлено схематическое изображение образца, геометрия которого обеспечивает ослабление, вследствие закорачивающего действия контактов, холловского поля в освещенной части образца. В эксперименте освещалась лишь средняя часть его, где холловское поле однородно.

Исследованы магнитопольная ( $0,1 \div 5 \text{ кЭ}$ ) и температурная ( $80 \div 200 \text{ К}$ ) зависимости фотопроводимости в режиме постоянного тока. Источником света служил глобар, модулированное излучение которого с выхода монохроматра SPM-2 направлялось (для исключения влияния фотомангнитной э.д.с. на фотопроводимость вдоль магнитного поля и перпендикулярно поверхности образца. С целью устранения эффектов,

связанных с неоднородностью образца и неточной ориентацией магнитного поля, измерения проводились при двух направлениях магнитного поля и тока через образец.

На рис. 1 представлены зависимости приращения сигнала фото проводимости  $u_{SH}, u_{SO}$  и продольного магнитосопротивления  $\rho_H/\rho_0$  от

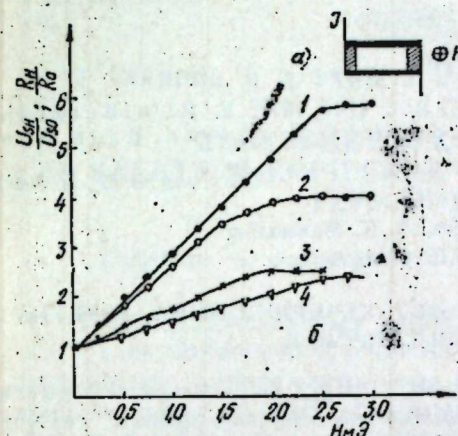


Рис. 1. а — схематическое изображение образца; б — зависимости  $u_{SH}/u_{SO}$  и  $\rho_H/\rho_0$  для образцов с проводимостью  $n$ -типа (1, 4) и  $p$ -типа (2, 3) от напряженности магнитного поля

напряженности магнитного поля при температуре 80 К для двух образцов  $n$ -и  $p$ -типа проводимости. Длина волны излучения соответствовала максимуму спектрального распределения фотопроводимости и составляла  $\lambda_{max} \approx 9 \text{ мкм}$ .

Как видно, для образца  $n$ -типа достигнуто почти шестикратное, а  $p$ -типа четырехкратное возрастание фотопроводимости. Эту разницу, в соответствии с выражением (1), по-видимому, можно объяснить различным значением их подвижностей носителей зарядов. Видна также пропорциональность между  $u_{SH}/u_{SO}$  и  $\rho_H/\rho_0$ , что качественно согласуется с результатами работы [3], где исследовалась отрицательная фотопроводимость образцов InSb в магнитном поле.

На рис. 2 представлены температурные зависимости  $u_{SH}, u_{SO}$  в магнитном поле  $H = 3 \text{ кЭ}$  для тех же образцов. Из рисунка видно,

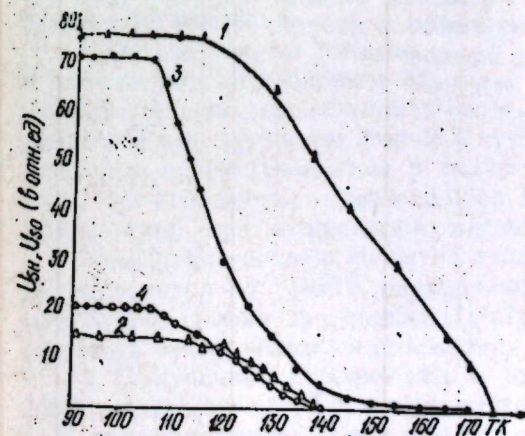


Рис. 2. Температурные зависимости  $u_{SH}$  и  $u_{SO}$  для образцов  $n$ -типа (1, 2) и  $p$ -типа (3, 4) проводимости



что повышенное значение сохраняется в широком интервале температур. Проводимые измерения зависимости максимального приращения фотосигнала  $\mu_{SH}/\mu_{SO}$  от длины волны в том же диапазоне температур, показали, что  $\frac{\mu_{SH\max}}{\mu_{SO}}$  с ростом температуры сдвигается в сторону коротких длин волн. Это связано с увеличением ширины запрещенной зоны с температурой.

#### Литература

1. Мосанов О., Тилкилиев С. ФТП 8, с. 1649, 1977. 2. Pfeleiderer H. Phys. St. Sol., 29, с. 597, 1968. 3. Добровольский В. Н., Фан, Вань Ан ФТП, 3 с. 784, 1969.

Поступило 17. II 1983

Е. К. Хусейнов, Ф. Н. Газыев, А. К. Маммадов,  
Е. Ю. Салаев, Г. С. Сеидли

#### $Cd_xHg_{1-x}Te$ МОНОКРИСТАЛЛАРЫНЫН ФОТОКЕЧИРИЧИЛИНИН УЗУНУНА МАГНИТ САҲЭСИННИН ТӘСИРИ

Узунуна магнит саҳсиндә јерләшдирилмиш  $Cd_xHg_{1-x}Te$  монокристалларында һолл е. һ. г. ғыса гапанмасы јолу илә онун фотокечиричилини артамасы тәҗрүби оларат тәдҗиг олунмушдур. 80–140 К температур интервалында вә Н-З кЕ магнит саҳсиндә фотосигналын 6 ләфз артамасы мушаһидә олунмушдур.

E. Yu. Salaev, E. K. Huseynov, F. N. Kasiev, A. K. Mamedov, G. S. Seidli

#### THE INFLUENCE OF THE LONGITUDINAL MAGNETIC FIELD ON THE PHOTOCONDUCTIVITY OF MONOCRYSTALS $Cd_xHg_{1-x}Te$

The possibility of increasing photosensitivity in monocrystal samples  $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$  was experimentally investigated by shorting Hall tension. The sixfold increase of photosensitivity in magnetic fields to 8 kG in large temperature range of 80–150 K was almost achieved.

УДК 621.315.592

#### ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

М. Я. БАКИРОВ, Н. А. УХИН, А. К. АБИЕВ, Ш. М. АББАСОВ, Г. М. ГАСУМОВ

#### ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ГЕРМАНИЯ С КРЕМНИЕМ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ч. М. Джуварлы)

1. В опубликованных работах [1–5], посвященных действию гамма- и электронного излучения на свойства твердых растворов  $Ge_{1-x}Si_x$ , полученные экспериментальные результаты объяснялись с позиций возникновения первичных радиационных дефектов и их последующей миграции в однородном монокристаллическом материале. При этом далеко не все имеющиеся данные удавалось объяснить с единой точки зрения, а в ряде случаев имеющиеся результаты даже противоречат друг другу.

Наиболее детальные исследования структуры таких растворов и их однородности в отношении распределения кремния и легирующей примеси сурьмы были предприняты в связи с получением таких растворов в условиях невесомости в ходе выполнения программы «Союз—Аполлон». Контрольные плавки проводились и на земле.

В этих исследованиях [6] обнаружена значительная неоднородность в распределении сурьмы в продольном и поперечном сечениях слитка. Нескольким удивительным является то обстоятельство, что области максимального содержания сурьмы соответствуют областям минимального содержания кремния. Дело в том, что коэффициент сегрегации сурьмы в кремнии  $[K_0 \approx (1.8 \div 2.3) \cdot 10^{-3}]$  примерно на порядок больше величины этого коэффициента в германии ( $K_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ ). Именно поэтому можно ожидать, что при кристаллизации сурьма будет обогащать области с повышенным содержанием Si.

Если это так, то тогда твердый раствор  $Ge_{1-x}Si_x$  n-типа, конечно, в значительно упрощенном варианте, можно представить в виде двухфазной системы, одна большая по объему является германием с растворенным в нем кремнием, бором и сурьмой, а вторая — кремнием с растворенным в нем германием, а также бором и сурьмой. Важно подчеркнуть, что бор, всегда содержащийся в кремнии, не было специальной очистки, преимущественно насыщает германий, а сурьма кремний.

Электрофизические свойства такой двухфазной системы в диапазоне температур 80–300 К определяются положением уровня Ферми относительно уровня протекания [7]. При гелиевых температурах в таких системах обнаруживается прыжковая проводимость [8].

2. Облучению электронами с энергией  $\sim 3$  МэВ при температуре 100 К подвергались образцы твердого раствора  $Ge_{1-x}Si_x$  электронной и дырочной проводимости с содержанием кремния 5,0; 10,0 и 15,0 ат. %.



Вместе с образцами твердого раствора облучению подвергались и образцы «чистого» германия, легированного сурьмой и галлием.

У всех образцов в процессе их облучения с помощью эффекта Холла контролировалась концентрация носителей тока. Измерения проводились при 80 К без разогрева образца. Полученные при этом результаты приведены на рис. 1, 2. По оси ординат отложен либо логарифм модуля постоянной Холла, либо относительное изменение  $\frac{\Delta P}{P_0} = [P_0 - P(\Phi)] / P_0$  концентрации дырок.

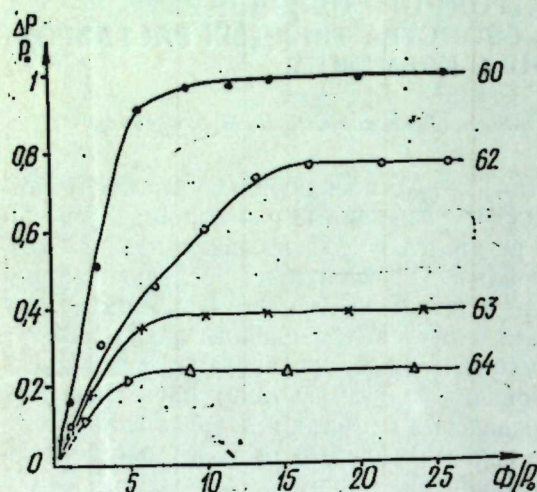


Рис. 1. Зависимость относительного изменения концентрации дырок от величины  $\epsilon/P_0$  для образцов р-типа германия (№ 60, 62, 63, 64 соответственно)

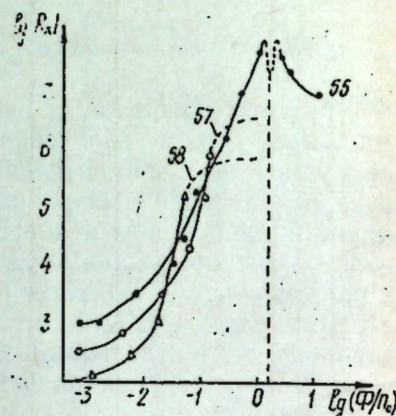


Рис. 2. Зависимость коэффициента Холла от относительной интегральной дозы для различных образцов л-типа, облученных электронами при 100 К. 55—образец, легированный Sb; 57 и 58—образцы твердого раствора  $Ge_{1-x}Si_x$  с 5 и 10 ат. % Si, соответственно.

Как видно из рис. 2, у образцов с исходной электронной проводимостью перед конверсией типа проводимости и окончательного приобретения ими дырочной проводимости в достаточно большом диапазоне относительных интегральных потоков электронов контролировать их параметры не представлялось возможным. В этот период облучения образцы имели проводимость, близкую к собственной, в них проявлялись различного вида неустойчивости. Такое поведение имело место и у образца № 59 с концентрацией кремния в 15 ат. % буквально с самого начала его облучения. Именно поэтому экспериментальные зависимости не представлены на рис. 2.

Полученные результаты по образцам твердого раствора с электронной проводимостью, по крайней мере, в качественном отношении находятся в согласии с результатами работ [2] и противоречат результатам работы [5]. Результаты по облучению твердых растворов с дырочной проводимостью ранее опубликованы не были.

3. Полученную в наших экспериментах совокупность результатов, равно как и опубликованные данные [1—5] представляется возможным объяснить, если предположить, что поверхность раздела между двумя фазами в твердых растворах и система дислокаций у этой поверхности служат эффективными стоками для междоузельных атомов, образующихся в германиевой фазе при облучении твердого раствора.

В образцах твердого раствора с дырочной проводимостью последняя в исходном состоянии осуществляется за счет германиевой фазы, преимущественно легированной бором, а также за счет акцепторных состояний, обусловленных системой дислокаций и границей раздела между фазами. В процессе облучения чистого германия, легированного примесью III группы, изменение концентрации дырок определяется как процессом вытеснения этой примеси в междоузельное пространство междоузельными атомами германия, так и образованием дефектов с участием свободных вакансий [1, 2]. В твердых растворах р-типа протекают те же процессы в германиевой фазе с той лишь разницей, что скорость изменения дырок из-за вытеснения бора в междоузелье снижается в результате дефицита междоузельных атомов. Чем больше кремния в растворе, тем более развита поверхность границы раздела между фазами и тем выше плотность дислокаций у этой границы, а следовательно, тем эффективнее сток для междоузельных атомов. Поэтому, чем выше концентрация кремния в растворе, тем меньшая относительная доля начальной концентрации дырок претерпевает радиационное изменение.

Что касается кремневой фазы, то даже в исходном состоянии она, по-видимому, никоим образом не влияет на электрические свойства раствора, так как концентрация бора в ней существенно ниже, чем в германиевой фазе, а ширина запрещенной зоны выше. В процессе облучения изменения, происходящие в кремневой фазе, скорее всего, аналогичны процессам в чистом кремнии, обуславливающим сдвиг уровня Ферми к середине запрещенной зоны. Различие в поведении чистого кремния и кремневой фазы в твердых растворах ( $Ge_{1-x}Si_x$  может заключаться в том, что кремневая фаза может в большей степени, чем чистый кремний насыщаться свободными вакансиями при одинаковых радиационных условиях. Причина этого в том, что образовавшиеся междоузельные атомы кремния также будут преимущественно захватываться границей раздела фаз из-за того, что на этой границе имеют место растягивающие упругие напряжения. Поэтому при одинаковых уровнях облучения относительные изменения свойств будут большими у кремневой фазы твердого раствора, чем в чистом кремнии.

Общая картина процессов, протекающих в твердых растворах при их облучении, остается такой же и для образцов с начальной электронной проводимостью. Нужно только в этом случае иметь в виду то обстоятельство, что проводимость в исходном состоянии таких материалов осуществляется по уровню протекания кремневой фазы. Германиевая фаза из-за того, что ее проводимость либо близка к собственной, либо даже дырочная в основном не участвует в явлениях переноса заряда. В процессе облучения проводимость в кремневой фазе быстро падает, стремясь к собственной, а проводимость германиевой фазы становится явно дырочной, но достаточно высокоомной. Так как радиационные процессы в обеих фазах ускорены по сравнению с чистыми германием и кремнием из-за захвата междоузельных атомов границей раздела фаз и обогащения объема свободными вакансиями, с увеличением содержа-



ния в образцах твердого раствора кремния ускоряются относительные изменения концентрации носителей и проводимости (см. рис. 2).

Анализ результатов данной работы позволяет сделать следующее заключение. Твердые растворы германия с кремнием являются неоднородным материалом, который в упрощенном виде можно представить в форме двухфазной системы, одна из которых состоит из микровключений, содержащих кремний. Имеющиеся большие упругие растягивающие напряжения на границе раздела этих фаз являются эффективными стоками для междоузельных атомов, что в конечном итоге и определяет поведение электрических свойств твердых растворов при их облучении.

#### Литература

1. Абдурахманова С. Н., Васильева Е. Д., Емцев В. В., Машовцев Т. В. ФТП, т. 8, вып. 9, 1963, 1974. 2. Абрикосов Н. Х., Белокурова И. Н., Дегтярев В. Ф., Земсков В. С., Скуднова Е. В. ФТП, т. 9, вып. 10, 1909, 1975. 3. Белокурова И. Н., Сафронов Л. Н. ФТП, т. 8, вып. 4, 785, 1974. 4. Emtsev V. V., Mashovets T. V., Maximov M., Vitovski N. A. Roy. eff., 9, 181, 1971. 5. Болотова В. В., Васильев А. В., Смагулова С. А. ФТП, т. 10, вып. 10, 1981, 1976. 6. Земсков В. С., Шульгина И. Л., Титков А. Н., Белокурова И. Н., Гусева Н. Б., Сафаров В. И. ФТТ, т. 21, вып. 4, 987, 1979. 7. Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Жур. эксперимент. и теоретич. физики, т. 60, вып. 2, 867, 1972. 8. Гельмонт Б. Л., Гаджиев А. Р., Шкловский Б. И., Шлимак И. С., Эфрос А. Л., ФТП, т. 8, вып. 12, 2377, 1974.

Сектор радиационных исследований АН Азерб. ССР

Поступило 11. III 1983

М. Я. Бакиров, Н. А. Ухин, Э. Г. Абиёв, Ш. М. Аббасов, Г. М. Гасымов

#### КЕРМАНИУМЛА СИЛИСИУМУН БЭРК МЭХЛУЛЛАРЫНЫН ЭЛЕКТРОФИЗИКИ ХАССЭЛЭРИНЭ ЭЛЕКТРОН ШҮАЛАНМАСЫНЫН ТӘСИРИ

Керманиумла силисиумун бэрк мэхлулларынын шүаландырылмасындан алынмыш тәүрүби нәтижәләр на бу сәһәдә әдәбијатла мәлүм олан анализләр әсасында кәстәрилән мэхлулларда радиасија просесләр ичүн модел тәклиф олунмушдур.

Модел, бэрк мэхлулларын ја-силисиумла, ја да керманиумла эңкиләшмәнн об-ластлардан тәшкит олунмуш биринси олмајан гурулуша малик олмасына әсасла-ныр. Бу областлар бир-бириндән ајыран сәриәдләр шүаланма просесиндә јаранан дү-јүнләрарасы атомларын эффектив топланма јерләр ролуну ојнајыр. Бу атомларын удулма на кристалын һөчминин сәрбәст вакансијаларла эңкиләшмә просеси керма-ниумла силисиумун бэрк мэхлулларында баш верән радиасија просесләринин хүсусиј-јәтләрини тәјин едир.

M. Ya. Bakirov, N. A. Ukhin, A. K. Abiyev, Sh. M. Abbasov, G. M. Gasymov

#### THE ELECTRONIC IRRADIATION ACTION ON ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF GeSi SOLID SOLUTIONS

On the strength of experimental results and analysis of issued data on the irradiation examples of GeSi solid solution the model of irradiation processes on these materials is given. The model is based on the structural nonhomogeneous solid solution presentation consisting of Ge or Si ranges. The boundary between these ranges serves the effective flow for the interstitiality of the atoms which are formed in the irradiated process. The intensive absorption and enrichment of the crystal capacity by free-vacancy define the irradiation process peculiarities in GeSi solid solution.

УДК 621.315.592

#### ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

В. И. ИВАНОВ-ОМСКИЙ, Р. Б. РУСТАМОВ, В. А. СМЕРНОВ, Ш. У. ЮЛДАШЕВ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЯЗАННЫХ ЭКСИТОНОВ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Э. Ю. Салаевым)

Авторами работы [1] сообщается о наблюдении в спектре фотолюминесценции (ФЛ)  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x \approx 0,3$ ) достаточно узких линий с полушириной порядка  $\sim 1$  мэВ. Эти линии обуславливаются ими рекомбинацией экситонов, связанных на глубоких нейтральных акцепторных центрах. Зависимость интенсивности излучения связанных экситонов от интенсивности оптической накачки имеет суперлинейный характер. С другой стороны, эффективная масса электронов в  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  (при  $x \approx 0,3$ ) достаточно мала, т. е. имеет значение  $m_e \approx 0,018 m_0$ . Поэтому линии излучения в магнитном поле перестраиваются в коротковолновую сторону в большом спектральном диапазоне.

Все эти факты дают убедительные основания использовать эти экситонные линии как источник возбуждения для исследования ФЛ.

Эксперименты проводились при  $T=4,2\text{K}$  на пропускание. Брали два образца, у которых ширина запрещенной зоны очень близка. Исследуемые образцы имели электронный тип проводимости, концентрацию электронов  $n \approx 13 \text{ см}^{-3}$ .

Методика исследования ФЛ была аналогичной описанной в работе [2]. Некоторые изменения в методике были только в расположении образцов. Над гетеролазером  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ , который использовался для оптической накачки, был установлен образец  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , имеющий меньшую энергию кванта (обр. II). Гетеролазер и образец  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  (обр. II) находились внутри сверхпроводящего соленоида, который позволял получить магнитные поля напряженностью вплоть до  $80 \text{ кЭ}$ . Второй образец  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  (обр. I) с большей энергией кванта был установлен над первым образцом  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  вне сверхпроводящего соленоида.

На рис. 1, а показан спектр ФЛ образца  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  с большей энергией кванта, а на рис. 1, б — спектры ФЛ образца с меньшей энергией кванта при нулевом, а также при  $40,80 \text{ кЭ}$  соответственно. В этих случаях оптическое возбуждение осуществлялось полупроводниковым гетеролазером ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ).

Как видно из рис. 1, б, спектр ФЛ при нулевом магнитном поле состоит из двух узких линий. С увеличением напряженности магнитного поля линии смещаются в коротковолновую сторону и наблюдаются



ся спад интенсивности излучения. При  $H = 80$  кЭ спектр ФЛ состоит из одной узкой линии.

Экситонные линии обр. II появляющиеся при оптическом возбуждении гетеролазером  $Ga_xAl_{1-x}As$ , в свою очередь являются источни-

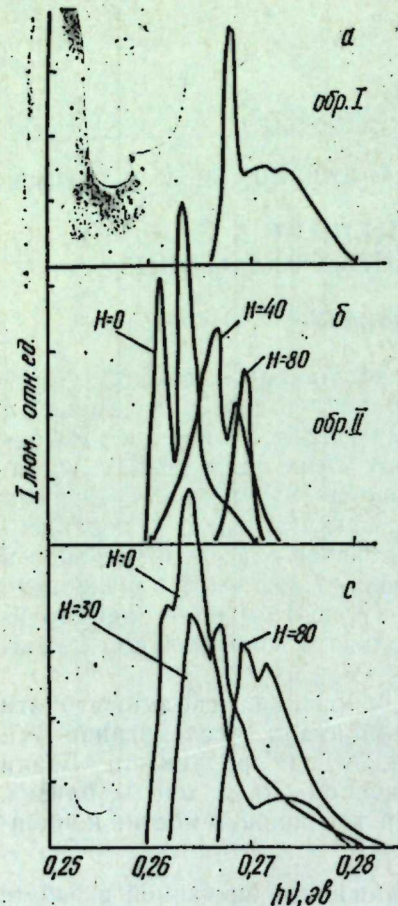


Рис. 1. а—спектр ФЛ образца  $Cd_xHg_{1-x}Te$  с меньшей энергией кванта (обр. I); б—спектр ФЛ образца  $Cd_xHg_{1-x}Te$  с большей энергией кванта (обр. II); в—спектр ФЛ обр. I и II при различных значениях магнитных полей

ком возбуждении для обр. I. На рис. 1, в показаны спектры ФЛ при различных напряженностях магнитных полей. Как уже ранее сообщалось, обр. II находился внутри сверхпроводящего соленоида. Увеличение напряженности магнитного поля способствует увеличению энергии кванта обр. II (рис. 1, б). В спектре ФЛ (рис. 1, в) существуют линии и обр. I, II. При  $H = 80$  кЭ линия излучения состоит из трех полос—длинноволновая полоса, соответствующая обр. II и две коротковолновые полосы, соответствующие обр. I.

На рис. 2 показаны спектры ФЛ образца  $Cd_xHg_{1-x}Te$  при оптическом возбуждении гетеролазером  $Gd_xAl_{1-x}As$ , а также спектры ФЛ

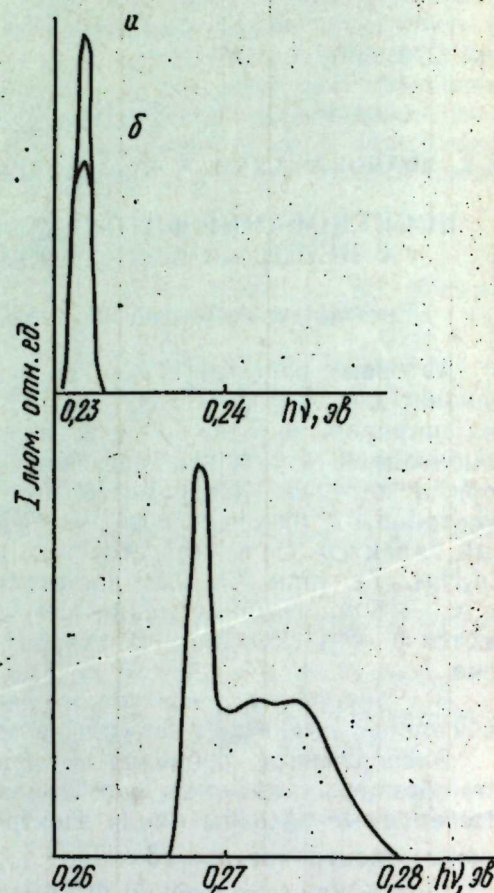


Рис. 2. Спектр ФЛ  $Cd_xHg_{1-x}Te$  при возбуждении гетеролазером  $Ga_xAl_{1-x}As$  (а) и связанными экситонами (б)

возбуждаемые  $Cd_xHg_{1-x}Te$ , имеющие больший квант энергии, чем исследуемый образец  $Cd_xHg_{1-x}Te$ . Как видно из рис. 2, формы спектров абсолютно не изменились. В этом случае также для возбуждения использовался полупроводниковый гетеролазер  $Ga_xAl_{1-x}As$ . После преобразования излучения образцом  $Cd_xHg_{1-x}Te$ , связанными экситонами возбуждался образец с меньшим квантом энергии.

Проводимые эксперименты убедительно показали возможность применения связанных экситонов  $Cd_xHg_{1-x}Te$  в спектроскопии. Можно также использовать эти линии в качестве преобразователя излучения в достаточно большом спектральном диапазоне.

#### Литература

1. Иванов-Омский В. И., Курбанов К. Р., Мальцева В. А., Смирнов В. А., Юлдашев Ш. У. ФТП, 1983, т. 17, вып. 1, с. 27.
2. Гельмонт Б. Л., Иванов-Омский В. И., Мальцева В. А., Смирнов В. А. ФТП, 1981, т. 15, вып. 6, с. 1109.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе

Поступило 30. IV 1984

В. И. Иванов-Омский, Р. Б. Рустамов, В. А. Смирнов, Ш. У. Юлдашев

#### ЭЛАГЭЛИ ЭКСИТОНЛАРЫН ИСТИФАДА ЭДИЛМЭСИЛЭ $Cd_xHg_{1-x}Te$ ДЭ ФОТОЛУМИНЕСЕНСИЯНЫН ТЭДГИГИ

Мэгалэдэ элагэли экситонларын шүаландырычы рекомбинациясынын фотолуминесенсианын ( $Cd_xHg_{1-x}Te$ —дэ оптик тэсирлэнмэси үчүн истифада эдилмэсиндэн бэлх олунур.

#### V. I. Ivanov-Omskii, R. B. Rustamov, V. A. Smirnov, Sh. U. Yuldashev THE BOUND EXCITATION IN PHOTOLUMINESCENCE STUDY OF $Cd_xHg_{1-x}Te$

The possibility of using the recombinative radiation of the bound excitation for optical excited photoluminescence in  $Cd_xHg_{1-x}Te$  is reported in the present work.



А. М. АЛИЕВ, А. П. ЖЕРНОВ, Х. М. ПАШАЕВ

# РАСЧЕТ МИКРОКОНТАКТНЫХ ФУНКЦИЙ МАГНИЯ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Н. А. Гулиевым)

В последние годы развивается экспериментальная методика — микроконтактная спектроскопия, которая позволяет получить информацию о функции электрон-фононного взаимодействия (ЭФВ)  $\alpha^2 F(\omega)$  в металлах (см., например, обзор Янсона [1]). Теория явления развита Куликом, Омелянчуком, Шехтером [2] и ван Гельдером [3]. В основе ее решение соответствующего нелинейного уравнения Больцмана с ЭФВ в качестве основного механизма рассеяния электронов. Было показано, что вторая производная вольтамперных характеристик точечных металлических контактов  $d^2I/dV^2$  пропорциональна микроконтактной функции

$$G(\omega) = \frac{N(0)}{2} \frac{\iint \frac{dS_{\vec{k}} dS_{\vec{k}'}}{\vec{k} \rightarrow \vec{k}'} K(\vec{k}, \vec{k}') \sum_{\lambda} |W_{\vec{k}-\vec{k}', \lambda}|^2 \delta(\omega - \omega_{\vec{k}-\vec{k}', \lambda})}{\iint \frac{dS_{\vec{k}} dS_{\vec{k}'}}{\vec{k} \rightarrow \vec{k}'}} \quad (1)$$

(Здесь все обозначения общ принятые),

В работе [2] для геометрического фактора точечного контакта в виде круглого отверстия получено выражение

$$K(\vec{v}, \vec{v}') = \frac{|\vec{v}_z \vec{v}'_z|}{|\vec{v}_z \vec{v}' - \vec{v}'_z \vec{v}|} \theta(-\vec{v}'_z \vec{v}_z), \quad (2)$$

зависящее от ориентации кристалла относительно плоскости отверстия ( $z=0$ ). Другое выражение для  $K$ -фактора

$$K(\vec{v}, \vec{v}') = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\vec{v} \cdot \vec{v}'}{\lg \frac{\vec{v} \cdot \vec{v}'}{\vec{v} \cdot \vec{v}'}} \right)$$

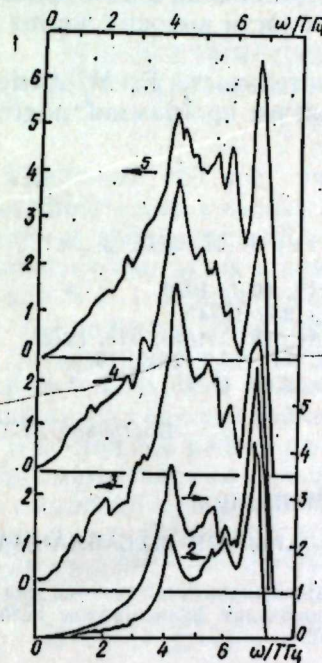
получено путем усреднения (2) по различным ориентациям кристалла [3]. При  $K=1$  выражение (1) — известная функция ЭФВ  $\alpha^2 F(\omega)$ .

Теоретические расчеты микроконтактных спектров (МКС) выполнены для простых кубических металлов (см. [1]).

В настоящей работе обсуждаются результаты расчетов функций  $G(\omega)$  для магния — металла с ГПУ-структурой, вычисленных с целью выявления роли анизотропии. При этом предполагается, что поверхность Ферми (ПФ) сферическая и для матричного элемента в теории псевдопотенциала справедливо одноволновое приближение. Динамика решетки рассматривалась в рамках теории, предложенной в [4]. Форм-фактор псевдопотенциала электрон-ионного взаимодействия задавался в виде

$$V(q) = - \frac{4\pi ze^2}{q^2} \left[ (1 - U_0) \cos qR_0 + U_0 \frac{\sin qR_0}{qR_0} \right] e^{-\zeta \frac{q}{2k_F}}.$$

Подгонкой экспериментальных данных [5] к рассчитанным с диэлектрической функцией Геллгарта-Васко [6] фононным частотам для параметров псевдопотенциала получены следующие значения:  $U_0 = -0,111059$ ,  $R_0 = 0,720105 \text{ \AA}$ ,  $\zeta = -0,205$ . Этим же псевдопотенциалом описывалось электрон-ионное взаимодействие в матричном элементе ЭФВ металла.



Спектральные характеристики магния (в произв. ед.): 1 — плотность состояний фононов 2 — функция электрон-фононного взаимодействия; 3, 4, 5 — микроконтактные функции для трех ориентаций оси отверстия относительно кристаллографических направлений:  $z \parallel [1010]$ ,  $z \parallel [1120]$  и  $z \parallel [0001]$ , соответственно.

В рамках указанной модели нами были рассчитаны плотность фононных состояний  $F(\omega)$ , функция ЭФВ  $\alpha^2 F(\omega)$  и функции  $G(\omega)$  с  $K$ -фактором вида (2) для трех ориентаций кристалла. На рисунке приведены графики этих функций, причем функции  $G\omega$  построены с учетом гауссова уширения с  $\sigma = 0,3 \text{ мэВ}$  из гистограмм.

Плотность состояний фононов  $F(\omega)$  обнаруживает хорошее совпадение с результатами [5], где расчет выполнен в модели силовых постоянных. Экспериментальные МКС, полученные Найдюком и др. [7], согласуются с кривой  $F(\omega)$  как по положению особенностей, так и по их характеру. Однако из сравнения  $F(\omega)$  и  $\alpha^2 F(\omega)$  видно, что квадрат матричного элемента ЭФВ, усредненный по ПФ, обнаруживает существенную зависимость от энергии, в то время как в [7], полагая  $G_{\text{экс}}(\omega) \sim \alpha^2 F(\omega)$ , получено  $\alpha^2 = \text{const}$ .

Согласие полученных функций  $G(\omega)$  с экспериментальными МКС в целом хорошее. Существенное отличие между ними наблюдается лишь в области между основными пиками.

Сравнивая кривые  $G(\omega)$  для различных ориентаций кристалла относительно плоскости отверстия, обнаружим анизотропию спектров. МКС вдоль гексагональной оси и МКС для направлений на базисной



плоскости существенно отличаются по относительной интенсивности основных пиков. Кроме того, в зависимости от направления меняется ход начального участка и поведение спектра между основными пиками. Отметим, что обнаруженные экспериментально для разных образцов Mg подобные различия интерпретировались авторами как проявление анизотропии ЭФВ [7].

Для выяснения роли процессов с перебросом в формировании микроконтактных функций нами были рассчитаны гистограммы с учетом только U-процессов. Оказалось, что U-процессы целиком определяют характер и расположение особенностей. Заметный вклад в интенсивность пиков нормальные процессы дают только в области высоких частот для направлений в базисной плоскости.

В заключение авторы выражают признательность К. М. Ахмедли за возможность воспользоваться составленной им программой подгонки по методу наименьших квадратов.

#### Литература

1. Янсон И. К., ФНТ, 9 № 7, 676, 1983.
2. Кулик И. О., Омелянчук А. Н., Шехтер Р. И. ФНТ, 3, № 12, 1543, 1977.
3. Gelder A. R. van. Solid. St. Comm., 25, №12, 1097, 1978.
4. Бровман Е. Г., Караи Ю. М. УФН, 112, № 3, 369, 1974.
5. Pynn R., Squires G. L. Proc. Roy. Soc. A, 326, №1566, 347, 1972.
6. Geldart J. W., Vosko A. H. Can. J. Phys., 44, №12, 2137, 1966.
7. Найдюк Ю. Г., Янсон И. К., Шкляревский О. И., ФНТ, 7 № 3, 322, 1981 г.

Институт физики АН Азерб. ССР.

Поступило 31.X.1983

Ә. М. Әлиев, А. П. Жернов, Н. М. Пашаев

#### МАГНЕЗИУМУН МИКРОКОНТАКТ ФУНКЦИЈАЛАРЫНЫҢ ҺЕСАБЛАҢМАСЫ

Кристал гурулушунун анизотроплугунун ролуну ајдынлашдырмаг мәгсәди илә псевдопотенциал нәзәријјәси әсасында магнезиумун микроконтакт функцијалары һесабыланмышдыр.

A. M. Aliev, A. P. Zhernov, Kh. M. Pashaev

#### CALCULATION OF THE POINT-CONTACT SPECTRA OF MAGNESIUM

In order to investigate a role of the crystal structure anisotropy in the pseudo-potential theory, point-contact functions for the magnesium are calculated.

УДК 538.221

ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Чл.-корр. Ю. М. СЕИДОВ, М. Б. ГУСЕЯНОВ, Н. Г. ГУСЕЯНОВ

#### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР АНИЗОТРОПНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА С УЧЕТОМ МУЛЬТИПЛЕТНОСТИ АТОМНЫХ СОСТОЯНИЙ

Известно, что при учете всех  $2S+1$  спиновых состояний атома (мультиплетность атомных состояний) в энергетическом спектре ферромагнетика появляются  $2S$  ветвей с изменением  $S_z$  на единицу, а также дополнительные ветви с изменением  $S_z$  на два [1—5]. С другой стороны, при  $S > 1$  наряду с билинейным обменом следует учесть одноионную анизотропию, биквадратный обмен и квадрупольное взаимодействие. До сих пор были рассмотрены только следующие случаи: а)  $S=1$  с учетом одноионной анизотропии и биквадратного обмена; б)  $S=3/2$  с учетом только одноионной анизотропии.

В настоящей работе рассматривается спектр спиновых возбуждений в ферромагнетиках со спином  $S=3/2$  и 2 с учетом мультиплетности атомных состояний при наличии биквадратного обмена, одноионной анизотропии и квадрупольного взаимодействия.

Гамильтониан выбирается в виде

$$H = -J \sum_{ij} S_i S_j - B \sum_{ij} (S_i S_j)^2 - V \sum_i (S_i^2)^2 - g \mu_B H \sum_i S_i^z - V_1 \sum_{ij} (S_i S_j)^2 \quad (1)$$

где  $J > 0$  и  $B > 0$  — параметры билинейного и биквадратного обмена соответственно,  $V > 0$  — параметр одноионной анизотропии,  $H = H_z$  — внешнее магнитное поле,  $g$  — фактор Ланде,  $\mu_B$  — магнетон Бора,  $S_i^z$  — оператор спина в узле  $i$ ,  $V_1 > 0$  — параметр квадрупольного взаимодействия,  $C_i = 3(S_i^2)^2 - S(S+1)$ .

Для расчета спектра спиновых возбуждений с учетом мультиплетности атомных состояний использован метод стандартных базисных операторов (СБО) в технике функций Грина [1]. Получены частоты спиновых возбуждений с изменением  $S_z$  на единицу ( $|\Delta S_z| = 1$ ) и на два ( $|\Delta S_z| = 2$ ).

#### 1. Случай $S = 3/2$

1).  $|\Delta S_z| = 1$ . В этом случае частоты спиновых возбуждений являются корнями следующего кубического уравнения ( $\frac{h}{2\pi} = 1$ )



$$\omega^3 - R_1 \omega^2 + R_2 \omega - R_3 = 0. \quad (2)$$

Здесь

$$R_1 = \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3. \quad (3)$$

$$R_2 = \Omega_1 (\Omega_2 + \Omega_3) + \Omega_2 \Omega_3 - \lambda (\mu_1 + \gamma_1) - \mu_2 \gamma_2, \quad (4)$$

$$R_3 = \Omega_1 \Omega_2 \Omega_3 - \lambda (\gamma_1 \mu_2 + \gamma_2 \mu_1) - \lambda (\gamma_1 \Omega_1 + \mu_1 \Omega_3) - \mu_2 \gamma_2 \Omega_2, \quad (5)$$

где

$$\Omega_1 = 2J(0)\sigma - 3J(\kappa)D_{12} + \frac{1}{2}B(0)(9D_1 - 13D_2 - 11D_3 + 15D_4) - \frac{9}{2}B(\kappa)D_{12} + 2V + V_1Z_1 + h,$$

$$\Omega_2 = 2J(0)\sigma - 4J(\kappa)D_{23} - \frac{1}{2}B(0)(3D_{14} + D_{23}) + 2B(\kappa)D_{23} + h,$$

$$\Omega_3 = 2J(0)\sigma - 3J(\kappa)D_{34} - \frac{1}{2}B(0)(15D_1 - 11D_2 - 13D_3 + 9D_4) + \frac{9}{2}B(\kappa)D_{34} - 2V + h - V_1Z_1$$

$$\mu_1 = \sqrt{3}[2J(\kappa) - B(\kappa)]D_{12}, \quad \gamma_1 = \sqrt{3}[2J(\kappa) - B(\kappa)]D_{34},$$

$$\mu_2 = \frac{3}{2}[J(\kappa) - 5B(\kappa)]D_{12}, \quad \gamma_3 = \frac{3}{2}[J(\kappa) - 5B(\kappa)]D_3,$$

$\lambda = \sqrt{3}[2J(\kappa) - B(\kappa)]D_{23}$ ,  $Z_1 = 36(D_{12} - D_{34})$ ,  $D_{\alpha\beta} = L_{\alpha} - D_{\beta}$ ,  $D_{\alpha}$  — величина вероятности занятости уровня  $\alpha$ ,  $\alpha = 1, 2, 3, 4$ ,  $J(0) = I(\kappa=0)$ ,  $B(0) = B(\kappa=0)$ ,  $\kappa$  — волновой вектор,  $h = g\mu_B H$ ,  $\sigma = \langle S_z \rangle$ .  
Используя явный вид функций Грина, спектральную теорему [7] и правила умножения для СБО [1], легко определить параметры  $L_{\alpha}$ :

$$D_1 = \frac{1}{\Delta_1} (1 + \psi_1)(1 + \psi_2)(1 + \psi_3), \quad (6)$$

$$D_2 = \frac{1}{\Delta_1} \psi_1(1 + \psi_2)(1 + \psi_3), \quad (7)$$

$$D_3 = \frac{1}{\Delta_1} \psi_1\psi_2(1 + \psi_3), \quad (8)$$

$$D_4 = \frac{1}{\Delta_1} \psi_1\psi_2\psi_3, \quad (9)$$

где

$$\Delta_1 = (1 + \psi_3)(1 + \psi_1 + \psi_2 + 2\psi_1\psi_2) + \psi_1\psi_2\psi_3,$$

$$\psi_1 = \sum_{\kappa} \sum_{m=1}^3 A_m f(\omega_m), \quad \psi_2 = \sum_{\kappa} \sum_{m=1}^3 B_m f(\omega_m), \quad \psi_3 = \sum_{\kappa} \sum_{m=1}^3 C_m f(\omega_m),$$

$$A_m = \frac{\omega_m^2 - (\Omega_2 + \Omega_3)\omega_m + \Omega_1\Omega_3 - \gamma_1\lambda}{\prod_{\substack{n \neq m \\ n=1,2,3}} (\omega_m - \omega_n)},$$

$$B_m = \frac{\omega_m^2 - (\Omega_1 + \Omega_3)\omega_m + \Omega_1\Omega_3 - \mu_2\gamma_2}{\prod_{\substack{n \neq m \\ n=1,2,3}} (\omega_m - \omega_n)},$$

$$C_m = \frac{\omega_m^2 - (\Omega_1 + \Omega_2)\omega_m + \Omega_1\Omega_2 - \mu_1\lambda}{\prod_{\substack{n \neq m \\ n=1,2,3}} (\omega_m - \omega_n)}$$

$f(\omega_m) = \left[ \exp\left(\frac{\omega_m}{\kappa_B T}\right) - 1 \right]^{-1}$  — Функция распределения Бозе—Эйнштейна,  $\kappa_B$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура.

В рассмотренном случае параметры дипольного ( $\sigma = \langle S_z \rangle$ ) и квадрупольного ( $Z = 3 \langle S_z^2 \rangle - S(S+1)$ ) упорядочения имеют вид

$$\sigma_{3/2} = 1/2(3D_{14} + D_{23}) = \frac{1}{2} \frac{3(1 + \psi_3)(1 + \psi_1 + \psi_2) + \psi_1(1 + \psi_3 - 3\psi_2)}{(1 + \psi_3)(1 + \psi_1 + \psi_2) + \psi_1\psi_2(2 + \psi_3)}, \quad (10)$$

$$Z_{3/2} = 3(D_{12} - D_{34}) = 3 \frac{(1 + \psi_3)(1 + \psi_1) - \psi_1\psi_2}{(1 + \psi_3)(1 + \psi_1 + \psi_2) + \psi_1\psi_2(2 + \psi_3)}. \quad (11)$$

2).  $|\Delta S_z| = 2$ . Спектр такого типа возбуждения имеет две ветви:

$$\omega_{4,5}(\kappa) = 1/2(\rho_1 + \rho_2) \pm [1/4(\rho_1 - \rho_2)^2 + \nu_1\nu_2]^{1/2}, \quad (12)$$

где

$$\rho_1 = 4I(0)\sigma + B(0)(3D_{12} - 4D_{23} - 9D_{34}) - 6B(\kappa)D_{12} + 2V + V_1Z_1 + 2h,$$

$$\rho_2 = 4I(0)\sigma - B(0)(9D_{12} + 4D_{23} - 3D_{34}) - 6B(\kappa)D_{21} - 2V - V_1Z_1 + 2h,$$

$$\nu_1 = 6B(\kappa)D_{13}, \quad \nu_2 = 6B(\kappa)D_{24}$$

Из (12) видно, что дисперсия (зависимость от  $\kappa$ ) ветвей  $\omega_4(\kappa)$  и  $\omega_5(\kappa)$  обусловлена наличием биквадратного обмена ( $B \neq 0$ ).

## II. Случай $S = 2$

1).  $|\Delta S_z| = 1$ . Спектр спиновых возбуждений содержит следующие четыре ветви:

$$\omega_{1,2}(\kappa) = \frac{1}{4}(\alpha_1 - \eta) \pm \left[ \frac{1}{16}(\alpha_1 - \eta)^2 - \left( y - \frac{\sigma_1 y - \alpha_3}{\eta} \right) \right]^{1/2}, \quad (13)$$

$$\omega_{3,4}(\kappa) = \frac{1}{4}(\alpha_1 + \eta) \pm \left[ \frac{1}{16}(\alpha_1 + \eta)^2 - \left( y + \frac{\sigma_1 y - \alpha_3}{\eta} \right) \right]^{1/2}, \quad (14)$$

$$\eta = (8y + \alpha_1^2 - 4\alpha_2)^{1/2},$$

где  $y$  — действительный корень кубического уравнения

$$8y^3 - 4\alpha_2 y^2 + 2(\alpha_1 \alpha_3 - 4\alpha_4)y + \alpha_4(4\alpha_2 - \alpha_1^2) - \alpha_3^2 = 0. \quad (15)$$

Здесь

$$\alpha_1 = \Omega_4 + \Omega_5 + \Omega_6 + \Omega_7,$$



$$\begin{aligned}
\alpha_2 &= \Omega_4 \Omega_5 + \Omega_6 \Omega_7 + (\Omega_4 + \Omega_5) (\Omega_6 + \Omega_7) - \beta_5 \lambda_3 - \gamma_5 \beta_6 - \gamma_4 \lambda_2 - \mu_3 \lambda_1 - \\
&\quad - \mu_4 \gamma_3 - \mu_5 \beta_4, \\
\alpha_3 &= (\Omega_4 + \Omega_5) \Omega_6 \Omega_7 + \Omega_4 \Omega_5 (\Omega_6 + \Omega_7) - \gamma_2 \gamma_5 \beta_6 - \lambda_3 \gamma_4 \beta_6 - \\
&\quad - \beta_5 \lambda_3 (\Omega_4 + \Omega_5) - \gamma_5 \beta_6 (\Omega_4 + \Omega_5) - \gamma_4 \lambda_2 (\Omega_4 + \Omega_5) - \mu_3 \lambda_1 (\Omega_6 + \Omega_7) - \\
&\quad - \mu_3 \beta_4 \lambda_3 - \mu_3 \gamma_3 \lambda_2 - \mu_4 \lambda_1 \gamma_4 - \mu_4 \beta_4 \gamma_5 - \mu_4 \gamma_3 (\Omega_5 + \Omega_7) - \mu_5 \beta_4 (\Omega_5 + \Omega_6) - \\
&\quad - \mu_5 \lambda_1 \beta_5 - \mu_5 \gamma_3 \beta_6, \\
\alpha_4 &= \Omega_4 \Omega_5 \Omega_6 \Omega_7 - \Omega_4 (\lambda_2 \gamma_5 \beta_5 + \lambda_3 \gamma_4 \beta_5) - \beta_5 \lambda_3 \Omega_4 \Omega_6 - \gamma_5 \beta_6 \Omega_4 \Omega_5 - \\
&\quad - \gamma_4 \lambda_2 \Omega_4 \Omega_7 - \mu_3 \lambda_1 \Omega_6 \Omega_7 - \mu_3 (\beta_4 \lambda_2 \gamma_5 + \beta_5 \lambda_3 \gamma_3) - \mu_3 \beta_4 \lambda_3 \Omega_6 + \mu_3 \lambda_1 \gamma_5 \beta_6 - \\
&\quad - \mu_3 \gamma_3 \lambda_2 \Omega_7 - \mu_4 \lambda_1 \gamma_4 \Omega_7 - \mu_4 \beta_4 \gamma_5 \Omega_3 + \mu_4 \gamma_3 \beta_5 \gamma_3 - \mu_4 \beta_4 \gamma_4 \lambda_3 - \mu_4 \lambda_1 \beta_5 \gamma_5 - \\
&\quad - \mu_4 \gamma_3 \Omega_5 \Omega_7 - \mu_5 \lambda_1 \gamma_4 \beta_6 - \mu_5 \gamma_3 \beta_5 \lambda_2 - \mu_5 \beta_5 \Omega_5 \Omega_6 + \mu_5 \beta_4 \gamma_4 \lambda_2 - \\
&\quad - \mu_5 \lambda_1 \beta_5 \Omega_6 - \mu_5 \gamma_3 \beta_6 \Omega_5, \\
\Omega_4 &= 2I(0)\sigma - 4I(\kappa) D_{12} + B(0) (16D_1 - 10D_2 - 18D_3 - 8D_4 + 20D_5) - \\
&\quad - 16B(\kappa) D_{12} + 3V + h - 6V_1 Z_1, \\
\Omega_5 &= 2I(0)\sigma - 6I(\kappa) D_{13} + B(0) (4D_1 - 4D_2 - 6D_3 - 2D_4 + 8D_5) + \\
&\quad + V + h - 2V_1 Z_1, \\
\Omega_6 &= 2I(0)\sigma - 6I(\kappa) D_{34} - B(0) (8D_1 - 2D_2 - 6D_3 - 4D_4 + 4D_5) = \\
&\quad - V + h + 2V_1 Z_1, \\
\Omega_7 &= 2I(0)\sigma - 4I(\kappa) D_{45} + B(0) (20D_1 - 8D_2 - 18D_3 - 10D_4 + 16D_5) + \\
&\quad + 16B(\kappa) D_{45} - 3V + h + 6V_1 Z_1, \\
Z_1 &= -18(D_1 + D_2) + 8(D_2 + D_4) + 18D_3, \\
\mu_3 &= 2\sqrt{6}[I(\kappa) + B(\kappa)] D_{12}, \quad \lambda_1 = 2\sqrt{6}[I(\kappa) + B(\kappa)] D_{23}, \\
\gamma_3 &= 2\sqrt{6}[I(\kappa) - 2B(\kappa)] D_{31}, \\
\mu_4 &= 2\sqrt{6}[I(\kappa) - 2B(\kappa)] D_{12}, \quad \lambda_2 = 6[I(\kappa) - B(\kappa)] D_{23}, \\
\gamma_4 &= 6[I(\kappa) - B(\kappa)] D_{31}, \\
\mu_5 &= 4[I(\kappa) - 5B(\kappa)] D_{12}, \quad \lambda_3 = 2\sqrt{6}[I(\kappa) - 2B(\kappa)] D_{23}, \\
\gamma_5 &= 2\sqrt{6}[I(\kappa) + B(\kappa)] D_{31}, \\
\beta_4 &= 4[I(\kappa) - 5B(\kappa)] D_{45}, \quad \beta_5 = 2\sqrt{6}[I(\kappa) - 2B(\kappa)] D_{45}, \\
\beta_6 &= 2\sqrt{6}[I(\kappa) + B(\kappa)] D_{45}.
\end{aligned}$$

Для величины  $D_\alpha$  найдены следующие выражения:

$$D_1 = \frac{1}{\Delta_2} (1 + \Phi_1) (1 + \Phi_2) (1 + \Phi_3) (1 + \Phi_4), \quad (16)$$

$$D_2 = \frac{1}{\Delta_2} \Phi_1 (1 + \Phi_2) (1 + \Phi_3) (1 + \Phi_4), \quad (17)$$

$$D_3 = \frac{1}{\Delta_2} \Phi_1 \Phi_2 (1 + \Phi_3) (1 + \Phi_4), \quad (18)$$

$$D_4 = \frac{1}{\Delta_2} \Phi_1 \Phi_3 \Phi_3 (1 + \Phi_4), \quad (19)$$

$$D_5 = \frac{1}{\Delta_2} \Phi_1 \Phi_2 \Phi_3 \Phi_4, \quad (20)$$

где

$$\begin{aligned}
\Delta_2 &= (1 + 2\Phi_1) (1 + \Phi_2) (1 + \Phi_3) (1 + 2\Phi_4) + \\
&\quad + \Phi_1 \Phi_2 [(1 + 2\Phi_3) (1 + 2\Phi_4) + \Phi_3 \Phi_4],
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Phi_1 &= \sum_{\kappa=1}^4 \sum_{i=1}^4 M_i f(\omega_i), \quad \Phi_2 = \sum_{\kappa=1}^4 \sum_{i=1}^4 N_i f(\omega_i), \\
\Phi_3 &= \sum_{\kappa=1}^4 \sum_{i=1}^4 P_i f(\omega_i), \quad \Phi_4 = \sum_{\kappa=1}^4 \sum_{i=1}^4 C_i f(\omega_i), \\
M_i &= \frac{\omega_i^3 - q_1 \omega_i^2 + q_2 \omega_i - q_3}{\prod_{j=1,2,3,4}^{j \neq i} (\omega_i - \omega_j)}, \quad N_i = \frac{\omega_i^3 - r_1 \omega_i^2 + r_2 \omega_i - r_3}{\prod_{j=1,2,3,4}^{j \neq i} (\omega_i - \omega_j)}, \\
P_i &= \frac{\omega_i^3 - t_1 \omega_i^2 + t_2 \omega_i - t_3}{\prod_{j=1,2,3,4}^{j \neq i} (\omega_i - \omega_j)}, \quad C_i = \frac{\omega_i^3 - l_1 \omega_i^2 + l_2 \omega_i - l_3}{\prod_{j=1,2,3,4}^{j \neq i} (\omega_i - \omega_j)}.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_1 &= \Omega_5 + \Omega_6 + \Omega_7, \\
q_2 &= \Omega_6 \Omega_7 + \Omega_5 \Omega_6 + \Omega_5 \Omega_7 - \lambda_3 \beta_5 - \beta_6 \gamma_5 - \lambda_2 \gamma_4, \\
q_3 &= -\Omega_5 \Omega_6 \Omega_7 + \lambda_2 \beta_5 \gamma_5 + \lambda_3 \beta_6 \gamma_4 + \lambda_3 \beta_5 \Omega_6 + \beta_6 \gamma_5 \Omega_5 + \lambda_2 \gamma_4 \Omega_7, \\
r_1 &= \Omega_4 + \Omega_6 + \Omega_7, \quad r_2 = \Omega_6 \Omega_7 + \Omega_4 \Omega_6 + \Omega_4 \Omega_7 - \beta_4 \mu_5 - \mu_4 \gamma_3 - \gamma_4 \beta_6, \\
t_1 &= \Omega_4 + \Omega_5 + \Omega_7, \quad t_2 = \Omega_5 \Omega_7 + \Omega_4 \Omega_5 + \Omega_4 \Omega_7 - \beta_4 \mu_5 - \lambda_1 \mu_3 - \beta_5 \lambda_3, \\
r_3 &= -\Omega_4 \Omega_6 \Omega_7 + \mu_4 \gamma_5 \beta_4 + \mu_5 \gamma_3 \beta_6 + \beta_4 \mu_5 \Omega_6 + \mu_4 \gamma_3 \Omega_7 + \gamma_5 \beta_6 \Omega_4, \\
t_3 &= -\Omega_4 \Omega_5 \Omega_7 + \mu_3 \beta_4 \lambda_3 + \lambda_1 \beta_5 \mu_5 + \beta_4 \mu_5 \Omega_5 + \lambda_1 \mu_3 \Omega_7 + \beta_5 \lambda_3 \Omega_4, \\
l_1 &= \Omega_4 + \Omega_5 + \Omega_6, \quad l_2 = \Omega_5 \Omega_6 + \Omega_4 \Omega_5 + \Omega_4 \Omega_6 - \gamma_3 \mu_4 - \lambda_1 \mu_3 - \gamma_4 \lambda_2, \\
l_3 &= -\Omega_4 \Omega_5 \Omega_6 + \mu_3 \gamma_3 \lambda_2 + \lambda_1 \gamma_4 \mu_4 + \gamma_3 \gamma_4 \Omega_5 + \lambda_1 \mu_3 \Omega_6 + \gamma_4 \lambda_2 \Omega_4.
\end{aligned}$$

Параметры дипольного ( $\sigma_2$ ) и квадрупольного ( $Z_2$ ) упорядочения при  $S=2$  имеют следующий вид

$$\begin{aligned}
\sigma_2 &= \frac{(1 + \Phi_2) (1 + \Phi_3) (1 + \Phi_4) (2 + 3\Phi_1) - \Phi_1 \Phi_2 \Phi_3 (1 + 3\Phi_4)}{(1 + 2\Phi_1) (1 + \Phi_2) (1 + \Phi_3) (1 + 2\Phi_4) +} \\
&\quad + \Phi_1 \Phi_2 [(1 + 2\Phi_3) (1 + 2\Phi_4) + \Phi_3 \Phi_4], \quad (21)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_2 &= \frac{3[(1 + \Phi_3) (1 + \Phi_4) (2 + \Phi_1 + 2\Phi_2 - \Phi_1 \Phi_2) - \Phi_1 \Phi_2 \Phi_3 (1 - \Phi_4)]}{(1 + 2\Phi_1) (1 + \Phi_2) (1 + \Phi_3) (1 + 2\Phi_4) +} \\
&\quad + \Phi_1 \Phi_2 [(1 + 2\Phi_3) (1 + 2\Phi_4) + \Phi_3 \Phi_4], \quad (22)
\end{aligned}$$

2).  $|\Delta S_z| = 2$ . В этом случае частоты возбуждения являются корнями следующего кубического уравнения

$$\omega^3 - K_4 \omega^2 + R_6 \omega - R_6 = 0, \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned}
R_4 &= \Omega_8 + \Omega_9 + \Omega_{10}, \\
R_6 &= [\Omega_9 + 18B(\kappa) D_{24}] [\Omega_{10} + 12B(\kappa) D_{35}] + \Omega_9 [\Omega_9 + \Omega_{10} + 18B(\kappa) D_{24} + \\
&\quad + 12B(\kappa) D_{35}] - 12[\Omega_3 + \Omega_9 + 12B(\kappa) D_{35} + 18B(\kappa) D_{24}] B(\kappa) D_{35} - \\
&\quad - 18B(\kappa) D_{24} [\Omega_9 + 12B(\kappa) D_{35}] + B(\kappa) D_{24} [\Omega_9 + 12B(\kappa) D_{35}], \\
R_6 &= \Omega_8 \Omega_9 \Omega_{10} - 12B(\kappa) D_{35} [\Omega_8 - 12B(\kappa) D_{13}] [\Omega_9 + 18B(\kappa) D_{24}] + \\
&\quad + 18B(\kappa) D_{24} [\Omega_{10} + 12B(\kappa) D_{35}] [\Omega_8 + 12B(\kappa) D_{13}], \\
\Omega_8 &= 4I(0)\sigma - 12B(\kappa) D_{13} + B(0) (20D_1 - 14D_2 - 24D_3 - 10D_4 + \\
&\quad + 28D_5) + 4V + 2h - 8V_1 Z_1,
\end{aligned}$$



$$\Omega_9 = 4I(0)\sigma - 18B(\kappa)D_{24} - B(0)(4D_{15} + 2D_{24}) + 2h,$$

$$\Omega_{10} = 4I(0)\sigma - 12B(\kappa)L_{33} - B(0)(28D_1 - 10D_2 - 24D_3 - 14D_4 +$$

$$+ 20D_5) - 4V + 2h + 8V_1Z_1'.$$

Как и в случае  $S = 3/2$ , дисперсия частот (23) обусловлена наличием биквадратного обмена ( $B \neq 0$ ).

Таким образом, при учете мультиплетности атомных состояний в спектре ферромагнетика со спином  $S \geq 1$  появляются дополнительные ветви, кроме тех, которые предсказываются обычной теорией спиновых волн [6]. Кроме того, появляются новые типы возбуждений с  $|\Delta S_z| = 2$ .

#### Литература

1. Haley S. B., Erdős P. Phys. Rev., v. B, 5, № 3, 1972, p. 1106.
2. Носкова Л. М. ФММ, т. 33, № 4, 1972, с. 693.
3. Китаев В. Н., Кашенко М. П., Курбатов Л. Р. ФТТ, т. 15, № 8, 1973, 2292.
4. Гайдидей Ю. Б., Локтев В. М. ФНТ, т. 3, № 4, 1977, с. 507.
5. Micnas R. J. Phys. C: Solid State Phys., v. 9, № 17, 1976, p. 3307.
6. Schrödinger E. Proc. Roy. Irish Acad., v. 47, № 1, 1941, p. 39.
7. Тябликов С. В. Методы квантовой теории магнетизма. М.: Наука 1975.

Институт физики АН Азерб. ССР

Поступило 10. I, 1984

Я. М. Сеидов, М. Б. Гусейнов, Н. Г. Гусейнов

#### АТОМ НАЛЛАРЫНЫН МУЛТИПЛЕТИЛИНИННЭЗЭРЭ АЛМАГЛА БИКВАДРАТ МҮБАДИЛЭЛИ АНИЗОТРОП ФЕРРОМАГНИТИН ЕНЕРЖИ СПЕКТРИ

Мәгаләдә биквадрат мұбадиләли анизотроп ферромагнитин енержи спектриндән бәһс олуур. Мүәјјән едилмишдир ки, атом налларинын мултиплетлијини нәзәрә алдыгда спектрдә эләвә будаглар јараныр.

Мәгаләдә һәмчинин дипол вә квадрупол низамлылыг параметрләри үчүн ифадәләр дә алынмышдыр.

Yu. M. Seidov, M. B. Guseinov, N. G. Guseinov

#### THE ENERGY SPECTRUM OF ANISOTROPIC FERROMAGNETIC WITH MULTIPLE ATOMIC STATES TAKING INTO ACCOUNT

The energy spectrum of anisotropic ferromagnetic with bequadrate exchange and quadruple interaction is considered. It is shown, that the additional branches appeared in spectrum when the multiple character of atomic states is taken into account.

АЗЕРБАЙҶАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘРҮЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XL ЧИЛД

№ 7

1984

УДК 524.8

АСТРОФИЗИКА

З. Ф. СЕИДОВ

#### ДВИЖЕНИЕ СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ ВО ФРИДМАНОВСКОМ МИРЕ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Г. Ф. Султановым)

1. Современные экспериментальные данные [1] указывают на возможное наличие ненулевой массы покоя нейтрино  $m_\nu \approx 30$  эВ. Если это так, то нейтрино играют решающую роль в строении и развитии Вселенной [2]. В однородной и изотропной горячей Вселенной возмущения растут сначала в нейтринной компоненте, а затем только в обычном веществе. Структура Вселенной определяется нейтрино [2—4]. Очень интересным в связи с этим является вопрос о нейтринном горизонте — размере области, из которой может дойти до наблюдателя нейтрино с наблюдаемыми значениями импульса и массы покоя.

В [5] этот вопрос был рассмотрен в случае плоской Вселенной, когда средняя плотность Вселенной равна критической. В данном сообщении мы рассмотрим главным образом задачу определения максимального расстояния  $R = r_{\max}$ , проходимого частицей за все время жизни Вселенной. Очевидно,  $R$  совпадает с горизонтом в бесконечно далекий от начала момент наблюдения  $t \rightarrow \infty$ . Оказывается, что значение  $r_{\max}$  всегда ограничено для частицы с отличной от нуля массой покоя  $m$ , тогда как оно бесконечно при  $m = 0$  (фотон) в открытой и плоской Вселенной.

2. Лагранжев путь  $r$  свободной частицы за время между  $t_1$  и  $t_2$  в однородной и изотропной Вселенной (модель Фридмановского мира) определяется формулами (подробнее см. [5,6]):

$$r = \int_{t_1}^{t_2} \frac{v(t) dt}{a(t)}, \quad (1)$$

$$v(t) = c \left[ 1 + \frac{a^2(t)}{a_0^2(\gamma_0^2 - 1)} \right]^{-1/2}, \quad \gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}, \quad (2)$$

где  $a(t)$  — «радиус» мира,  $\gamma$  — собственная скорость частицы,  $\gamma$  — релятивистский параметр,  $a_0$  и  $\gamma_0$  — значения в некий момент  $t_0$ . Наибольший пройденный путь (при фиксированных  $a_0$  и  $\gamma_0$ )  $R = r_{\max}$ , соответствует  $t_1 \rightarrow 0$ ,  $t_2 \rightarrow \infty$ :

$$R = \int_0^\infty \frac{v(t) c dt}{a(t)}. \quad (3)$$

Дальнейшее рассмотрение проведем для трех случаев: открытой, плоской и закрытой Вселенной.



3. Открытая Вселенная. В этой модели зависимость  $a(t)$  задается в следующем параметрическом виде [7]:

$$a = \frac{a_m}{2} (\operatorname{ch} \eta - 1), \quad t = \frac{a_m}{2c} (\operatorname{sh} \eta - \eta), \quad 0 \leq \eta \leq \infty. \quad (4)$$

$a_m$  — постоянная величина. Из (2–4) имеем:

$$R(A) = \int_0^\infty [1 + (\operatorname{ch} \eta - 1)^2 / A^2]^{-1/2} d\eta, \quad (5)$$

где мы ввели обозначение:

$$A = (\operatorname{ch} \eta_0 - 1)(\gamma_0^2 - 1)^{1/2}. \quad (6)$$

Величина  $A$  является интегралом движения свободной частицы в расширяющейся Вселенной и характеризует степень релятивизации частицы. При  $A \rightarrow 0$  имеем нерелятивистский случай, при  $A \rightarrow \infty$  — ультрарелятивистский.

Зависимость  $R(A)$  в этих двух предельных случаях следующая:

$$\begin{aligned} R(A) &= (2A)^{1/2} K(1/2), \quad A \ll 1, \\ R(A) &= \ln(4A), \quad A \gg 1, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $K(\kappa^2)$  — полный эллиптический интеграл 1-го рода [8],  $K(1/2) = 1,854075$ . В общем виде зависимость  $R(A)$ , согласно формуле (5), показана на рисунке (кр.  $R_{\text{откр.}}$ ).

4. Плоская Вселенная. В этом случае:

$$a = \frac{a_m}{4} \eta^2, \quad t = \frac{a_m}{12c} \eta^3, \quad 0 \leq \eta \leq \infty, \quad (8)$$

и вводя  $x = t^{1/3} t_0^{-1/3} (\gamma_0^2 - 1)^{-1/4}$ , получим из (2, 3, 8):

$$R(A) = \eta_0 (\gamma_0^2 - 1)^{1/4} \int_0^\infty (1 + x^4)^{-1/2} dx = (2A)^{1/2} K(1/2) \quad (9)$$

$$A = \frac{\eta_0^2}{2} (\gamma_0^2 - 1)^{1/2} \quad (10)$$

Зависимость  $R(A)$ , согласно (9), показана на рисунке (кр.  $R_{\text{плоск.}}$ ).

5. Закрытая Вселенная. Имеем:

$$a = a_m (1 - \cos \eta), \quad t = \frac{a_m}{c} (\eta - \sin \eta), \quad 0 \leq \eta \leq 2\pi. \quad (11)$$

Из (2, 3, 11), после небольших преобразований, получим:

$$R(A) = 4 \int_0^{\pi/2} \left( 1 + 4 \frac{\sin^4 x}{A^2} \right)^{-1/2} dx, \quad (12)$$

$$A = 2(\gamma_0^2 - 1)^{1/2} \sin^3 \frac{\eta_0}{2}. \quad (13)$$

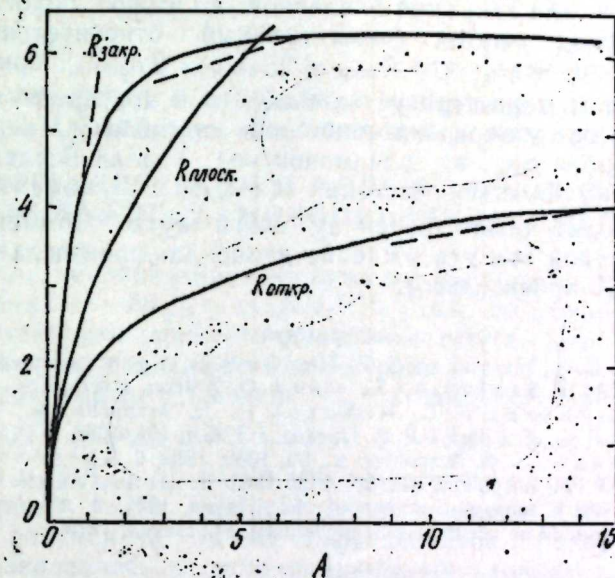
Функция  $R(A)$  в двух предельных случаях имеет вид:

$$R(A) = 2K(1/2) \sqrt{2A}, \quad A \ll 1 \quad (14)$$

$$R(A) = 2\pi \left( 1 - \frac{1}{A^2} \right), \quad A \gg 1 \quad (15)$$

В общем виде зависимость  $R(A)$ , согласно (12), показана на рисунке (кр.  $R_{\text{закр.}}$ ).

6. Обсуждение. Таким образом, расстояние  $R$ , проходимое свободной частицей во фридмановском мире за все время существования Вселенной, является функцией параметра  $A$ , имеющего различный вид в от-



крытой, плоской и закрытой Вселенной и характеризующего степень релятивизации частицы. Расстояние  $R$  конечно при конечном  $A$  и бесконечно при бесконечно большом значении  $A$  (что соответствует бесконечно малому значению массы покоя частицы, фотону) в открытой и плоской Вселенной. В закрытой Вселенной путь частицы всегда конечен. Подчеркнем, что речь идет о лагранжевом пути, эйлеров же путь частицы за все время жизни Вселенной всегда бесконечен, кроме случая закрытой Вселенной.

Интересно отметить следующее обстоятельство. При  $A \ll 1$  во всех трех моделях  $R(A) \sim A^{1/2} (\gamma_0^2 - 1)^{1/4}$  (последнее, если зафиксировать момент  $t_0$ ). Это объясняется тем, что длина пути нерелятивистской частицы в расширяющейся Вселенной определяется начальным отрезком времени (тем меньшим, чем меньше  $\gamma_0$ ), а в начальный период закон расширения Вселенной (а следовательно и закон уменьшения скорости частицы) одинаков для всех трех моделей. Действительно, пусть в момент времени  $t_0 \ll 1$ , имеем  $A \ll 1$ , тогда во всех трех случаях:

$$A = \frac{\eta_0^2}{2} (\gamma_0^2 - 1)^{1/2} \ll 1, \quad (16)$$

$$\text{и имеем } R_{\text{откр.}} = R_{\text{плоск.}} = \frac{1}{2} R_{\text{закр.}}$$

При малых  $t$  формулы (4) и (11) совпадают с (8) и можно написать

$$R(x) = (2A)^{1/2} \int_0^x (1 + x^4)^{-1/2} dx = (2A)^{1/2} \frac{1}{2} F \left( \arccos \frac{1-x^2}{1+x^2}, \frac{1}{2} \right), \quad (17)$$



где  $F[\varphi, k^2]$  — неполный эллиптический интеграл 1-го рода [8]. При  $x = 1$ ,  $F(\pi, 2, 1/2) = K(1/2)$ , поэтому путь, проходимый частицей от момента  $t = 0$  до момента  $t = t_1 = t_0 (\gamma_0^2 - 1)^{3/4}$ , равен пути, проходимому в промежутке времени от  $t = t_1$  до  $t = \infty$ . При  $t_0 \rightarrow 0$  большую часть пути частица проходит в начальный период эволюции Вселенной. Так как для закрытой Вселенной во второй половине эволюции есть период сжатия (симметричный относительно периода расширения), то ясно, что  $R_{\text{загр.}} = 2 \cdot \text{откр.} = 2R_{\text{плоск.}}$  при  $t_0 \ll 1$  и  $A \ll 1$ . Момент  $t_1$  характеризуется тем, что в это время  $\gamma_1^2 - 1 = 1$ , т. е. частица из ультрарелятивистской становится нерелятивистской. Таким образом, во фридмановской модели Вселенной предельно нерелятивистская частица ( $A \ll 1$ ) к моменту, когда  $\gamma_1 = \sqrt{2}$ , проходит ровно половину всего пути. Применительно к плоской Вселенной это утверждение верно для произвольной свободной частицы ( $A$  произвольно).

#### Литература

1. Любимов В. А., Новиков Е. Г., Нозик В. З., Третьяков Е. Ф. Ядерная физика, 32, 301, 1980.
2. Szalay A. S., Marx G. Astron. Astrophys., 49, 437, 1976.
3. Бисноватый-Коган Г. С., Новиков И. Д. Астроном. ж., 57, 899, 1980.
4. Зельдович Я. Б., Сюняев Р. А. Письма в АЖ 6, 451, 1980.
5. Бисноватый-Коган Г. С., Сеидов З. Ф. Астроном. ж., 59, 1000, 1982.
6. Бисноватый-Коган Г. С., Сеидов З. Ф. Астроном. ж., 59, 213, 1982.
7. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция вселенной. М.: Наука, 1975.
8. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука, 1979.

Шемахинская астрофизическая обсерватория  
АН Азерб. ССР

Поступило  
3. VI. 1982

З. Ф. Сеидов

#### ФРИДМАН КАИННАТЫНДА СЭРБЭСТ НИССЭЧИЛИН НЭРЭКЭТИ

Мәгаләдә кайнаттын мұхтәриф бирчинлиги вә изотроп, јәни ачыг, мұстәви вә гапалы моделләриндә сүкунәт күтләсинә малик олан сәрбәст ниссәчилијин кетдијин мәсәфә һесабыланмышдыр.

Үмуми һал үчүн дустурлар чыхарылмыш, гејри-нисби вә ултранисби ниссәчиләр үчүн исә ајрыча асимптотикләр тапылмышдыр.

Z. F. Seidov

#### THE MOTION OF FREE PARTICLE IN THE FRIEDMANN UNIVERSE

The path length for non-zero rest-mass free particle, moving in the open, flat and closed uniform and isotropic models of the universe are calculated. We derive the general formulae as well as the relevant asymptotes for non- and ultrarelativistic particles.

УДК 548.787;547.821

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

А. З. АМАНОВ, Д. А. ИАШВИЛИ, А. Н. ШНУЛИН, Н. И. ГУСЕВА,  
А. А. АХУНДОВА, чл.-корр. АН СССР М. А. ПОРАЯ-КОШИЦ

#### О КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЕ ДИ-ИОДА-БИС-(2-АМИНОПИРИДИНА)-ЦИНКА(II)

Объектом исследования послужили монокристаллы ди-йод-бис-(2-аминопиридина)—Zn(II)—(C<sub>5</sub>NH<sub>4</sub>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>ZnI<sub>2</sub>, полученные Г. В. Цинцадзе в Грузинском политехническом институте. Параметры элементарной ячейки, определенные фотометодом и уточненные на автоматическом дифрактометре „Синтекс Р2<sub>1</sub>“ (MoKα-излучение, графитовый монохроматор), равны:  $a = 10,251 \text{ Å}$ ,  $b = 15,463 \text{ Å}$ ,  $c = 9,604 \text{ Å}$ ,  $\beta = 96,13^\circ$ ,  $V = 1513,2 \text{ Å}^3$ ,  $z = 4$ . пространственная группа C<sub>2h</sub><sup>5</sup> = Pz<sub>1</sub>/n.

Трехмерный набор интенсивностей порядка 1483 независимых отражений получен на том же дифрактометре. Федоровская группа Pz<sub>1</sub>/n устанавливалась по закономерным погасаниям с привлечением анализа функции Патерсона. Наличие в составе исследуемого объекта тяжелого атома I обусловило выбор метода тяжелого атома для определения структуры.

Структура расшифрована методом тяжелого атома. Положения тяжелых атомов — двух атомов йода и одного атома цинка — найдены путем анализа трехмерной карты Паттерсона. Карта электронной плотности, построенная с помощью F-амплитуд с фазами, определяемыми найденными координатами указанных трех атомов ( $R_F = 0,35$ ;  $V_{\text{общ}} = 0$ ), позволила выявить все неводородные атомы молекулы исследованного соединения ( $R_F = 0,27$ ).

Изотропное уточнение методом наименьших квадратов в блокодигональном приближении дало  $R_F = 0,135$ . Два цикла анизотропного уточнения атомов дали  $R_F = 0,078$  (табл. 1).

Таблица 1

Координаты атомов ( $\times 10^{-4}$ ) Å°

| Атом  | x        | y        | z        | Атом   | x         | y        | z        |
|-------|----------|----------|----------|--------|-----------|----------|----------|
| Zn    | 2495(2)  | 3214(1)  | 2472(2)  | C (3)  | 3040(20)  | 3048(13) | 7474(22) |
| I (1) | 2870(1)  | 1708(1)  | 1336(1)  | C (4)  | 2133(19)  | 2541(15) | 6735(19) |
| I (2) | 4085(1)  | 4352(1)  | 1615(1)  | C (5)  | 1999(18)  | 2550(13) | 5280(18) |
| N (1) | 2712(14) | 3129(9)  | 4564(14) | C (6)  | 127(24)   | 4099(14) | 3079(24) |
| N (2) | 1106(16) | 2039(11) | 4498(17) | C (7)  | -1024(23) | 4607(16) | 2896(24) |
| N (3) | 620(14)  | 3675(10) | 1996(13) | C (8)  | -1630(21) | 4669(13) | 1556(23) |
| N (4) | 498(17)  | 3321(11) | -365(17) | C (9)  | -1156(18) | 4265(12) | 452(21)  |
| C (1) | 3586(18) | 3634(13) | 5325(20) | C (10) | -8(17)    | 3767(12) | 711(17)  |
| C (2) | 3814(20) | 3607(14) | 6778(19) |        |           |          |          |



Структура комплекса состоит из дискретных молекул состава  $[\text{ZnI}_2(\text{H}_2\text{NC}_5\text{H}_4\text{N})_2]$ . На рисунке показана геометрия молекулы (станд. откл. для расстояний между легкими атомами не превышает 0,04 Å).

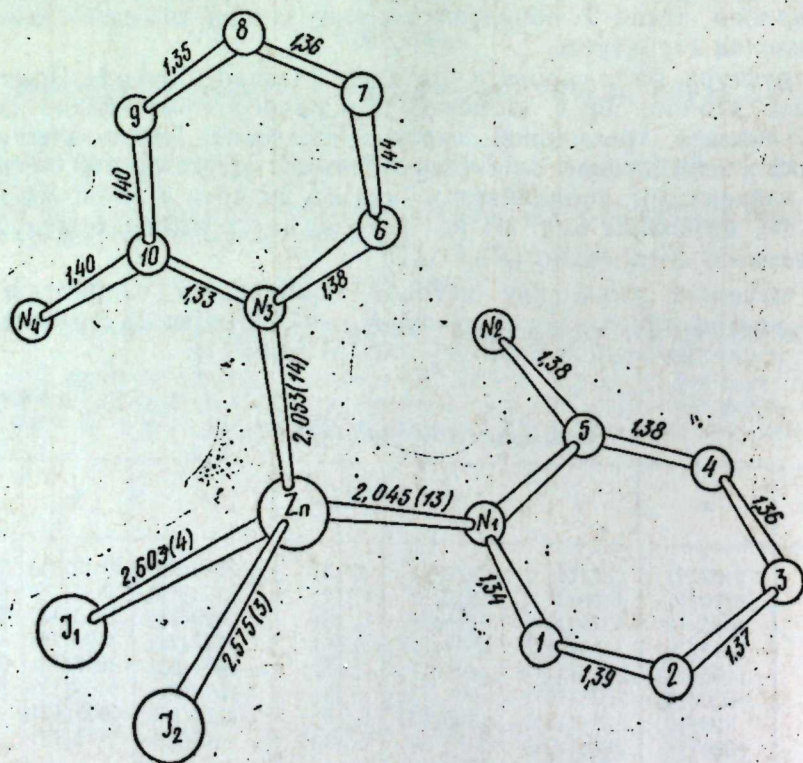
Валентные углы в координационном полиэдре атома Zn приведены в табл. 2.

Таблица 2

Валентные углы в координационном полиэдре атома Zn и  $\omega$  в град.

| Угол           | $\omega$ |
|----------------|----------|
| J (1) Zn J (2) | 111,2(2) |
| J (1) Zn N (1) | 110,0(4) |
| J (1) Zn N (3) | 113,8(4) |
| J (2) Zn N (1) | 110,2(4) |
| J (2) Zn N (3) | 108,2(4) |
| N (1) Zn N (3) | 105,1(5) |

Атом цинка находится в центре искаженного тетраэдра, образованного двумя атомами йода ( $\text{Zn}-\text{J}(1)$  2,003(4) Å,  $\text{Zn}-\text{J}(2)$  2,575(3) Å) и двумя атомами азота двух молекул 2-аминопиридина, которые связаны с атомом металла атомами азота пиридинового кольца:  $\text{Zn}-\text{N}(1)$  2,045(13) Å и  $\text{Zn}-\text{N}(3)$  2,053(14) Å (табл. 2).



Валентные углы при центральном атоме лежат в пределах 105,1 (5)–113,8(4)°. Средние значения длин связей  $\text{Zn}-\text{J}$  2,589 Å близки к найденным в других комплексах цинка [1–7], а средние значения длин связей  $\text{Zn}-\text{N}$  2,049 Å практически совпадают со средними расстояниями  $\text{Zn}-\text{N}$ , установленными для тетраэдрических комплексов 2,049 Å в  $\text{ZnCl}_2(\text{C}_6\text{H}_5\text{N})_2$  [1]; 2,044 Å в  $\text{ZnCl}_2(4-\text{CH}_3-\text{C}_5\text{H}_4\text{N})_2$  [2]; 2,047 Å в  $\text{ZnCl}_2(4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}_5\text{H}_4\text{N})_2$ ; 2,064 Å в  $\text{ZnCl}_2(4-\text{CH}=\text{C}_5\text{H}_4\text{N})_2$  [3] и 2,056 Å в  $\text{Zn}(\text{n}-\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{COO})_2 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}$  [4], но меньше расстояний  $\text{Zn}-\text{N}$ , найденных для октаэдрических пиридиновых аддуктов цинка 2,165 Å в [5], 2,156 Å в [6] и 2,147 Å в [7].

Все межмолекулярные контакты близки или больше сумм соответствующих ван-дер-ваальсовских радиусов.

#### Литература

1. Steffen W. L., Palenic G. J. Acta Crystallogr., v. 11, № 1, p. 41, 1958
2. Lynton H., Sears M. C. Canad. J. Chem., v. 49, № 21, p. 3418, 1971.
3. Steffen W. L., Palenic G. J. Inorg. chem., v. 16, № 5, p. 1119, 1977.
4. Амирасланов У. Р., Наджафов Г. Н., Усубалиев Б. Т., Мусаев А. А., Мовсумов Э. М., Мамедов Х. С. Журн. структ. химии, т. 21, № 3, с. 140, 1980.
5. Cameron A. F., Taylor D. W., Nuttal R. H. Daltor Trans., № 15, p. 1603, 1972.
6. Pretorius J. A., Boeyens J. C. A. J. Inorg. Nucl. Chem., v. 40, № 10, p. 1745, 1978.
7. Pretorius J. A., Boeyens J. C. A. J. Inorg. Nucl. Chem., v. 40, № 3, p. 407, 1978.

АГУ им. С. М. Кирова

Поступило 28. XII, 1983

Б. З. Эмэнов, Д. А. Нашвили, А. Н. Шнулин, Н. И. Гусева,  
А. А. Ахундова, М. А. Пора-Кохитс

#### ДИ-ИОД-БИС-(2-АМИНОПИРИДИН)-ЦИНК БИРЛЭШМЭСИН КРИСТАЛЛИК ВӘ МОЛЕКУЛАР ГУРУЛУШУ ЊАГЫНДА

Магаләдә Күрчүстан Политехник Институтунун профессору К. В. Синсадзе тәрәфиндән алынмыш ди-Иод-бис-(2-аминопиридин)- $\text{Zn}(\text{II})=(\text{C}_5\text{H}_4\text{NH}_2)_2\text{ZnI}_2$  бирлэшмәсинин рентгенгурулуш тәдгигиндән бәһс олуур.

Кристаллар моноклиндик, элементар гәфәсин параметрләри  $a=10,251$  Å,  $b=15,463$  Å,  $c=9,604$  Å,  $\beta=96,13^\circ$ ,  $V=1513,2$  Å<sup>3</sup>,  $Z=4$ , фәза групу  $P2_1/n$ -дир.

Ики пиридин молекулунун ики азот вә ики йод атому метал атому әтрафында тетраэдрик вәзијәт јарадыр.

Координасја полиедри азча мејлли тетраэдрдир.

A. Z. Amanov, D. A. Iashvili, A. N. Shnulin, N. I. Guseva,  
A. A. Akhundova, M. A. Poral-Koshits

#### ON CRYSTALLINE AND MOLECULAR STRUCTURE OF DI-IODINE- -BIS-(2-AMINOPYRIDINE)-ZINC (II)

The roentgenostructural investigation of the compound of di-iodine-bis-(2-aminopyridine)- $\text{Zn}(\text{II})-(\text{C}_5\text{H}_4\text{NH}_2)_2\text{ZnI}_2$ , obtained by professor G. V. Tsintsadze in the Georgian Polytechnical Institute, was conducted.

The crystals are monoclinic, parameters of elementary cell are the following:  $a=10,251$ ,  $b=15,463$ ,  $c=9,604$  Å,  $\beta=96,13^\circ$ ,  $V=1513,2$  Å<sup>3</sup>,  $z=4$ , space group  $P2_1/n$ .

Two nitrogen atoms of the two substituted molecules of pyridine and two iodine atoms coordinate the metallic atom along tetrahedral positions. Coordinated polyhedron is a slightly distorted tetrahedron.



УДК 66.094.37(547.592)

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. А. ДАШДАМИРОВА, Ф. М. МАМЕДОВ, Х. И. САДЫХОВА, Ш. Г. КАСУМОВ,  
акад. Т. Н. ШАХТАХТИНСКИЙ

# КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ ИЗОМЕРОВ МЕТИЛЦИКЛОГЕКСЕНА КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА

Продукты жидкофазного окисления циклоолефинов являются ценными мономерами для органического синтеза малой химии.

В литературе [1] описаны методы инициированного жидкофазного окисления циклоолефинов молекулярным кислородом. Однако каталитическое жидкофазное окисление циклоолефинов почти не исследовано.

В литературе известно лишь несколько работ, посвященных каталитическому окислению циклоолефинов, в которых заместители находятся в  $\alpha$ -положении к двойной связи.

В работе [2] исследовано каталитическое окисление 1-метилциклопентена в жидкой фазе в присутствии солей марганца и кобальта. Авторами установлено, что основным продуктом реакции является гидроперекись 1-метилциклопентена.

Исследовано [3] каталитическое жидкофазное окисление  $\alpha$ -алкилзамещенных циклопентена и циклогексена кислородом воздуха в присутствии бензоилциклопентадиенилтрикарбонил марганца. Авторами выявлено, что основными продуктами реакции являются соответствующие непредельные  $\alpha$ -алкилзамещенные кетоны с примесью гидроперекиси и непредельных спиртов.

Однако следует отметить, что реакция каталитического окисления  $\beta$ - и  $\gamma$ -алкилзамещенных циклоолефинов (алкильные радикалы находятся в  $\beta$ - и  $\gamma$ -положении по отношению к двойной связи) молекулярным кислородом воздуха не исследована.

Данная статья посвящена изучению реакции жидкофазного окисления 3- и 4-метилциклогексена в присутствии органических комплексов железа как катализатора.

Исследовано влияние различных параметров (температура, продолжительность реакции, количество катализатора, расход кислорода воздуха) на степень превращения исходных циклоолефинов и состав получаемых продуктов.

Окисление 4-метилциклогексена проводилось при 40—100° и продолжительности реакции — 1—6 ч. Количество катализатора ферроцена составляло 0,025—0,2 г на 1 моль олефина, расход кислорода воздуха — 0,1—0,4 л/мин.

Как и следовало ожидать, увеличение температуры и продолжительности реакции приводит к увеличению выхода продуктов ее окисления. Наряду с основным продуктом окисления — 4-метилциклогексена гидроперекисью, получают также окиси, непредельные спирты и кетоны,

суммарное количество которых составляло 50—55 вес. % на превращенный циклоолефин при продолжительности опыта 5 ч.

Установлено, что при увеличении температуры выше 90°C, времени реакции более 5 ч и количестве катализатора выше 0,05 г/моль, происходит образование высококипящих кислородсодержащих соединений. Количество окисляющего газа — кислорода воздуха почти не влияет на степень превращения циклоолефина и качественный состав продуктов, полученных в результате реакции. Результаты опытов сведены в таблицу.

Таким образом, выявлены оптимальные условия окисления 4-метилциклогексена в жидкой фазе при атмосферном давлении в присутствии катализатора — комплекса железа.

Результаты каталитического окисления 4-метилциклогексена в жидкой фазе кислородом воздуха (кол-во катализатора—0,05 г на моль олефина, продолжительность—5 ч)

| Т-ра<br>реакции<br>окисления,<br>°C | Состав оксидата 4-метилциклогексена, вес % |                    |       |                       |                       |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|-------|-----------------------|-----------------------|
|                                     | непрореагировавший<br>цикло-<br>олефин     | гидропере-<br>кись | окись | непредельный<br>спирт | непредельный<br>кетон |
| 40                                  | 92,6                                       | 6,1                | 0,7   | 0,24                  | 0,36                  |
| 60                                  | 88,2                                       | 9,11               | 0,73  | 0,86                  | 1,1                   |
| 80                                  | 51,2                                       | 28,3               | 4,0   | 7,3                   | 9,2                   |
| 90                                  | 20,4                                       | 42,87              | 9,74  | 11,61                 | 15,38                 |
| 100                                 | 20,0                                       | 43,6               | 8,5   | 10,3                  | 17,6                  |

Нами также исследовано жидкофазное каталитическое окисление 3-метилциклогексена при условиях, оптимальных для окисления 4-метилциклогексена.

Продуктами окисления 3-метилциклогексена являются соответствующие гидроперекиси, окиси, непредельные спирты и кетоны.

Исходные 3- и 4-метилциклогексены получались по известной методике и выделялись путем ректификации из продуктов конденсации диеновых углеводородов  $C_4$ — $C_5$  с олефинами  $C_2$ — $C_3$ . 3- и 4-метилциклогексены были хроматографически чистыми.

С целью очистки от продуктов автоокисления, исходный олефин перед началом опыта предварительно перегонялся.

Окисление проводилось в реакторе, изготовленном из стекла марки «пирекс».

Наличие продуктов окисления и их количество определено ГЖХ методом анализа, специально разработанным нами для проводимой работы. Анализ оксидата проводили на аппарате «Цвет-100» с использованием детектора ионизации. Стеклоанальная колонка длиной 0,5 м и диаметром 6,0 мм была заполнена хроматоном зернением 0,2—0,025 мм, в качестве жидкой неподвижной фазы использовался динонилфталат в количестве 12% от веса носителя. Рабочая температура колонки была 85°C, а испарителя — 120°C.

## Литература

1. Сыров А. А., Цисковский В. К. Усп. химии, т. 39, 1970, вып. 5.
2. Беляев В. Ф. Уч. зап. БГУ не. В. И. Ленина, вып. 42, серия хим. наук, с. 249.



1958. З. Шахтахтинский Т. Н., Мамедов Ф. М., Багиров Ш. Т., Гинзбург А. Т., Касумов Ш. Г. Авт. свид. СССР, № 833 943, опубли. 30. 05 1981. Бюлл. № 20. 4. Онищенко А. С. Диеновый синтез. Изд-во АН СССР, 1963.

Институт теоретических проблем  
химической технологии АН Азерб. ССР

Поступило 8. VIII 1980

А. А. Дашдэмирова, Ф. М. Маммэдов, Х. И. Садыгова, Ш. Г. Касумов,  
Т. Н. Шахтахтински

# МЕТИЛЦИКЛОГЕКСЕН ИЗОМЕРЛЭРИНИН МАЈЕ ФАЗАДА НАВА ОКСИКЕНИНИН ИШТИРАКЫ ИЛЭ КАТАЛИТИК ОКСИДЛЭШДИРИЛМЭСИ

3-вэ 4-метилсиклогексенлэрин маје фазада феросенин иштиракы илэ оксидлэшдирилмэси тэдгиг едилмишдир. Мүэјјэнлэшдирилмишдир ки, просесдэн алынган эсас мөһсулларын чыхымына температур, реаксиянын апарылма мүддэти вэ катализаторун мигдары тәсир көстәрир.

A. A. Dashdamirova, F. M. Mamedov, Kh. I. Sadykhova, Sh. G. Kasumov,  
T. N. Shakhtakhtinsky

# CATALYTIC OXIDATION OF ISOMERS OF METHYLCYCLOHEXANE IN THE LIQUID PHASE BY AIR OXYGEN

The reaction of 3- and 4-methylcyclohexanes was studied in the presence of ferrocene as a catalyst. It was found that the output of the products depended on the temperature, the duration of the reaction and the catalyst amount.

АЗЭРБАЙҖАН ССР ЕЛМЛЭР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘРҮЗЭЛЭРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XL ЧИЛД

№ 7

1984

УДК 66.023:66.094.18

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Акад. В. С. АЛИЕВ, А. А. АХУНДОВ, Р. Г. РИЗАЕВ, В. С. ГАДЖИ-КАСУМОВ,  
Р. М. ТАЛЫШИНСКИЙ, Н. А. БАШИРОВ

# ОПТИМИЗАЦИЯ АДИАБАТИЧЕСКОГО СЕКЦИОНИРОВАННОГО РЕАКТОРА В ПРОЦЕССЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ ИЗОПЕНТАН-ИЗОАМИЛЕНОВЫХ СМЕСЕЙ

Создание эффективных реакционных аппаратов, универсальных по отношению к исходному сырью — одна из центральных проблем в разработке процессов получения мономеров синтетического каучука методами дегидрирования. Адиабатические секционированные реакторы представляют в этом смысле известный интерес [1], поскольку они обеспечивают: а) возможность длительной эксплуатации стационарных слоев контактов; б) оптимальные выгодные температурные и концентрационные профили в слое катализатора; в) высокую избирательность процесса при относительно больших степенях превращения; г) осуществление реакции в кинетической области без диффузионных осложнений, что обуславливает возможность стабильного управления режимными параметрами.

В зависимости от специфики процесса возможны технологические разновидности адиабатических устройств, классифицируемые по типу утилизации реакционного тепла и способу подачи кислорода.

Так, по типу утилизации тепла аппараты могут быть сконструированы с промежуточной межсекционной утилизацией и без нее, а по способу подачи кислорода — с разовой и посекционной подачей (подпиткой).

С целью наглядной оценки указанных конструктивных вариантов в реакции окислительного дегидрирования изопентан-изоамиленовых смесей была проведена оптимизация процесса. Выбор в качестве сырья изопентан-изоамиленовых фракций диктовался практическими соображениями о наличии сырьевых ресурсов подобного рода, обеспечиваемых процессами изокрекинга [2] и вакуумной перегонки нефти.

В основу математической модели положена система уравнений кинетических и теплового баланса реакции окислительного дегидрирования изопентана в изопрен [3] с граничными условиями:

$$P_{C_5H_{12}}; P_{C_5H_{10}} \geq 1; P_{O_2}: (P_{C_5H_{12}} + P_{C_5H_{10}}) \leq \gamma_{min}; 0,83 < Sel < 0,98$$

$$15 < Conp < 45.$$

Градиентным методом [4] проведена оптимизация с выбором в качестве критерия съема изопрена (производительность единицы объема катализатора  $g, \frac{2}{л \cdot ч}$ ).

При различных входных значениях парциальных давлений углеводородов  $C_5$  и кислорода были сопоставлены адиабатические реак-



торы с промежуточным теплосъемом и без него. Односекционный аппарат с разовой подачей кислорода специально не анализировался, так как его оценка обеспечивалась решением более общей задачи оптимизации.

На рис. 1, 2 ( $P_{C_5H_{12}}^0 = 0,0208$  ат,  $P_{C_5H_{10}}^0 = 0,0166$  ат) ( $P_{C_5H_{12}}^0 = P_{C_5H_{10}}^0 = 0,058$  ат) показаны оптимальные распределения технологических

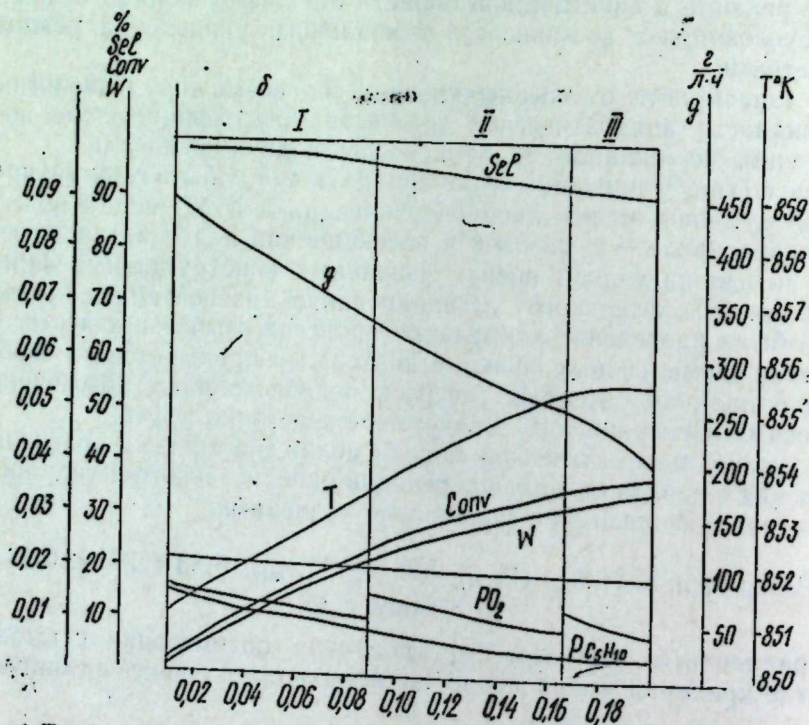
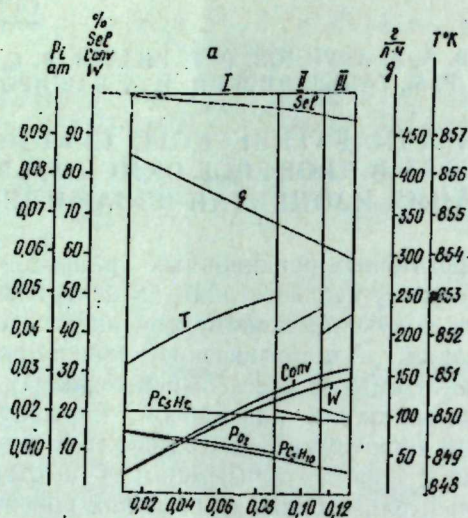


Рис. 1. Посекционное распределение основных технологических параметров ( $P_{C_5H_{12}}^0 = 0,0208$  ат,  $P_{C_5H_{10}}^0 = 0,0166$  ат): а — с промежуточным теплосъемом; б — без промежуточного теплосъема

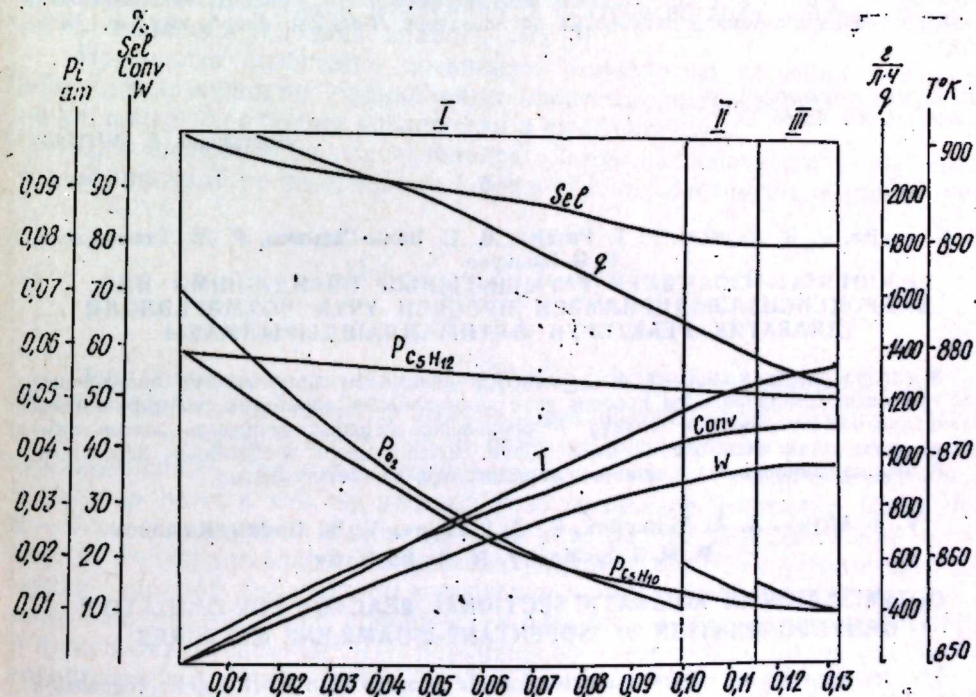
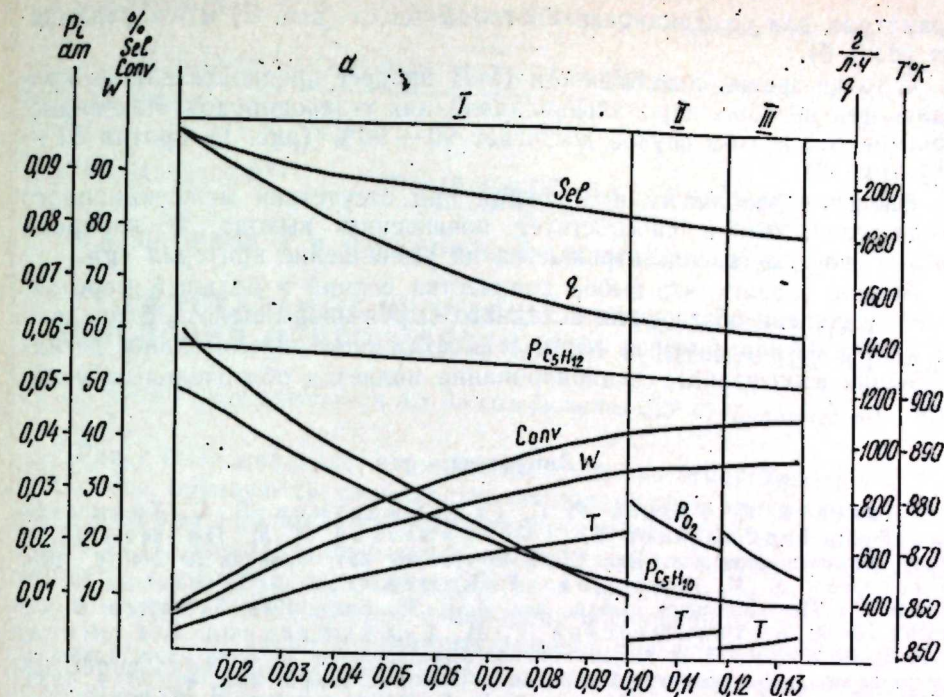


Рис. 2. Оптимизация процесса в адиабатическом секционированном реакторе ( $P_{C_5H_{12}}^0 = P_{C_5H_{10}}^0 = 0,058$  ат): а — с промежуточным теплосъемом; б — без промежуточного теплосъема.



параметров для межсекционного отвода тепла (поз. а) и без утилизации (поз. б).

С точки зрения селективности (Sel) процесс предпочтительнее проводить при меньших парциальных давлениях углеводородов. Как видно, значение Sel в этом случае достигает 90—96% (рис. 1) против 81—83% (рис. 2).

Введение дополнительных секций при отсутствии межсекционного отвода тепла, хотя и способствует повышению выхода  $W$  изопрена (рис. 1), но существенно отражается на уменьшении критерия «g».

Можно сказать, что выбор количества секций в большей мере зависит от степени обогащения исходного сырья изоамиленом. В пределе при работе на парафиновом сырье (одностадийное окислительное дегидрирование изопентана), секционирование является обязательным условием.

#### Литература

1. Алиев В. С., Ризаев Р. Г., Гаджи-Касумов В. С., Талышинский Р. М., Тер-Саркисов Б. Г., Сейфуллаева Ж. М., Пиласва Л. П. Способ получения дивинила. Пат. США № 4198586; пат. Франции № 244019, 1978.
2. Рустамов М. И., Фархадова Г. Т., Мамедов Х. Т., Агаева Р. Р. Мат. лы XII Менделеевского съезда, вып. 4, с. 38. Баку, 1981.
3. Алиев В. С., Ахундов А. А., Талышинский Р. М., Гаджи-Касумов В. С., Ризаев Р. Г., Баширов Н. А. Математическое моделирование процесса одностадийного окислительного дегидрирования изопентана в изопрен. Азерб. хим. ж., № 4, 1983.
4. Ахундов А. А., Гаджи-Касумов В. С., Талышинский Р. М., Баширов Н. А., Ризаев Р. Г. Оптимизация процесса одностадийного окислительного дегидрирования  $n$ -бутана в дивинил на катализаторе Л-8Н-2М, Азерб. хим. ж., № 5, 1982 г.

Институт нефтехимических процессов АН Азерб. ССР

Поступило 6. VI 1983

В. С. Алиев, Э. Э. Ахундов, Р. Г. Ризаев, В. С. Гаджи-Касумов, Р. М. Талышинский, Н. А. Баширов  
**ИЗОПЕНТАН-ИЗОАМИЛЕН ГАРЫШЫГЫНЫН ОКСИДЛЭШМЭ ИЛЭ ГИДРОКЕНСИЗЛЭШДИРИЛМЭСИ ПРОСЕСИ УЧУН ЧОХМЭРХЭЛЭЛИ АДИАБАТИК РЕАКТОРУН ОПТИМАЛЛАШДЫРЫЛМАСЫ**

Мәгәләдә ријазии модел әсасында изопентан-изоамилен гарышыгынын оксидләшмә илэ гидрокенсизләшдирилмәси просеси үчүн чохмәрхәләли адиабатик реакторун оптималлашдырылмасындан бәһс олунур. Мәрхәләләрин сајынын сечилмәси әсасән хам-малын тәркибиндә олан олефин вә парафин гарышыгынын нисбәтиндән асылдыр. Мәгәләдә һәмчинин оптимал кириш параметрләри дә тапылмышдыр.

V. S. Aliyev, A. A. Akhundov, R. G. Rizayev, V. S. Gadzhi-Kasumov, R. M. Talyshinsky, N. A. Bashirov

#### OPTIMIZATION OF ADIABATIC SECTIONAL REACTOR FOR OXIDATIVE DEHYDROGENATION OF ISOPENTANE-ISOAMILENE MIXTURES

The optimization of adiabatic reactor for the process of oxidative dehydrogenation of isopentane-isoamylene mixtures of alternative composition was carried out on the basis of mathematical model.

It is shown that the choice of section quantity depends to a great extent upon olefin-paraffin ratio in the starting raw material. Optimal inlet parameters were determined.

Б. А. МАМЕДОВ, А. В. РАГИМОВ, С. А. ГУСЕВ, Б. И. ЛЮГОНЬКИН

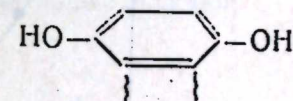
#### РАДИКАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ОКИСЛЕНИИ ОЛИГОГИДРОХИНОНА В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР С. Д. Мехтиевым)

Ранее было показано, что при окислении олигогидрохинона в щелочной среде образуются стабильные полирадикалы семихинонного типа [1], в которых наблюдается возрастание парамагнетизма и электропроводности [2]. Недавно нами установлены основные кинетические закономерности окисления олигогидрохинона в щелочной среде по поглощению кислорода при постоянном давлении последнего [3]. В то же время известно, что окисление мономерных фенолов протекает двухстадийно через образование промежуточных радикалов феноксильного и семихинонного типов [4]. В связи с этим, представляло интерес также исследование изменения концентрации радикальных центров по ходу окисления олигогидрохинона в условиях, аналогичных [3].

Настоящее сообщение посвящено результатам изучения методом ЭПР закономерностей радикальных процессов, протекающих при окислении олигогидрохинона кислородом в щелочной среде.

Для исследования использовался олигогидрохинон, полученный методом анионной полимеризации  $p$ -бензохинона [5] и имеющий структуру



Окисление олигогидрохинона ( $\bar{X}_n = 2 + 4$  и гидроксильное число 28,4%) было осуществлено в ампуле, помещенной непосредственно в резонаторе спектрометра РЭ-1306. В качестве растворителя использовался этиловый спирт. Раствор олигогидрохинона в этаноле вводили в ампулу, а раствор КОН в том же растворителе загружали в насадку. Систему 2—3 раза продували и присоединяли кислородом, далее давление кислорода поддерживалось постоянным, равным  $9,8 \cdot 10^{-4}$  Па. После достижения заданной температуры и проверки герметичности в ампулу к раствору олигогидрохинона, поворачивая насадку, добавляли раствор КОН и фиксировали спектры ЭПР реакционной смеси в ходе окисления олигогидрохинона. Предварительно фиксировался спектр ЭПР исходного олигогидрохинона. В качестве стандарта использовали стабильный радикал 2,2,6,6-тетраметил-4-оксипиперидин-1-оксила.

Согласно [4], феноксильные радикалы, возникающие при окислении мономерных фенолов, являются относительно нестабильными, их время



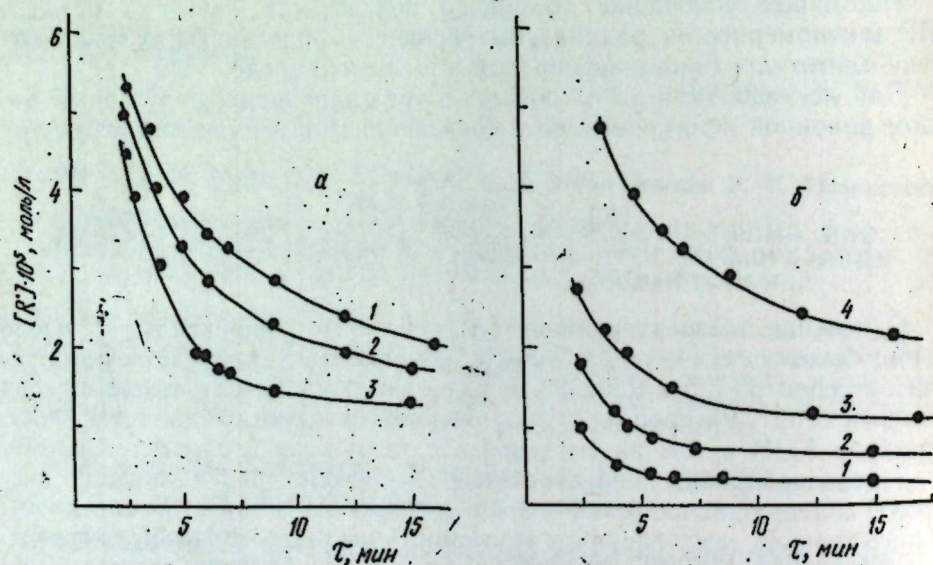
жизни мало. Однако семихионные радикалы в щелочной среде превращаются в стабильные аннион-радикалы, время жизни которых заметно увеличивается и они легко фиксируются методом ЭПР [6]. В соответствии с этим, при окислении олигогидрохинона радикальные центры образуются в звеньях олигомера. Щелочная среда позволяет получать звенья в виде аннион-радикалов



В то же время полнанион-радикалы олигогидрохинона должны быть более стабильными, чем мономерные семихионные аннион-радикалы, поскольку появляются дополнительные возможности для стабилизации как вследствие делокализации неспаренного электрона по цепи ароматического сопряжения олигомеров, так и вследствие стерических затруднений и меньшей подвижности для реакции рекомбинации, диспропорционирования и электронного обмена [7].

Результаты ЭПР-измерений показывают, что радикалы образуются очень быстро после добавления раствора щелочи к раствору олигогидрохинона. Экспериментально стадию накопления семихионных радикальных центров этим методом не удается фиксировать.

Как видно из кинетических кривых (см. рисунок), концентрация промежуточных радикальных центров уменьшается во времени. Однако во всех опытах наступает такой момент, когда концентрация радикальных центров в системе становится постоянной.



Зависимость концентрации радикальных центров от времени при окислении олигогидрохинона в щелочной среде: а— $[\text{ГХ}]_0$ , моль/л 9,25 · 10<sup>-2</sup>;  $[\text{KOH}]_0$  моль/л—17,9 · 10<sup>-2</sup>; Т, °К: 1—305,2; 2—315,2; 3—325,2; б— $[\text{KOH}]_0$ , моль/л—0,203 моль/л; Т, °К—305; 2;  $[\text{ГХ}]_0$ , моль/л; 1—3,15 · 10<sup>-2</sup>; 2—1,63 · 10<sup>-2</sup>; 3—6,20 · 10<sup>-2</sup>; 4—9,25 · 10<sup>-2</sup>

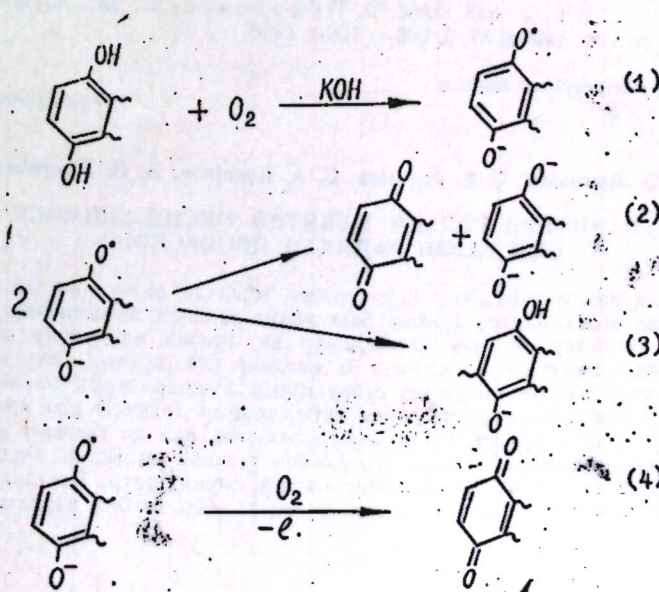
Максимальная концентрация радикалов в системе увеличивается с повышением исходной концентрации гидрохионных звеньев и щелочи. Скорость уменьшения концентрации радикальных центров зависит от исходной концентрации гидрохионных звеньев по первому порядку. Такая же зависимость наблюдается между исходной концентрацией щелочи и скоростью уменьшения концентрации радикалов. Скорость гибели радикалов имеет приблизительно второй порядок по исходной концентрации радикалов, найденной экстраполяцией кинетических кривых к оси ординат.

Значения констант скорости, найденные из зависимости  $W = K_{\text{эф}}[R]^2$ , являются достаточно высокими (см. таблицу). Из температурной зависимости скорости уменьшения концентрации радикалов найдено значение энергии активации процесса  $E = 14,5$  кДж/моль.

Условия реакции и некоторые кинетические параметры радикальных процессов, протекающих при окислении олигогидрохинонов

| $[\sim\text{ГХ}] \cdot 10^{-2}$ ,<br>моль/л | $[\text{KOH}]_0 \cdot 10^2$ ,<br>моль/л | Т, °К | $W_0 \cdot 10^7$ ,<br>моль/л.с | $K$ ,<br>л. моль <sup>-1</sup> .<br>с <sup>-1</sup> |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 2                                           | 3                                       | 4     | 5                              | 6                                                   |
| 9,25                                        | 20,83                                   | 305   | 0,96                           | —                                                   |
| 6,20                                        | "                                       | "     | 0,75                           | —                                                   |
| 4,63                                        | "                                       | "     | 0,58                           | —                                                   |
| 3,10                                        | 20,83                                   | 305   | 0,38                           | —                                                   |
| 9,25                                        | 17,9                                    | "     | 0,88                           | 22,8                                                |
| "                                           | "                                       | 315   | 1,1                            | 28,6                                                |
| "                                           | "                                       | 325   | 1,42                           | 36,8                                                |

На основании литературных данных [4, 7] и полученных результатов можно предположить, что в ходе процесса протекают следующие последовательно-параллельные реакции:





Реакция (1) приводит к образованию радикалов и определяет количество поглощенного кислорода [3]. Гибель радикалов возможна путем рекомбинации резонансных форм (3), электронного обмена (2) и дальнейшего окисления (4) радикалов. Однако в условиях наших измерений п-бензосемихиноновые радикалы не взаимодействуют с кислородом [4]. Об этом также свидетельствует второй порядок по концентрации радикалов.

Вклад реакций (2) и (3) в определенной степени должен зависеть от положения звена в макромолекулярной цепи, т. е. от его доступности для соответствующих взаимодействий. Если радикальные центры возникают в последнем звене макромолекулы, то, по-видимому, вероятность реакции рекомбинации радикальных центров концевых звеньев больше, по сравнению с радикальными центрами, находящимися вдоль цепи. Однако определение значения молекулярных масс и растворимости олигогидрохинонов после окисления свидетельствует о том, что радикалы, видимо, гибнут в основном за счет электронного обмена между семихиноновыми звеньями, т. е. вклад реакции (3) меньше по сравнению с реакцией (2) и должен уменьшаться с повышением молекулярных масс олигогидрохинона.

Таким образом, в случаях, когда олигогидрохинон обладает достаточно высокой молекулярной массой ( $X_n \geq 5$ ) была отмечена возможность образования стабильных радикалов в элементарных звеньях олигогидрохинона.

#### Литература

1. Рагимов А. В., Мамедов Б. А., Лиюгонький Б. И., Меджидов А. А., Видади Ю. А., Исмаилова Ч. О. *Азерб. хим. ж.*, 4, 81—84, 1980.
2. Видади Ю. А., Рагимов А. В., Мамедов Б. А., Мамедов Ф. Ш., Лиюгонький Б. И. *ДАН СССР*, 253, 1, 135—138, 1980.
3. Мамедов Б. А., Рагимов А. В., Гусейнов С. А., Лиюгонький Б. И. *ДАН Азерб. ССР*, № 5, 1982.
4. Худяков И. В., Кузьмин В. А. *Усп. химии*, 44, 10, 1748—1774, 1975.
5. Рагимов А. В., Мамедов Б. А., Лиюгонький Б. И. *Высокомолек. соед.*, А 19, 11, 2538—2542, 1977.
6. Инграм Д. *Электронный парамагнитный резонанс в свободных радикалах*, ИЛ, с. 345, 1961.
7. Походенко В. Д., Хижиный В. А., Бидзия В. А. *Усп. химии*, 37, 6, 998—1024, 1968.

Институт хлорорганического синтеза  
АН Азерб. ССР

Поступило 25. II 1982

Б. Э. Мамедов, Э. В. Рагимов, С. А. Гусейнов, Б. И. Лиюгонки

#### ОЛИГОГИДРОХИНОНУН ГЭЛЭВИ МҮҢИТДЭ ОКСИДЛЭШМЭСИ ЗАМАНЫ БАШ ВЕРЭН РАДИКАЛ ПРОСЕСЛЭР

с ЕПР методу илэ олигогидрохинонун гэлэви мүнхитдэ оксикенин  $9.8 \cdot 10^4$  Па олан сабит тэзигиндэ оксидлэшмэси заманы баш верэн радикал просеслэрини гаунаууҗуулулары өрөнлимишдир. Мүөҗөн олунмушдур ки, гэлэви мөһлулуу олигогидрохинонун мөһлулуна элава етдикдэ, системдэ радикаллар (R) жараныр. Оларын гатылыгы мүөҗөн вахта кими азалыр, сонра исэ сабит галыр. Радикалларын максимал гатылыгы [R] системдэ олигомери вэ гэлэвини гатылыгынын артмасы илэ артыр. Радикал маркэзлэрини [R] азалма сүр'эти һэм олигогидрохинона, һэм дэ гэлэвијэ көрө биринчи тәртибэ, радикал маркэзлэре [R] көрө исэ икинчи тәртибэ маликдир. Радикал маркэзлэрини әмәләкәлмэ вэ чеврилмэ механизми тәклиф олунмушдур. Көстәрилмишдир ки,  $X_n \geq 5$  олдуҗда олигогидрохинонун оксидлэшмэси заманы стабил радикал маркэзлэри жарана билир.

B. A. Mamedov, A. V. Ragimov, S. A. Guseinov, B. I. Lyogonky

#### RADICAL PROCESSES INVOLVED IN THE OXIDATION OF OLIGOHYDROQUINONE IN ALKALINE MEDIUM

The regularities of radical processes during oxidation of oligohydroquinone in alkaline medium were studied by the EPR method at constant oxygen pressure of  $9.8 \cdot 10^4$  Pa. It is found that in this case the radicals (R $\cdot$ ) are formed, their concentrations are reduced till a certain moment and then become a constant value. The maximum value of [R $\cdot$ ] in the system increases with increasing the initial concentration of oligomer and alkali. The rate of decrease of [R $\cdot$ ] has the first order both with respect to the oligohydroquinone and with respect to the alkali and approximately the second order with respect to [R $\cdot$ ]. The mechanism of formation and decay of radical centres is proposed. It is shown that at  $X_n \geq 5$  one may observe a formation of stable radicals in oligohydroquinone units.



Ф. К. МЕЖЛУМОВ, М. И. МАМЕДОВ

# ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПШЕНИЧНО-РЖАНЫХ ГИБРИДОВ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Н. Д. Мустафаевым)

Известно, что внимание многих исследователей привлекают пшенично-ржаные гибриды с точки зрения филогении и создания растений, объединяющих наиболее ценные признаки этих двух родов. Однако получить намеченные формы очень трудно [1 — 3]. Объясняется это сложностью передачи наследственного материала между указанными родами. В этой связи было интересно получить и изучить цитогенетические особенности у пшенично-ржаных гибридов первого поколения, которые обладают рядом очень ценных признаков и свойств.

С 1978 г. нами проводилось скрещивание пшеницы с рожью с целью изучения завязываемости и жизнеспособности гибридных зерен при межродовой гибридизации, для чего использовали мягкую пшеницу Безостая-1, Рожь-К-8203 (из Швеции) и К-10154 (из ФРГ), которые относятся к культурному виду *Secale cereale*.

После этого мы провели анализ всех стадий мейоза у пшенично-ржаных гибридов  $F_1$  с тем, чтобы установить, на какой стадии у них наблюдаются различия в поведении хромосом и охарактеризовать гибриды с наиболее нормальным течением мейоза и наилучшей озерненностью. Для анализа конфигураций хромосом в мейозе колосья пшенично-ржаных гибридов зафиксированы по Ньюкомеру.

Исследования показали, что мейоз у них протекает с большими нарушениями. В М1 большинство хромосом представлено в виде унивалентов, которые беспорядочно разбросаны по клетке. Из табл. 1 видно, что основная масса клеток М1 имеет 28 унивалентов (63,9%), один бивалент (18,4%), два бивалента (11,3%). Самое большое количество бивалентов, которое наблюдалось в клетках в М1, было 3, с частотой 4,6%. Наименьшее количество нарушенных клеток в стадии М1 было обнаружено в комбинациях Безостая-1 X К-10154. В табл. 2 представлены конфигурации хромосом в М1 мейоза и у гибридов Безостая-1 X К-10154. Из таблицы видно, что в М1 43,3% клеток имеет 28 унивалентов, только у 24,2% М1 встречается один бивалент, а у 14,2% — два. 3 — 4 бивалента отмечено в 8,6 и 5,6% случаев. Самое большое количество бивалентов, которое встретилось в М1 у гибридов, было 6 и 7, при этом такие клетки появились с частотой 0,7 и 0,4% соответственно. В среднем у гибридов Безостая-1 X К-8203 на клетку М1 приходится 26,66 унивалентов, 0,55-бивалентов и 0,07-тривалентов. А у гибридов Безостая-1 X К-10154 в М1 приходится 25,83 унивалентов, 1,14 — бивалентов и 0,03 — тривалентов. Следует отметить, что большинство би-

валентов относятся к открытому типу только с одной хиазмой. Но встречаются биваленты закрытого типа с двумя концевыми хиазмами. Триваленты всегда бывают открытого типа. Это приводит к тому, что (у всех гибридов) униваленты, разбросанные по клетке в М1 не мо-

Таблица 1

Конфигурации хромосом в М1 у гибридов Безостая-1 X К-8203

| Конфигурации хромосом                           | Частота клеток |      |
|-------------------------------------------------|----------------|------|
|                                                 | число          | %    |
| 28 <sub>1</sub>                                 | 181            | 63,9 |
| 1 <sub>н</sub> +26 <sub>1</sub>                 | 52             | 18,4 |
| 2 <sub>н</sub> +24 <sub>1</sub>                 | 32             | 11,3 |
| 1 <sub>н</sub> +3 <sub>н</sub> +19 <sub>1</sub> | 13             | 4,6  |
| 2 <sub>н</sub> +22 <sub>1</sub>                 | 3              | 1,1  |
| 1 <sub>н</sub> +1 <sub>н</sub> +23 <sub>1</sub> | 2              | 0,7  |
| Всего клеток                                    | 283            | —    |

Примечание. В среднем на М1 приходится 26,66<sub>1</sub>+0,55<sub>н</sub>+0,07<sub>н</sub>.

Таблица 2

Конфигурации хромосом в М1 у гибридов Безостая-1 X К-10154

| Конфигурации хромосом                           | Частота клеток |      |
|-------------------------------------------------|----------------|------|
|                                                 | число          | %    |
| 28 <sub>1</sub>                                 | 116            | 43,3 |
| 1 <sub>н</sub> +26 <sub>1</sub>                 | 65             | 24,3 |
| 2 <sub>н</sub> +24 <sub>1</sub>                 | 38             | 14,2 |
| 3 <sub>н</sub> +22 <sub>1</sub>                 | 23             | 8,6  |
| 4 <sub>н</sub> +20 <sub>1</sub>                 | 15             | 5,6  |
| 5 <sub>н</sub> +18 <sub>1</sub>                 | 3              | 1,1  |
| 1 <sub>н</sub> +28 <sub>1</sub>                 | 3              | 1,1  |
| 1 <sub>н</sub> +6 <sub>н</sub> +13 <sub>1</sub> | 2              | 0,7  |
| 1 <sub>н</sub> +1 <sub>н</sub> +23 <sub>1</sub> | 2              | 0,7  |
| 1 <sub>н</sub> +7 <sub>н</sub> +11 <sub>1</sub> | 1              | 0,4  |

Всего клеток 268

Примечание. В среднем на М1 приходится 25,83<sub>1</sub>+1,14<sub>н</sub>+0,03<sub>н</sub>.

гут упорядоченно разойтись к двум полюсам в А1, а поэтому расходятся случайным образом. Из 246 исследованных клеток у гибридов Безостая-1 X К-8203 в А1 только в 37 клетках (15,0% имело место правильное расхождение хромосом). А у гибридов Безостая-1 X К-10154 из проанализированных клеток в А1 было всего 23 клетки (15,1%). В остальных случаях, хромосомы либо распределялись между двумя полюсами (54,1 и 63,1%), либо образовывали три группы и более (30,9 и 21,7%) соответственно. В результате в Т1 вместо двух образуется три, четыре и большее число полюсов.

Во втором делении мейоза у гибридов  $F_1$  уменьшается число клеток с нарушениями. Лишь в АП наблюдается асинхронность. В результате на стадии тетрад у гибридов Безостая-1 X К-8203 образуется только 18,0% нормальных тетрад, остальные либо имеют микроядра (59,4%), либо представлены полиадами (22,6%). Что касается комбинации Безостая-1 X К-10154, то по уровню бивалентной ассоциации и проценту правильности расхождения хромосом она превосходит комбинацию Безостая-1 X К-8203.

Следует отметить, что в полевых условиях процент завязывания гибридных зерен в комбинации Безостая-1 X 8203 составил в среднем 11,4%, а в комбинации Безостая-1 X К-10154 — 5,7%. Однако жизнеспособность гибридных зерен в комбинации Безостая-1 X К-10154 (62,5%) выше, чем Безостая-1 X К-8203 (50,0%). Подобные результаты наблюдали Райли, Чэпман и Кимбер [4]. Они установили, что в  $F_1$  пшенично-ржаных гибридов в среднем на одну клетку число хромосомных



ассоциаций равно  $1,37 \pm 0,03$  с колебанием от 0 до 2. При изучении мейоза аналогичная картина обнаружена Лебедевым [5] у пшенично-ржаных гибридов. Автор отметил, что у пшенично-ржаных гибридов в отдельных МКП встречается 1—2n, образующиеся в результате ауто-синтеза хромосом пшеницы.

Отмеченные нарушения мейоза наблюдались и в нашей работе. Ранее отметили, что число бивалентных хромосом Безостая-1 X К-8203 в М1 варьирует от 0 до 3. Самое большее количество бивалентов, которое встретилось в М1 у гибридов Безостая-1 X К-10154 — 7.

Имеются и другие мнения, высказываемые разными авторами, относительно природы нарушений в мейозе у пшенично-ржаных гибридов. Однако Зеленский и Дорошенко [6] подобное не наблюдали. В результате скрещивания пшеницы с рожью они выявили полный асинтез у пшенично-ржаных гибридов. Зеленский [7] обнаружил у пшенично-ржаных гибридов первого, а также и более поздних поколений, разбросанность хромосом по веретену. Это выражается в том, что вместо тетрад образуются полиады.

В исследованных нами пшенично-ржаных гибридах мы установили, что у Безостая-1 X К-8203 на стадии тетрад только 18,0% образуется нормальных остальных тетрады либо имеют микроядра (59,4%), либо представлены полиадами (22,6%). А у гибридов Безостая-1 X К-10154 на стадии тетрад 21,5% клеток без нарушений, 59,0% — с микроядрами, а 19,4% клеток — полиады.

На основании проведенных нами цитогенетических исследований можно предположить, что конъюгация хромосом произошла между гомеологичными хромосомами пшеницы, а в отдельных случаях в результате аутосинтеза хромосом ржи.

#### Литература

1. Писарев В. Е., Жилкина М. Д. Генетика, № 43—12, 1967.
2. Ципи Н. В. Отдаленная гибридизация в семействе злаковых, Изд-во АН СССР, МР, 1958.
3. Шульдин А. Ф., Науимова Л. Н. Цитология и генетика. Респ. меж-вед. сб., вып. 2, 57—62, 1966.
4. Reley R., Charman V., Kimber G. Genetic control of chromosome.
5. Лебедев В. Н. Новые явления в пшенично-ржаных гибридах. Изд-во Укр. научн. исслед. ин-та сахарной пром-ти. Киев, 1932.
6. Зеленский В. Р. Труды по прикл. ботан., генет. и селек., 14, № 1, 185. М., 1924—1925.
7. Зеленский В. Р. Сб. Новая деревня, М., 1924.

Институт генетики и селекции  
АН Азерб. ССР

Поступило 24. XII 1981

Ф. Г. Мэчмунов, М. И. Мэммедов

#### БУГДА-ЧОВДАР ГИБРИДЛЭРИНИН СИТОКЕНЕТИК ТЭДГИГИ

Безостая-1 X К-8203 və Безостая-1 X К-10154 гибриdlərində meјoz bөлünmənin me-тафаза I (M1) mərhələsində бивалентлəрин мигдары 0—7 арасында дəјишилir. Безостая-1 X К-8203 гибриdləринин һәр бир һүчєрəsində орта һесабла 26,66 унивалент, 0,55 бивалент, 0,07 тривалент, Безостая-1 X К-10154 гибриdləриндə исə 25,83 унивалент, 1,14 бивалент və 0,03 тривалент олур. Нəтичəдə meјозун M1-дə хромосомларын 63,9 və 43,3 фазини унивалент шəклində олур.

Күмən етмək олар ки, бугда-човдар гибриdləриндə хромосомларын конјугасијасы эхсəрən бугданын һомоложи хромосомларын, һадир һалда исə човдарын аутосинтез хромосомларын һесабына кедир.

#### CYTOGENETICAL INVESTIGATIONS OF WHEAT-RYE HYBRIDS

In M<sub>1</sub> of meiosis in hybrids Bezostaya-1 X K-8203 and Bezostaya-1 X K-10154 number of bivalents varies from 0 to 7. In hybrids Bezostaya-1 X K-8203 the number of univalents is 26.66, bivalents—0.55 and trivalents—0.07. There are 25.83 univalents, 1.14 bivalents and 0.03 trivalents in M<sub>1</sub> of the hybrids Bezostaya-1 X K-10154. In M<sub>1</sub> of meiosis (63.9% and 43.3%, respectively) the chromosomes are represented as univalents. We can suggest that the chromosome pairing takes place between the homologous wheat genomes, at the expense of autosynthesis of rye chromosomes.

В М<sub>1</sub> мейоза в гибридах Безостая-1 X К-8203 и Безостая-1 X К-10154 число бивалентов варьирует от 0 до 7. В гибридах Безостая-1 X К-8203 число унивалентов 26,66, бивалентов—0,55 и тривалентов—0,07. В М<sub>1</sub> мейоза (63,9% и 43,3%, соответственно) хромосомы представлены как униваленты. Мы можем предположить, что конъюгация хромосом происходит между гомеологичными хромосомами пшеницы, в ущерб аутосинтезу хромосом ржи.

| Гибрид |  |  |  |  | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид | Гибрид |
|--------|--|--|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|--------|--|--|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

Безостая-1 X К-8203 гибриdləринин һәр бир һүчєрəsində орта һесабла 26,66 унивалент, 0,55 бивалент, 0,07 тривалент, Безостая-1 X К-10154 гибриdləриндə исə 25,83 унивалент, 1,14 бивалент və 0,03 тривалент олур. Нəтичəдə meјозун M1-дə хромосомларын 63,9 və 43,3 фазини унивалент шəклində олур.



К. Т. ФАРХАДОВ

# МОЛЛЮСКИ И ИХ РОЛЬ В РАСПРОСТРАНЕНИИ ПРОТОСТРОНГИЛИДОВ В НАХИЧЕВАНСКОЙ АССР

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР М. А. Мусавым)

Видовой состав моллюсков и их роль в распространении легочных нематод овец в Нахичеванской АССР не был изучен, за исключением сообщений Я. Г. Гаджиева [3, 4] и Я. М. Сеидова [6] по некоторым вопросам протостронгилидоза.

Учитывая важность изучения данного вопроса, нами в 1977—1980 гг. на территории Нахичеванской АССР проводились специальные исследования, в результате выявлено 13 видов наземных и один вид пресноводных моллюсков. В определении этих видов мы руководствовались работами Н. Н. Акрамовского [1, 2] и И. М. Лихарева, Е. М. Раммeyer [5]. Одновременно достоверность этих видов проверялась и была подтверждена руководителем группы изучения моллюсков Института зоологии АН Арм. ССР Н. Н. Акрамовским, за что выражаем ему свою признательность.

В табл. 1 дается распределение видов моллюсков. Из этой таблицы также видно, что в горных зонах моллюски менее распространены, чем

Таблица 1

Распределение обнаруженных моллюсков по районам Нахичеванской АССР

| №<br>пп | Виды моллюсков                 | Районы           |                |                 |                   |             |
|---------|--------------------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------|
|         |                                | Ильичев-<br>ский | Бабек-<br>ский | Шахбуз-<br>ский | Джульты-<br>нский | Ордубадский |
| 1       | <i>Chondrula tridens</i>       | +                |                |                 |                   |             |
| 2       | <i>Jamnia isselliana</i>       | +                | +              | +               | +                 |             |
| 3       | <i>Imparictula sieversi</i>    | +                |                |                 | +                 | +           |
| 4       | <i>Imparictula pupoides</i>    |                  |                |                 | +                 |             |
| 5       | <i>Narapeopsis hohenackeri</i> | +                | +              | +               | +                 | +           |
| 6       | <i>Buliminus urmianus</i>      |                  |                |                 | +                 | +           |
| 7       | <i>Xerosecta crenimargo</i>    | +                | +              | +               | +                 |             |
| 8       | <i>Xeropicta derbentina</i>    | +                | +              | +               |                   |             |
| 9       | <i>Hesseola solidior</i>       | +                | +              | +               | +                 | +           |
| 10      | <i>Euomphalia radergiensis</i> |                  | +              | +               |                   |             |
| 11      | <i>Zenartina escheriana</i>    | +                |                | +               |                   |             |
| 12      | <i>Helix lucorum</i>           |                  |                |                 |                   |             |
| 13      | <i>Zimax sp.</i>               | +                | +              | +               |                   |             |
| 14      | <i>Radix logatis</i>           | +                | +              |                 | +                 | +           |

в предгорно-низменных. К горным зонам относятся Ордубадский и Шахбузский районы. Виды *N. hohenackeri* и *X. derbentina* отмечаются во всех районах Нахичеванской АССР.

Плотность населения моллюсков на 1 м<sup>2</sup> составляет, в зависимости от вида 1—3 (*H. lucorum*), 3—8 (*X. crenimargo*, *E. revergiensis*), 11—40 экз. (*N. hohenackeri*).

Часто встречаемыми видами в Нахичеванской АССР являются *X. derbentina* и *N. hohenackeri*, хотя на 1 м<sup>2</sup> приходится 11—30 и соответственно 17—32 экз., эти виды занимают большие площади в районе исследований по сравнению с другими видами моллюсков. Однако численность моллюсков крайне непостоянна и колеблется по годам и сезонам.

В Нахичеванской АССР в пределах полупустынной зоны имеются глубокие ущелья, образованные эрозийной деятельностью рек. В глубоких щелях стен, скал и ущелий обитают крупные улитки *L. escheriana*. В основном они укрываются в своих убежищах только весной и осенью в дождливую погоду выходят наружу.

Улитки *X. derbentina*, *N. hohenackeri* прикрепляются к стеблям трав и листьев кустарников. Мы обнаруживали их даже на высоте 2 м на стволе яблоневое дерево в декабре 1981 г. Нами обнаружен редкий вид моллюсков *B. urmianus*, который распространен в предгорно-низменной зоне Нахичеванской АССР в трещинах скал, около кустов *B. urmianus*, ведет ночной образ жизни, прячется с наступлением рассвета, очень хорошо переносит засуху, сохраняя при этом жизнеспособность. С 7 апреля 1980 г. собранные моллюски мы держали в лаборатории в коробке. После 233 дней хранения, 27 ноября 1980 г., их перенесли в увлажненные места и смочили водой. Спустя 13 ч они начали активно двигаться и укрываться под листья и землю.

Кроме того мы изучали некоторые особенности биологии *X. derbentina*. Еще в апреле моллюски находились в состоянии спячки. 26 апреля 1980 г. при 15°C и относительной влажности 65% моллюски начали активно двигаться. В мае они активно ползая, мигрировали по растениям, в июне-июле откладывались яйца. Зараженность моллюсков личинками протостронгилид встречается у всех видов наземных моллюсков, найденных нами на территории Нахичеванской АССР. Это показано в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что *X. derbentina* сильно заражены (19,57%) протостронгилидами. По инвазированности моллюсков личинками протостронгилид на территории Нахичеванской АССР *N. hohenackeri* занимает второе место (18,22%). У них интенсивность инвазии колеблется в пределах 1—18 экз. Низкая инвазия отмечается (2,61%) у моллюсков *B. urmianus*. Из исследованных 153 особей — 4 экз. были заражены цистокаулами. Этот вид моллюсков найден только в одном месте на территории Нахичеванской АССР и имеет малый контакт с личинками.

Из исследованных 14 видов моллюсков 12 были заражены протостронгилидами. Во второй половине года увеличивается как экстенсивность, зараженности моллюсков личинками протостронгилид.

Наблюдения за моллюсками показывают, что в июне месяце появляются молодые особи, за счет которых плотность населения возрастает. В это время, используя благоприятные условия, в природе увеличивается количество выделяющихся из животных личинок протостронгилид и других гельминтов. Соответственно, заражение моллюсков в животных личинками протостронгилид нарастает.

Надо отметить, что больные животные выделяют личинки в течение всего года, но летом от жары, а зимой от заморозков многие личинки погибают, поэтому в указанные месяцы инвазия падает.

Личинки, находящиеся внутри экскрементов животных, способны



Таблица 2

## Степень инвазированности моллюсков личинками протостронгилид

| Виды моллюсков                 | Кол-во иссл. особей (экз.) | Зараж. протострон. (экз.) | В том числе личинками |                    |                    |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
|                                |                            |                           | протострон.           | цистокаулюсов      | мюллернус          |
| <i>Chondrula tridens</i>       | 562                        | 61                        | —                     | 61 (10,85)<br>1—7  | —                  |
| <i>Jamnia isseliana</i>        | 800                        | 116                       | 20 (2,5)<br>2—3       | 25 (3,12)<br>1—3   | 14 (1,75)<br>1—2   |
| <i>Imparietula sieversi</i>    | 385                        | 29                        | 29 (7,53)<br>1—4      | —                  | —                  |
| <i>Imparietula pupoides</i>    | 430                        | 48                        | 35 (8,13)<br>1—4      | 13 (3,02)<br>1—2   | —                  |
| <i>Napaeopsis hohenackeri</i>  | 2 530                      | 461                       | 256 (10,4)<br>1—7     | 316 (12,49)<br>1—5 | 204 (8,06)<br>1—8  |
| <i>Buliminus urmianus</i>      | 153                        | 4                         | —                     | 4 (3,50)<br>1—2    | —                  |
| <i>Xerosecta crenimargo</i>    | 1 528                      | 254                       | 141 (9,22)<br>1—9     | 120 (7,85)<br>1—6  | 82 (5,36)<br>1—3   |
| <i>Xeropicta derbentina</i>    | 2 856                      | 559                       | 412 (14,42)<br>1—13   | 307 (10,74)<br>2—9 | 193 (6,75)<br>1—10 |
| <i>Hesseola solidior</i>       | 114                        | 4                         | —                     | 4 (3,50)<br>2—3    | —                  |
| <i>Eumphalia raverigiensis</i> | 360                        | 33                        | —                     | 15 (4,16)<br>1—4   | 19 (5,27)<br>1—5   |
| <i>Levantina escheriana</i>    | 86                         | 6                         | —                     | 2 (2,32)<br>1—5    | 4 (4,65)<br>1—6    |
| <i>Helix lucorum</i>           | 147                        | 18                        | 6 (4,08)<br>1—3       | 11 (7,48)<br>2—13  | 4 (2,72)<br>1—4    |
| <i>Limax sp.</i>               | 126                        | —                         | —                     | —                  | —                  |
| <i>Radix lagotis</i>           | 1 788                      | —                         | —                     | —                  | —                  |

перезимовывать, а извлеченные из них погибают с наступлением заморозков.

В низменных зонах Нахичеванской АССР иногда отмечаются сухие заморозки, без снега, что губительно действует на личинки. В перезимовавших моллюсках обнаруживаются личинки протостронгилид. Из обследованных 365 перезимовавших моллюсков вида *X. derbentina*, у 4 (1,09%) были отмечены личинки этих гельминтов.

Во время наших опытов не наблюдалось, чтобы личинки самостоятельно покидали тела моллюсков. При исследовании проб трав и почвы мы также не обнаружили личинок протостронгилид в инвазионной стадии.

## Литература

1. Акрамовский Н. Н. Биол. ж. Ереван, XXIV, вып. 6, 1971.
2. Акрамовский Н. Н. Фауна Армянской ССР. Моллюски. Изд-во АН Арм. ССР, с. 272, 1976.

3. Гаджиев Я. Г. Труды АЗНИВИ, т. XIV, с. 133—144, 1962. 4. Гаджиев Я. Г. Докл. ВАСХНИЛ, № 12, с. 37—38, 1972. 5. Лихарев И. М., Раммeyer Е. С. Наземные моллюски фауны СССР Изд-во АН СССР, с. 512, 1952. 6. Сендов Я. М. Труды АЗНИВИ, т. XIV, с. 318—324, 1965. 7. Трушин И. Н. Бюлл. ВИГИС, вып. 18, с. 90—95, 1976.

Нахичеванская научно-исследовательская ветеринарная станция

Поступило 6. IV 1982

Г. Т. Фархадов

# НАХЧЫВАН МССР-ДЭ ИЛБИЗЛЭР ВЭ ОНЛАРЫН ПРОТОСТРОНГИЛИДОЗУН ЛАЙЛЫМАСЫНДА РОЛУ

Нахчыван МССР-ин мұхтәлиф районларында апарылмыш тәдигат нәтижәсиндә илк дәфә 13 нөв гуру илбиз вә 1 нөв ширин су илбиз ашкар едилмишдир.

Гуру илбизләрдә ағ чијәр нематодларынын сүрфә мәрһәләсини тапмағ мәғсәдилә тәчрүбә апарылмыш, нәтижәдә 12 нөв гуру илбиздә протостронгилид (ағ чијәр нематодлары) сүрфәләри тапылмышдыр. Гуру илбизләрдән протостронгилид сүрфәләри илә јолухмасына көрә биринчи јери *X. derbentina* (19,57%) вә *N. hohenackeri* (18,22) тутур.

Апарылмыш тәчрүбә нәтижәсиндә ғышы кечирмиш гуру илбизләрдә 1,09% диир протостронгилид сүрфәләри мұшәһидә олуномушдур.

К. Т. Farhadov

## MOLLUSKS AND THEIR ROLE IN THE DISTRIBUTION OF PROTOSTRONGYLIDOSIS IN NAKHICHEVAN ASSR

On the territory of Nakhichevan Autonomous Soviet Socialist Republic 13 species of land mollusks and a species of freshwater mollusk were found. Out of them 12 species were infected with larvae of protostrongylidae.



УДК 631.4:631.6

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

Н. Р. СУЛЕЙМАНОВ

О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ ВНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ  
В ЦЕЛЯХ УЛУЧШЕНИЯ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТРУДНОМЕЛИОРИРУЕМЫХ ГЛИНИСТЫХ СОЛОНЧАКОВ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР В. Р. Волобуевым)

Мелиорация засоленных земель с низкой солеотдачей входит в число актуальных проблем современного этапа развития мелиоративной науки.

Исследования по промывке почв низменностей Азербайджана показывают, что засоленные почвы республики в большинстве случаев вполне удовлетворительно рассоляются обычной промывкой. Но промывка почв с низкой солеотдачей требует применения более эффективных мер.

Установлено, что затрудненность промывки засоленных почв с низкой солеотдачей связана, в одних случаях с наличием высокой солонцеватости, а в других — с тяжелым механическим составом и высокой дисперсностью почв, обуславливающих их очень низкую водопроницаемость [1, 4].

При промывке такие почвы впитывают лишь незначительную часть поданной воды и вследствие набухания почвы дальнейшее впитывание воды в нее быстро прекращается. Подача же повышенных норм способствует испарению воды с поверхности и диффузии солей из нижних слоев почвы. В результате содержание солей в верхних слоях почв в некоторых случаях даже увеличивается [1].

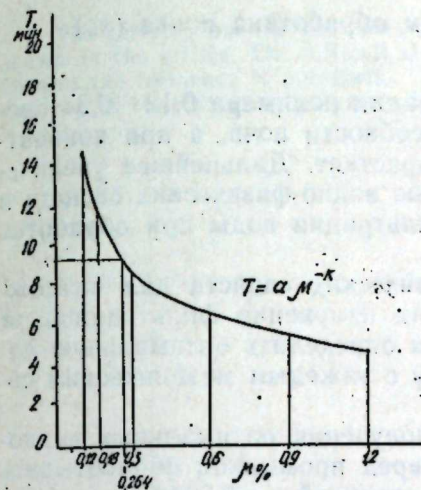
Результаты исследований различных авторов указывают на возможность перспективного подхода в решении вопроса мелиорации трудно-мелиорируемых глинистых солончаков воздействием на водно-физические свойства почвы, в частности, водопроницаемости, а следовательно ускорение процесса выщелачивания и удаления легкорастворимых солей из почвы.

Воздействие на водно-физические свойства почв с тяжелым механическим составом с помощью химических реагентов на фоне различной агротехнической обработки проводилось довольно многим учеными [1, 2, 3, 5, 6, 7].

Перспективным приемом улучшения структуры почвы является обработка ее специальными препаратами-структурами. Этот метод впервые предложен Вершининым и Колясовым [5].

К числу предложенных структурообразователей относится лингосульфаты — производные лингина, получаемые из отходов целлюлозной промышленности. Показано положительное влияние этих препаратов на структуру дерново-подзолистых, сероземов, светло-каштановых [2, 3, 5, 6] и других почв. Следует отметить, что мелиоративный эффект достигается при использовании достаточно больших доз лингосульфатов, это несколько снижает их значение как структуров.

В статье приведены результаты предварительных исследований по применению жидкого полимера ВО. Высокая способность растворения его в воде и сохранение физических свойств без изменения на протяжении длительного времени дает возможность широко применять на практике этот препарат.



Кривая изменения скорости фильтрации в зависимости от концентрации полимера

В лабораторных опытах на аппарате Оствальда было изучено действие жидкого полимера на фильтрационные свойства лугово-сероземной элитой почвы Ширванской степи.

Для проведения исследований взяты почвы из опытно-производственного участка (ОПУ), который расположен на территории колхоза Низами Уджарского района Азербайджанской ССР. Территория колхоза расположена в шлейфовой зоне конуса выноса р. Геокчай. ОПУ находится в межгрядной депрессии, уклон местности  $i=0,001$ .

Указанные почвы солончаковые, тяжело-глинистые с содержанием 57—78% физической глины, они имеют крайне неблагоприятные водно-физические свойства. Коэффициент впитывания подобных почв колеблется от 0,03 до 0,08 мм/ч.

Подобные водно-физические свойства препятствуют проведению промывки только водой, а в некоторых случаях эта попытка приводила к реставрации засоления в результате процесса диффузии солей.

Водные растворы этого полимера, применяемые в сельском хозяйстве, содержат 6% ВО. Почва, обработанная подобным раствором, приобретает очень прочную структуру, но плохие водно-физические свойства.

В связи с этим для обработки почвы были приготовлены водные растворы полимера разных концентраций: 0,12; 0,18; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 6,0%.

Изучая фильтрационные свойства почв, обработанных различными растворами полимера, выяснен диапазон благоприятных водно-физических свойств.

Последующее изучение фильтрационных способностей почв, обработанных водными растворами полимера, показало увеличение коэффициента фильтрации в 2,0—2,5 раза.

Графическое изображение полученных результатов наглядно показывает характер измерения водно-физических свойств почв в зависимости



сти от концентрации водного раствора структурообразователя, которым обработана почва (рисунок).

Кривая, изображенная на рисунке, выражается зависимостью:

$$T = a\mu^{-k} \quad (1)$$

где  $T$  — период фильтрации (мин),

$\mu$  — концентрация раствора, которым обработана почва (%),  
 $a$  и  $k$  — параметры кривой.

Из графика видно, что при концентрации полимера  $0,12 \div 0,24$  происходит ухудшение фильтрационной способности почв, а при концентрации  $0,24 \div 1,2\%$  фильтрация резко возрастает. Дальнейшее увеличение концентрации способствует ухудшению водно-физических свойств и ведет к практическому прекращению фильтрации воды при обработке почвы 6%-ным раствором полимера ВО.

Этот характер изменения водно-физических свойств дал возможность найти функциональную зависимость изменения фильтрационной способности от концентрации полимера и определить оптимальную дозу, которой необходимо обработать почву с тяжелым механическим составом (рисунок).

В результате выяснилось, что для получения оптимальных водно-физических свойств необходимо почву перед промывкой обрабатывать водным раствором полимера ВО с концентрацией  $\mu = 0,264\%$ .

#### Выводы

1. Применение жидкого полимера ВО в мелиорации почв тяжелого механического состава способствует улучшению водно-физических свойств почв.
2. Применяя различные дозы жидкого полимера можно создать в почве оптимальные водно-физические свойства, которые дадут возможность сократить сроки проведения промывок тяжелых почв в 2—3 раза.
3. Найдена математическая зависимость для определения дозы водного раствора полимера, создающей в почве благоприятные водно-физические свойства.

#### Литература

1. Абдуев М. Р. Ускоренная мелиорация глинистых солончаков Азербайджана. Баку: Элм 1977. 2. Буйлов В. В., Личко Р. П., Болонкин М. П. Почвоведение, № 7, 1979. 3. Бондарев А. Г., Почвоведение, № 7, 1965. 4. Волобуев В. Р. ДАН Азерб. ССР, № 12, 1951. 5. Колясов Ф. Е., Вершинин П. В. Методы искусственного образования структуры почв: Изд. АСХН СССР, 1935. 6. Качинский Н. А., Месолова А. И., Теймурова Л. Х. Почвоведение, № 12, 1967. 7. Теймуров К. П. Хлопководство, № 4, 1964.

Институт почвоведения и агрохимии  
АН Азерб. ССР

Поступило 20. IX 1981

Н. Р. Сүлейманов

АҒЫР КИЛЛИ ШОРАНЛАРЫН СУ-ФИЗИКИ ХАССЭЛЭРИНИ  
ЈАХШЫЛАШДЫРМАҒ МӘГСӘДИЛӘ ВЕРИЛӘН ПОЛИМЕРИН МИГДАРЫНЫН  
ТӘҖИНОЛУНМА МЕТОДУ БАҒЫНДА

Мәғаләмә ВО мәје полимери илә апарылмыш илкин тәҗрүбәләрин нәтиҗәләри кес-  
тәрилмишди. Полимерин ағыр механики тәркибли торпағларын су-физики хассәләри-

нин дәјишмәсинә тәҗирә өјрәнилмиш, мәјенин ғатылығын торпағын сусыздырма ға-  
билијјәтинә тәҗирәни характеризә едән функционал асылылыг танылмышдыр:

N. R. Suleimanov

#### THE METHOD OF DETERMINATION OF POLYMERS DOSE TO IMPROVEMENT OF WATER-PHYSICAL PROPERTIES OF DIFFICULT CLAY SALINES

The carrying out the first results of the experiment with VO liquid polymers is shown in the article. The difficult mechanical structure of soil water-physical property changes the influence of polymers. The functional dependence of changing filtration capacity of concentration polymers is found.



УДК 417.3

МӘТНШҮНАСЛЫГ

РУГИЛӘ ГӘНБӘР ГЫЗЫ

# МҮЧИРӘДДИН БЕЈЛӘГАНИ «ДИВАН»ЫНЫН ЕЛМИ-ТӘНГИДИ НӘШРИ НАГГЫНДА

(Азәрбајчан ССР ЕА академики Мәммәд Чәфәр Чәфәров тәғдим етмишдир)

Мүчирәддин Бејләгани классик Азәрбајчан әдәбијјатынын көркәм-ли сымаларындан биридир. Мәдәнијјетимизин Ренессанс дәврү сајылан XII јүзилликдә, Хагани вә Низаминин Азәрбајчан әдәби фикрини, сәнәт вә дүшүнчә әләмини јүксәк зирвәләрә галдырдығы дәврдә јашајыб-јаратмыш Мүчирәддин Бејләгани әдәбијјат тарихимиздә бөјүк ирс го-јуб кетмишдир. Шаирин һәјат вә јарадычылығы һәлә лап гәдимдән башлајараг тәзкирәчи вә тарихчиләрин диггәтини чәлб етмиш вә Азәр-бајчан әдәби мәктәбинин Хагани, Низами вә башга дүһаларынын әсәр-ләри илә јанашы сунун ше'рләринин дә үзү көчүрүләрәк јайылмаға вә севилмәјә башламышдыр.

Мүчирәддин Бејләганинин әдәби вә ичтимай фәалијјәти мөјјән вахтларда Азәрбајчан, рус вә Европа әдәбијјатшүнаслығы вә шәрг-шүнаслығында да бу вә ја дикәр бахымдан тәдгигат объектинә чеврил-мишдир. Бу сәһәдә јазылмыш тәгдирәләјиг иш мәшһур совет шәрг-шүнас алыми, ССР ЕА мүхбир үзвү Ј. Е. Бертелсин «Низами вә Фүзу-ли» монографијасында шаирә һәср етдији кичик очеркдир [3, 65—67].

Сон илләрдә Мүчирәддин Бејләганинин тәрчүмәји-һалы вә әдәби ирсинин өјрәнилмәси сәһәсиндә јени мәрһәлә башланмышдыр. Һәммин мәрһәләни Чәнуби Азәрбајчан алыми, филолокија елмләри доктору Бавил Мәһәммәд-Абади өз елми фәалијјәти илә ачмышдыр. Узун ахта-рышлар нәтичәсиндә Мәһәммәд-Абади Мүчирәддин Бејләганинин дүн-јанын мүхтәлиф өлкәләринин, о чүмләдән Иран, Түркијә вә Инкилтәрә-нин китабханаларында сахланылан «Диван»ын әлјазма нүсхәләрини, һәмчинин мөвчуд тәзкирә вә чүнкләрдә шаирин әсәрләриндән кәтирил-миш ше'рләри топлајыб, бир-бирилә тутушдуруб мүгајисәләр апармыш-дыр. Он ики әлјазма нүсхәси үзәриндә текстоложи арашдырма, тутуш-дырма вә мүгајисә әмәлијјаты апармыш алим Мүчирәддин Бејләгани «Диван»ынын камил елми-тәнгиди мәтнини һазырлајыб, 1978-чи илдә Тәбриздә нәшр етдирәрәк гүјмәтли бир һәдијјә кими мүтәхәссисләрин вә поезија һәмәскарларынын истифадәсинә вермишдир [6].

Үмуми һәчми 935 сәһифәдән ибарәт ики һиссәли һәммин «Диван» ашағыдакылардан ибарәтдир:

1. Он сөз. Мүәллифи Тәбриз Университетинин профессору Мәнучеһр Мүртәзәви [6, 1—3].
2. Мәһәммәд-Абадинин Мүчирәддин Бејләганинин һәјат вә јара-дычылығы һаггында јаздығы очерк [6, 1—75].
3. «Диван»ын елми-тәнгиди мәтнинин тәртиб принципләри вә исти-фадә едилмиш әлјазма нүсхәләринин тәсвири [6, 76—88].

4. Истифадә едилмиш әлјазма нүсхәләриндән сәккизинин биринчи сәһифәләринин факсимиләләри [6, 89—96].

5. Истифадә едилмиш мәнбә вә мә'хәзләрин индекси [5, 97—98]. «Диван»да дәрч олуиуш ше'рләрин индекси вә онларын бәһрләринин схемләри (тәф'иләләри) [6, 100—146].

Китабын икинчи һиссәси Мүчирәддин Бејләгани «Диван»ынын ел-ми-тәнгиди мәтниндән [6, 1—415], шәрһләр, изаһлар, лүғәт вә мүфәссәл индекسدән («Диван»да олан әјәләр, һәдисләр, әрәб дилиндә олан бејт-ләр, әрби-мәсәлләр, аталар сөзләри, шәхс вә чографи адлар вә с.) [6, 617—671] ибарәтдир.

Мәһәммәд-Абадинин тәртиб етдији «Диван»да Мүчирәддин Бејләга-нинин гәсидәләри (3059 бејт), гәзәлләри (504 бејт), шикајәтнамәләри (448 бејт), гитәләри (620 бејт), мүәммалары (255 бејт), тәркибәндләри (235 бејт) вә рүбаиләри (298 бејт) дәрч едилмишдир.

Алимин истифадә етдији әлјазмаларда тәсадүф олуиан бүтүн нүсхә фәргләри һәр сәһифәнин сонунда әсас мәтидән сонра кедир.

Мә'лумдур ки, дил, үслуб хүсусијјәтләри, ше'рдә ишләнән елми, дини терминләр, һәддиндән артыг мүрәккәб образлар системи, әрәб әлифбасынын хүсусијјәтләри вә нәһәјәт, дилин сәккиз јүз ил әрзиндә хејли дәјишмиш лүғәт тәркиби XII әср фарсдилли поезијасыны ахлама-ғы, дүјамағы вә мәнимсәмәји мүасир охучулар үчүн чәтинләшдирир. Бу чәтинликләри арадан галдырмаг үчүн Мәһәммәд-Абади бир чох классик вә мүасир лүғәтләрдән, һәмчинин елми әдәбијјатдан истифадә едәрәк Мүчирәддин Бејләгани «Диван»ынын чәтин баша дүшүлән, дүјүнлү бејт вә ифадәләринә әтрафлы шәрһләр, изаһлар вермиш вә беләликлә дә, мүасир охучулар тәрәфиндән шаирин әсәрләринин дүзкүн дәрки вә тәдгиги үчүн кениш ймканлар јаратмышдыр.

Гејд етмәк лазымдыр ки, Мәһәммәд-Абадинин кәркин әмәк вә бөјүк зәһмәт нәтичәсиндә һазырладығы елми-тәнгиди нәшри Мүчирәддин Бејләгани әдәби ирсинин бәрпасы мәсәләсини һеч дә сонадәк һәлл едә билмәмишдир. Бу исә тәбини һалдыр. Мүчирәддин Бејләгани әсәрләри-нин автографы вә шаирин өз дәврүндә јайылмыш камил вә мө'тәбәр әлјазма нүсхәләри елм әләминә мә'лум олмајынча, шүбһәсиз, мәтншү-наслыг елми һәммин мәсәләнин һәллиндә ләнкијәчәкдир.

Мәһәммәд-Абадинин истифадә етдији әлјазмаларынын ән гәдими вә камил XVII әсрин орталарында јазылмыш вә һазырда Истамбулда Лала Исмаилин китабханасында сахланылан чүнкдур. Он ики шаирин сечилмиш әсәрләринин әһатә едән һәммин чүнкә Мүчирәддин Бејләганинин 4800 бејти салынмышдыр. Тәртибчи истифадә етдији галан он бир мә'-хәздән исә чәми 660 бејт топлајараг шаирин 5460 бејтдән ибарәт сечил-миш әсәрләринин елми-тәнгиди мәтнини һазырламаға мүвәффәг олмуш-дур.

Мүчирәддин Бејләгани чох сәмәрәли ишләјән, әлли илдән артыг јазыб-јарадан Азәрбајчан сәнәткарларындандыр. Шаирин мүасирләрин-дән Хагани Ширвани вә Низами Кәнчәвинин бизә кәлиб чатмыш әсәр-ләринин һәчми отуз мин бејт, Әсирәддин Әхсикәтинин—ијирми мин бејт олдуғуну вә бу нисби мүгајисәнин нәзәрә алараг, чүр'әтлә демәк олар ки, Мүчирәддин Бејләгани «Диван»ынын һәчми дә ијирми миндән ар-тыг олмушдур. Лакин онун әсәрләринин әксәријјәти Хаганинин бир чох гәсидә вә гәзәлләри, Низаминин ијирми мин бејтлик лирик диваны кими ја 800 иллик мүхтәлиф һәјат кәшмәкәшләринин гурбаны олараг кәлиб бизә чатмамыш, ја да каталоглары һазырланмамыш дүја китабхана-ларынын һансындаса там шәкилдә сахланылыр.



Мүчирәддин Бејләгани «Диван»ынын һаггында данышдығымыз Тәбриз чапында башга бөјүк бир һагислик дә вардыр. Бу һагислик шүбһәсиз, тәртибчинин истифадә етдији әлјазмаларынын өзүндән ирәли кәлмишдир.

Мәлумдур ки, классик Шәрг әдәбијјаты, о чүмләдән Азәрбајҗан әдәбијјаты мәтиләринин әсәријјати әсрләр боју мұхтәлиф чешидли тәһриф вә дәјишилмәләрә, һәмчинин артырма вә әскилтмәләрә мәруз галмыш, өз тохунулмазлыгыны горујуб сахлаја билмәмишдир. Катибләрин мұхтәлиф сәбәбләрә кәрә јол вердији тәһриф вә дәјишдирмәләриндән Низами, Фүзули кими даһи шаирләр һәлә сағлыгларында шикәјәтләниш, оиларын кәјә учалтдыглары шәр вә нәзм гәсрләринин бүһәврәсини өз күлүнкәбәнзәр гәләмләри илә учуран кәмсавад катиб вә мирзәләрә ләһәт охумушлар. Мүчирәддин Бејләганинин әсәрләри дә, јәгин ки, һәлә өз дөврүндә һәмни кәмсавад мирзәләр тәрәфиндән тәһриф едилмәјә башламыш вә сонракы јүзилликләрдә даһа бөјүк бәһранә уграмышдыр.

Мәһәммәд-Абадинин истифадә етдији нүсхәләрин ән гәдимни вә кәмили, јухарыда гејд едилдији кими, XVII әсрә анд олдуғундан, тәбиндир ки, мәтнә беш јүз ил әрзиндә күлли мигдарда тәһриф вә јанлышлыглар сирајәт етмишдир. Әлбәттә, наһир оилары тәкбашына мәтндән кәнар едә билмәзди. Лакин бунула јанашы мәтндә бәзән елә тәһриф вә јанлышлыгларә тәсадүф олунур ки, оилары јалһыз тәртибчинин дигәтсизлијинә анд етмәк олар. Мәсәлән, Мүчирәддин Бејләгани:

Һәр шәб ке сәр бечибә-тәһјјор фору бәрәм

Сетре-фәләк бәдәрромо әз Седре бекзәрәм

— бејтилә башланан автопортрет мәзмунлу көзәл фәлсәфи гәсидәсиндә [6,139] биографик характер дашыјан бир бејт вардыр. Һәмни бејт кәстәрилән нәшрдә һеч бир гејд верилмәдән ашағыдакы шәкилдә кетмишдир:

Тәфләне-тәб'е мән бәсәфәт торкчәһрәнд

Вин торфетәр ке әрмәнији буд мәдәрәм

Мәним тәб'имни ушаглары сифәтчә түркүзлүдүрләр

Вә бу чох гәрибәдир, чүнки мәним аһам бир ермәни иди.

Бу бејтә диггәтлә нәзәр салыһарса, онда истәр грамматик, истәрсә дә бәдинилик баһымдан икки бөјүк сәһвә јол верилдијини тә'јин етмәк олар. Чүмләнни гурулушуна кәрә бејтин икинчи мисрасында «әрмәнији» шәклини алмыш «әрмәни» исми мәтндә «и» (јаје-вәһдәт) тәләб етмир. Чүнки контекстә «мәним аһам бир ермәни иди» дејил, «мәним аһам ермәни иди» ујғун кәлир.

Бејтин һәм мә'на, һәм дә бәдинилик баһымдан позулмасы исә даһа чох бағышланылмаз һалдыр. Мәлумдур ки, классик Шәрг әдәбијјатында «түрк» мәфһуму өз етник аһлајышы вә бир чох башга мә'налары илә јанашы «ағлыг», «көзәллик», «парлаглыг» символу кими дә ишләнишдир. Буна Хагани, Низами вә б. шаирләрин әсәрләриндән истәнилән гәдәр мисал кәтирмәк олар. Мүчирәддинин өзү дә «түрк» кәлмәсини «ағлыг», «көзәллик», «парлаглыг» рәмзи кими ишләтмишдир.

«Ермәни» мәфһуму исә классик әдәбијјатда һеч бир вахт «ғаралыг», «чиркинлик» символуна чеврилмәмиш вә «түрк» сөзү илә бирликдә поетик тәзад јаратмамышдыр. «Түрк» сөзүнүн тәзады классик шәрдә «һәбәш» олмушдур. Чүнки Хаганинин, Низаминин, Мүчирәддинин јашадығы дөврдә һәбәшистандан кәтирилмиш ғара гул вә кәһизләр Јаһын вә Орта Шәргдә кениш јайылмышды. «Һәбәшли», «Һәбәшистан» кәлмәләри классик шәрдә «ағлыг», «көзәллик», «парлаглыг», «күнәш»,

«күндүз» вә с. мәфһумларын синоними олан «түрк» сөзүнүн мұғабиллиндә «чиркинлик», «ғаралыг», «ғаранлыг», «кәчә» мәфһумларынын синоними олмушдур. Бурада Низаминин «Једди көзәл» поемасындакы бир бејти јада салмаг јеринә дүшәр:

Торкијәмра дәр ин һәбәш нәхәрәнд  
Лачәрәм дугбајә-хош нәхәрәнд [7,46]

Мүчирәддин Бејләганидән кәтирдијимиз бејтдә шаир белә бир фикри ифадә едир: Мәним тәб'имни ушаглары, јә'ни мәним тәб'имни јаратдығы шәрләр түрк (азәрбајҗанлы) аһам кими көзәл, ағүзлүдүрләр, баһмајараг ки, аһам һәбәшли ғара кәһиз олмушдур.

Мәшһур Иран аһимләриндән Бәдһијззаман Форузанфәрин «Сүхән вә сүхәнвәран» [4,721] вә Зәбиһуллаһ Сәфанын «Тарихе-әдәбијјат дәр Иран» әсәриндә [5,579] һәмни гәсидәнни кәстәрилән бејти доғру олараг ашағыдакы вариантда кетмишдир:

Тәфләне-тәб'е мән бәсәфәт торкчәһрәнд

Вин торфетәр ке әз һәбәш буд мәдәрәм

Мәним тәб'имни ушаглары сифәтчә түркүзлүдүрләр

Вә бу чох гәрибәдир, чүнки мәним аһам һәбәшли иди.

Мәһәммәд-Абади Б. Форузанфәрин вә З. Сәфанын әсәрләриндә бејтин һәр чәһәтдән дүзкүн олан варианты илә таңыш олмасына баһмајараг, нәдәнсә ону мәтнә даһил етмәмиш вә һәтта нүсхә фәрги кими белә вермәмишдир. Аһим бејтин јанлыш вариантына әсәсланаһарә шаһрин аһасынын ермәни олдуғуну гејд етмишдир [6,3].

Кәстәрилән нөгсанларла јанашы, е'тираф етмәк лаһымдыр ки, Мүчирәддин Бејләгани «Диван»ынын Тәбриз чапы шаһрин һәјаты, әдәби вә иһтиман фәалијјәтинин дәриндән өјрәнмәк, марксизм-ленинизм методолокијасы әсасында тәдғиг етмәк үчүн олдуғча гијмәтли вә саһбаллы мә'хәзди. «Диван»ын һәмни елми-тәғғиди нәшри әсасында шаһрин әсәрләринин Азәрбајҗан вә рус дилләринә тәрчүмәси мәсәләси әдәбијјат-шүһаслығымыз ғаршысында дуран вәзифәләрдән биридир.

## Әдәбијјат

1. «Азәрбајҗан әдәбијјаты тарихи», үч чилдә, I чилд, Азәрб. ССР ЕА Нәшријјаты, Баки, 1960. 2. Әлијев Рүстәм. Низаминин өз халғына мәһәббәти. — «Әдәбијјат вә иһчәсәһәт» гәз., 29 мај 1981, № 22. 3. Бертельс Е. Ә. Избранные труды. Низами и Фүзули. — М., Изд. вост. лит-ры, 1962. 4. Б. Форузанфәр. Сүхән вә сүхәнвәран. Тһһран, 1339. 5. З. Сәфа. Тарихе-әдәбијјат дәр Иран. Чәлдә-доһвом, чаһе-сәваһом, Тһһран, 1339. 6. М. Бејләгани. Диван. Тәбриз, 1358. 7. Н. Кәһчәви. Һәфт пејкәр. Тһһран, чаһе-Вәһиде Дәсткерди.

Низами адына Халғлар Достлугу орденли  
Әдәбијјат Институту

Аһынмышдыр  
11.10.82

Ругия Ғанбар кызы

## О НАУЧНО-КРИТИЧЕСКОМ ИЗДАНИИ ДИВАНА МУДЖИРЕДДИНА БЕЙЛАКАНИ

Муджиреддин Бейлакани — один из видных представителей классической азербайджанской литературы. Несмотря на то, что жизнь и творчество поэта, жившего и творившего в XII столетии являлись объектом изучения азербайджанских, русских, европейских литературоведов и востоковедов, до последнего времени полное собрание его сочинений издавано не было.



Мухаммед Абаде — ученый из Южного Азербайджана в 1978 г. подготовил и издал в Тебризе научно-критический текст Дивана Муджиреддина Бейлагани. Предметом настоящей статьи является исследование принципов составления этого издания. Автор высказывает критическое отношение по поводу некоторых положений, выдвинутых составителем.

Rugiya Ganbar kyzy

# ABOUT THE SCIENTIFIC-CRITICAL EDITION OF THE DIVAN OF MUDJIRADDIN BEILAGANI

Mudjiraddin Bellagani is one of the prominent representatives of the Azerbaijan literature. In spite of the fact, that the life and creation of the poet, who lived and worked in the XIIIth century, the renaissance period of our culture, have always been the subject of the study of Azerbaijan, Russian and European orientalists, his complete works have not been edited until recently. The scientist from the South Azerbaijan Muhammad Abadi edited the scientific-critical text of the divan of Beilagani in 1978 in Tabriz. The principles of the compiling of this edition are the subject of this article. The author expresses some critical attitude concerning certain aspects of the compiling of the text.

АЗЕРБАЙДЖАН ССР ЕЛМЛЭР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘРҮЗЭЛЭРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XL ЧИЛД

№ 7

1984

УДК 07.00.06.

Б. И. ИБРАГИМОВ

АРХЕОЛОГИЯ

## НОВОВЫЯВЛЕННЫЙ МАВЗОЛЕЙ XII в. В ХАРАБА-ГИЛАНЕ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР З. М. Буниятовым)

Шемаха, Барда, Гянджа, Тебриз и Нахичевань — столицы самостоятельных феодальных государств, возникших на территории Азербайджана, были центрами, где зодчество достигло высокого уровня. Уже в X—XII вв. в этих центрах началось формирование самостоятельных архитектурных школ, со своими характерными чертами и специфическими особенностями. Одним из таких центров был город Нахичевань, ставший в XII в. столицей государства Азербайджанских Атабеков. Основоположителем нахичеванской архитектурной школы был Аджам ибн Абу Бакр ан-Нахичевани ([2], с. 193—194), которого можно считать не только основоположником этой школы, но и зодчим, определившим пути развития архитектуры башенных мавзолеев Азербайджана.

Зодчие нахичеванской архитектурной школы были известны своими сооружениями далеко за пределами родного города. Примерами могут служить возведенные ими мавзолей в Барде и минарет в сел. Нижняя Аза ([1], с. 288), позже разрушенный, а также сооружения Мараги ([1] с. 34).

Вершиной достижения этой школы являются мавзолей Юсуфа ибн Кусайра (13. IX—II. X 1162), мавзолей Мумины-Хатун (24. III—22. IV. 1186 г.) и комплекс культурных сооружений в Нахичевани (XII в.), разрушенный в середине XIX в. ([4], с. 35).

Нахичеванская школа славилась кирпичными сооружениями. В строительстве использовался кирпич из местной глины, принимавшей при обжиге различные оттенки (желтый, красноватый, розовый, зеленоватый). Он был квадратным, стандартных размеров — с небольшими отклонениями — 20x20x5 см.

При возведении сводов употреблялся тот же кирпич. Для отделки граней здания использовались известковые блоки, украшавшиеся замечательным геометрическим орнаментом, для этого употребляли мелкие декоративные кирпичики разных форм и размеров, поливные плитки, помещавшиеся в центре композиций.

Одним из высших творений нахичеванской архитектурной школы можно считать восьмигранный мавзолей в Хараба-Гилане (близ г. Орлубада), раскопки которого ведутся с 1980 г. Развалины его были описаны С. В. Тер-Аветисяном ([6] с. 173) и В. М. Сысоевым ([5] с. 207).

Мавзолей находится на южном пологом склоне холма, на котором располагался один из кварталов средневекового города. Раскопки показали, что он относится к центрально-купольным сооружениям башенного типа и состоит из двух частей: верхняя часть мавзолея восьмигранная и сложена из квадратных обожженных кирпичей, а нижняя — скелет мавзолея, снаружи квадратная, внутри — восьмигранная в пла-



не. Верхняя часть сохранилась только на одном участке юго-западной стены, вместе с облицовкой на высоте 0,8 м. Толщина стены—1,5 м. плюс 0,12 м облицовки, т. е. 1,62 м. Длина граней восьмиугольника — 4,72—4,78 м. Расстояние между противоположными углами внутри 9 м.

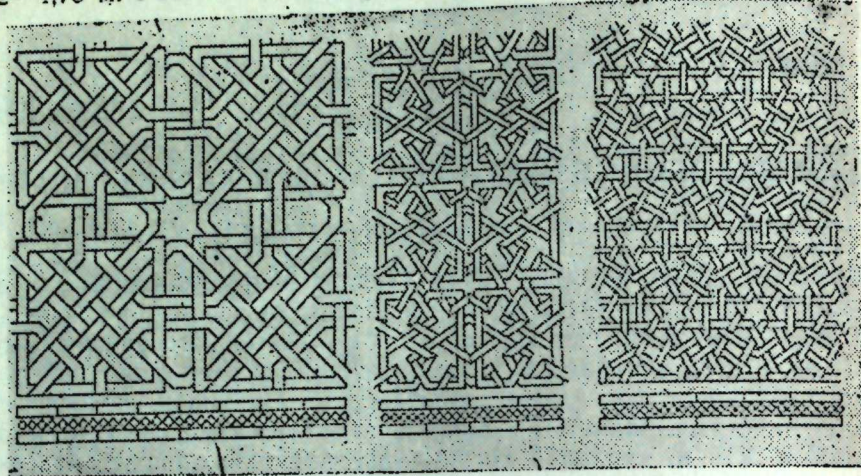


Рис. 1. Хараба-Гилан. Геометрические орнаменты мавзолея № 1. (IV квартал)

Судя по сохранившейся части облицовки и найденным вокруг блока можно сказать, что грани мавзолея были покрыты сплошным ковром геометрических орнаментов, составленным из обожженных кирпичиков (рис. 1). Каждая грань мавзолея облицована блоками с различным орнаментом. В центре орнаментов расположены восьми-шести-четырех угольники и т. п. Можно выделить два типа композиций. В первой узоры каждого блока точно повторяются, во второй — четыре блока расположены симметрично и эти блоки дают полный рисунок лишь при рассмотрении их в совокупности. Точно также составлены орнаменты граней мавзолея Юсуфа ибн Кусайра ([1], с. 232).

В результате переплетения основных фигур получается множество второстепенных как, например, звезды, ромбы, пятиугольники, трапеции и т. п. Шестиугольный орнамент мавзолеев Юсуфа ибн Кусайра и Хараба-Гилана встречается также в архитектурных сооружениях Средней Азии (рис. 2), однако нахичеванские зодчие изготовляли этот орнамент в виде блоков, в то время как среднеазиатские отливались из гжи или вырезались на ней.

Орнаменты сохранившейся облицовки грани мавзолея в Хараба-Гилане точно повторяют орнаменты северной грани мавзолея Юсуфа ибн Кусайра ([3], с. 80), различаясь лишь по величине блоков. Блоки мавзолея в Хараба-Гилане в три раза меньше, снизу окаймлены двумя параллельными поясами кирпичей и пространство между поясами заполнено поставленными на угол мелкими квадратными кирпичиками (4, 6x4, 6x11,5 см). Переход от плоской грани к углу оформлен таким же образом, как в мавзолее Мумины-Хатун, но дополнен еще изящными полукруглыми колоннами (рис. 3). Можно предположить, что грани мавзолея завершались декорированными сталактитами-арками, аналогичными аркам Мумины-Хатун.

Входной проем мавзолея в Хараба-Гилане ориентирован на юг. По обеим сторонам входного проема находятся полукруглые колонны подобные таким же в углах граней мавзолея. По своему плану и оформле-

нию судя по сохранившейся части он аналогичен входным проемам упомянутых мавзолеев в Нахичевани (рис. 3).

Таким образом, мавзолей, открытый в Хараба-Гилане, обнаруживает

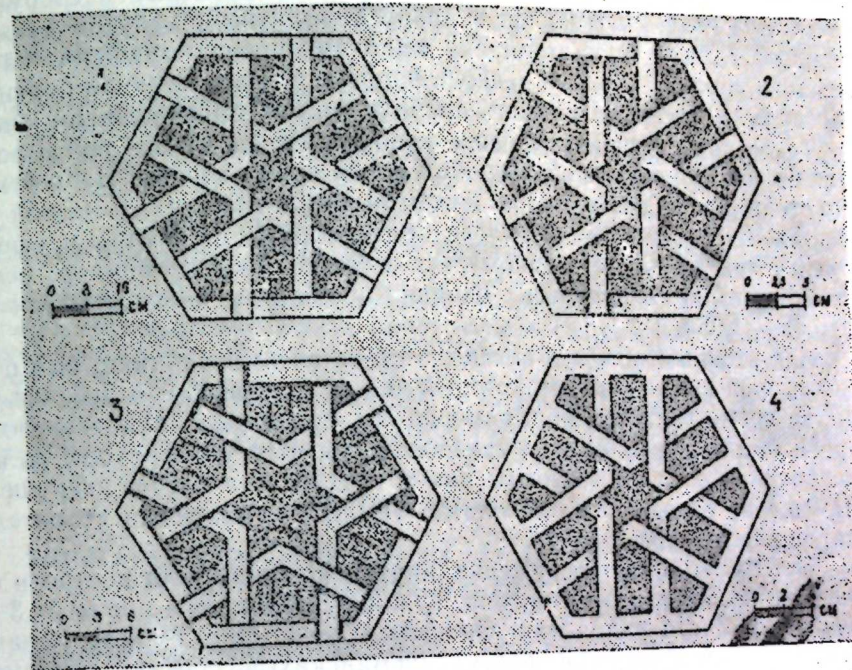


Рис. 2. 1—Нахичевань (мавзолей Юсуфа ибн Кусайра, 1162); 2—Афрасиаб (цитируется); 3—Хараба-Гилан (мавзолей XII в.); 4—Киргизия

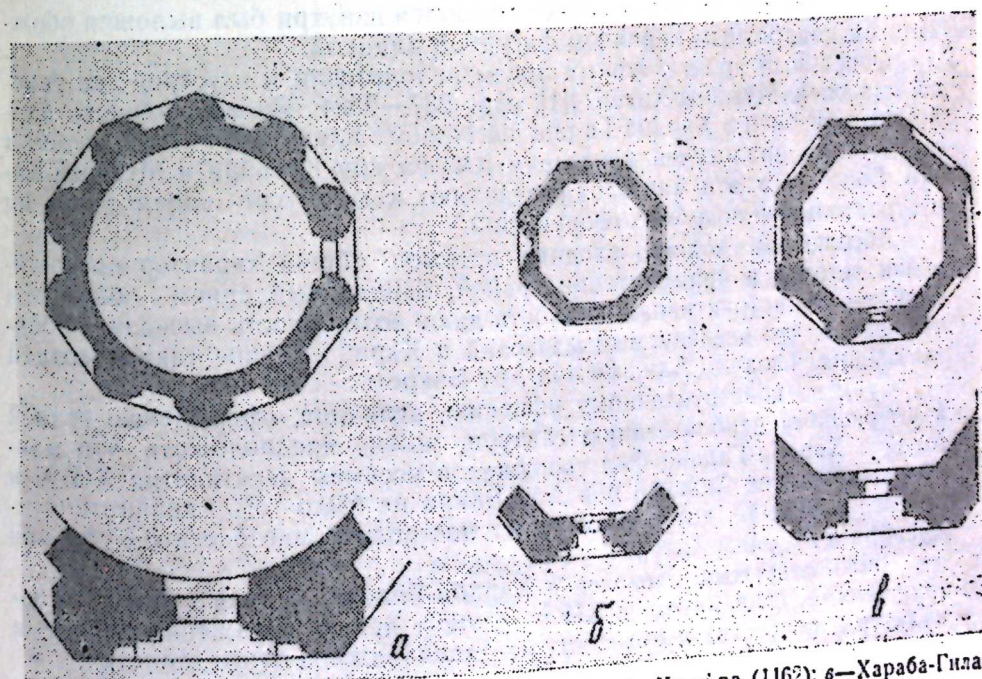


Рис. 3. а—Мумины-Хатун (1186 г.); б—Юсуф ибн Кусайра (1162); в—Хараба-Гилан. (Мавзолей №1.)



черты удивительного сходства с мавзолеями Юсуфа ибн Кусайра и Мумины-Хатун. Небольшие отличия не меняют этого впечатления.

Сходство мавзолеев наблюдается и в устройстве склепов. Как отмечалось, склеп мавзолея в Хараба-Гилане надземный и сооружен из местного камня, снаружи он в плане квадратный, изнутри — восьмигранный. Внутри восьмигранника было выстроено помещение из обожженного кирпича в форме равностороннего креста, имеющего сводчатые перекрытия, которые смыкаясь аркой в центре, образовывали купол.

Такое архитектурное решение использовалось также при строительстве башен юго-восточной оборонительной стены города. Надо отметить, что стены склепа возведены на скале, толщина которых с высотой уменьшается. Входной проем в склепе ориентирован на восток и оформлен стрельчатой аркой. К входному ведет узкий проход-коридор, перекрытие которого не сохранилось. Ширина прохода — 1,4 м, длина — 3 м, а высота — 1,05 м.

Над входным проемом склепа, в стене восьмигранника, был обнаружен второй входной проем, который вел во второй ярус мавзолея. Видимо, во время реставрации, примерно в 1 половине XIII в. этот входной проем был заложен. Можно предположить, что реставраторы по каким-то причинам не стали возводить новый свод склепа вместо разрушенного. Помещение склепа было заполнено землей и остатками строительного материала до уровня свода.

Четырехугольное сооружение, внутри которого был построен склеп, несомненно, играло роль цоколя. Южная сторона его равна 18,3 м, северная — 17,3 м, а восточная и западная — по 17,55 м. Между стенами цоколя и склепа обнаружен ряд мусульманских погребений, не имевших никаких наземных признаков. Перед южным входным проемом мавзолея обнаружено погребение, имеющее ступенчатую надземную часть с геометрическим орнаментом и фрагментами арабских надписей.

Раскопки показали, что склеп мавзолея изнутри был выложен обожженным квадратным кирпичом фигурной кладкой.

Описанный архитектурный прием использован и в устройстве склепа мавзолея Мумины-Хатун ([1], стр. 237—238). Из изложенного видно, что мавзолей в Хараба-Гилане по общему плану, характеру декора и его деталям аналогичен мавзолеям Юсуфа ибн Кусайра и Мумины-Хатун. Более того, эти мавзолеи составляют как бы одну линию развития в строительстве подобных сооружений.

Абсолютное сходство входных проемов, общий характер профилировки деталей и орнаментации граней, одинаковый прием облицовки блоками и конструктивная общность дают возможность высказать предположение, что исследуемый мавзолей в Хараба-Гилане также создан выдающимся зодчим Аджами ибн Абу Бакром.

Судя по конструктивному решению, величине, оформлению граней и умеренному использованию глазури, можно предположить, что мавзолей в Хараба-Гилане был сооружен в восьмом десятилетии XII в. и что в творчестве Аджами ибн Абу Бакра не было того двадцатипятилетнего перерыва, который отделяет построение мавзолеев Юсуфа ибн Кусайра и Мумины-Хатун.

Вновь открытый мавзолей в Хараба-Гилане, наряду с другими сооружениями, созданными в XII в., служит ярким выражением подъема культуры, искусства и архитектуры Азербайджана этого столетия.

1. Архитектура Азербайджана эпохи Низами. М.—Баку. «Гос. архитектур.-изд.», 1947.
2. Бунятов З. М. Государство Атабеков Азербайджана (1136—1225). Баку: Элм, 1978.
3. Мамедзаде К. И. Строительное искусство Азербайджана. Баку: Элм, 1978.
4. Саламзаде А. В., Мамедзаде К. И. Памятники на Араксе. Баку: Элм, 1979.
5. Сысоев В. М. Нахичевань на Араксе и древности Нахичеванской АССР. Изв. Азкомстариса, 1929, вып. 4, тетр. 2.
6. Тер-Аветисян С. В. К археологическому обследованию Хараба-Гилана. Изв. КИАИ, т. VI, 1927.

Сектор археологии и этнографии  
АН Азерб. ССР

Поступило 12. IV 1982

Б. И. Ибрагимов

## ХАРАБА-КИЛАНДА ЈЕНИ АШКАР ЕДИЛМИШ XII ЭСР ТУРБЭСИ

Мәгаләдә орта эсрләр шәһəri Хараба-Киланда газынты заманы ашкар едилмиш түрбәнин өйрәнилмәсиндән бәһс олунур. Ашкар едилмиш түрбә коркәмли мө'мар Әдәм ибн Әбубәкр тәрәфиндән тикилмиш мәшһур Мө'мүнә хатун вә Јусиф ибн Күсејр түрбәләри илә мугајисә едилир.

Мә'лум олмушдур ки, Хараба-Киландакы түрбә XII эсрин 80-чи илләриндә тикилмишдир. Бунунла да бу түрбә илә Јусиф ибн Күсејр вә Мө'мүнә хатун түрбәләринин тикилмәси арасында 25 иллик фәсиләнин олмадығы сүбүт едилмишдир.

B. I. Ibragimov

## THE MAUSOLEUM DATING FROM THE 12 CENTURY FOUND IN KHARABA-GILAN

By the excavations in the medieval town of Kharaba-Gilan the mausoleum dating from the 12 century, which was probably built by the famous architect Adjami ibn Abu Bakr an-Nakhichevani, was found.



## МҮНДӘРИЧАТ

### Ријазийат

- Ј. Ә. Әлијев, Һ. Ф. Әлијев. Нејтрал тип гејри-хәтти дифференциал тәң-  
ликләр үчүн сәрһәд мәсәләләринин тәғриби һәлли һаггында 3
- В. Н. Филиппов. Һоломорф функцијалар фәзасында бирчынли олмајан бү-  
рүнмә тәңликләри системи һаггында 8
- И. Р. Садыгов. Дәјишән галынылыгы гејри-хәтти еластик материалдан һа-  
зырланмыш чевик јатыг таванларын контурунун гејри-хәтти деформасијасыны һә-  
зәрә алмагла  $EhM$ -дә һесаблама үсулу һаггында 12

### Механика

- М. Х. Илјасов, Т. А. Нәсибов, Б. Р. Нуријев. Маје илә долдурул-  
муш гејри-хәтти еластик өртүклә узунуна далгаларын јайылмасы 17

### Јарымкечиричиләр физикасы

- Р. Ә. Әлијев, Һ. Д. һүсејнов, Р. М. Сәрдарлы.  $TiCa_{1-x}InSe_2$   
бәрк мәһлулар системиндә структур фаза кечиди 23
- Е. Ј. Салајев, В. К. Мәмәдов, Х. Д. Чәлилова, Е. И. Гурба-  
нова, Ә. Ш. Абдинов.  $p=pb_{0.82}Sn_{0.18}Te$  Епитаксиал монокристаллик  
тәбәғәләриндәки јукдашычыларын ИЈТ күчлү електрик саһәсинин тәсирин илә  
ғыздырылмасы 28
- Е. К. һүсејнов, Ф. Н. Газыјев, А. К. Мәмәдов, Е. Ј. Салајев,  
Һ. С. Сејидли.  $Cd_xHg_{1-x}$  монокристалларынын фотокечиричилијин узунуна  
магнит саһәсинин тәсирин 32
- М. Ј. Бәкиров, Н. А. Ухин, Ә. Г. Әбијев, Ш. М. Аббасов, Г. М. Га-  
сымов. Керманиумла силлициумун бәрк мәһлуларынын електрофизики хәссәлә-  
ринә электрон шүәләnmасынын тәсирин 35
- В. И. Иванов-Омски, Р. Б. Рүстәмөв, В. А. Смирнов, Ш. У. Јул-  
дашов. Әлагәли екситонларын истифадә едилмәсилә  $Cd_xHg_{1-x}Te$ -дә фотолү-  
минесенсијанын тәғйиги 39

### Бәрк чисмин физикасы

- Ә. М. Әлијев, А. П. Жернов, Һ. М. Пашајев. Магнетизмун микро-  
контакт функцијаларынын һесапланмасы 42

### Магнит һадисәләри физикасы

- Ј. М. Сејидов, М. Б. һүсејнов, Н. Г. һүсејнов. Атом һалларынын  
мультиплетлијини һәзәрә алмагла биквадрат мүбадиләли анизотроп ферромаг-  
нитин енержи спектри 45

### Астрофизика

- З. Ф. Сејидов. Фридман кәинатында сәрбәст һиссәчијин һәрәкәти 51

### Кристаллар кимјасы

- Һ. З. Әмәнов, Д. А. Иашвили, А. Н. Шнулин, Н. И. Гусева,  
А. А. Ахундова, М. А. Порај-Кошнитс. Ди-јод-бис-(2-аминопиридин)-синк  
бирләшмәсинин кристаллик вә молекулјар гурулушу һаггында 55

## Үзви кимја

- А. А. Дашдәмирова, Ф. М. Мәмәдов, Х. И. Садыгова,  
Ш. Һ. Гасымов, Т. Н. Шаһтахтински. Метилциклоһексен изомерләринин  
маје фазада һава оксикенинин иштиракы илә каталитик оксидләшдирилмәси 58
- В. С. Әлијев, Ә. Ә. Ахундов, Р. Г. Ризајев, В. С. һачы-Гасымов,  
Р. М. Талышински, Н. Ә. Бәширов. Изопентан-изоамилен гарышыгынын  
оксидләшмә илә һидрокенсизләшдирилмәси процесин үчүн чохмәрһәләли адиабатик  
реакторун оптималлашдырылмасы 61

### Јүксәк молекулјар бирләшмәләрин кимјасы

- Б. Ә. Мәмәдов, Ә. В. Рәһимов, С. А. һүсејнов, Б. И. Лногон-  
ки. Олигоһидрохинонун гәләви мүнһтдә оксидләшмәси заманы баш верән ра-  
дикал процессләр 65

### Ситокенетика

- Ф. Г. Мәчнунов, М. И. Мәмәдов. Бугда-човдар һибридләринин сито-  
кенетик тәғйиги 70

### Паразитолокија

- Г. Т. Фәрһадөв. Нахчыван МССР-дә илбизләр вә онларын протостронги-  
лидозун јайылмасында ролу 74

### Торпагларын мелиорасијасы

- Н. Р. Сүлејманов. Ағыр килли шоранларын су-физики хәссәләрини јәх-  
шылашдырмағ мәғсәдилә верилән полимерин мигдарынын тәјинолуна методу  
һаггында 78

### Мәтншүнаслыг

- Ругијјә Гәнбәр ғызы. Мүчирәддин Бејләгани «Диван»ынын елми-  
тәғйиди нәшри һаггында 82

### Археолокија

- Б. И. Ибраһимов. Хараба-Киланда јени ашкар едилмиш XII әср түрбәси 87



## СОДЕРЖАНИЕ

### Математика

- Я. Э. Алиев, Г. Ф. Алиев. О приближенном решении краевых задач для нелинейных дифференциальных уравнений нейтрального типа . . . . . 3
- В. Н. Филиппов. О неоднородных системах уравнений свертки в пространстве голоморфных функций . . . . . 8
- И. Р. Садыгов. Об одном методе расчета гибких пологих оболочек переменной толщины из нелинейно-упругого материала на ЭВМ с учетом нелинейной деформируемости контурных элементов . . . . . 12

### Механика

- М. Х. Ильясов, Т. А. Насибов, Б. Р. Нуриев. Распространение продольных волн по нелинейно-упругой оболочке, заполненной жидкостью . . . . . 17

### Физика полупроводников

- Р. А. Алиев, Г. Д. Гусейнов, Р. М. Сардарлы. Структурный фазовый переход в системе твердых растворов  $TiCa_xIn_{(1-x)}Se_2$  . . . . . 23
- Э. Ю. Салаев, В. К. Мамедов, Х. Д. Джалилова, Э. И. Курбанова, А. Ш. Абдинов. Разогрев носителей тока в эпитаксиальных пленках  $p = Pb_{0,82}Sn_{0,18}Te$  сильным электрическим полем СВЧ . . . . . 28
- Э. К. Гусейнов, Ф. Н. Казиев, А. К. Мамедов, Э. Ю. Салаев, Г. С. Сеидли. Влияние магнитного поля на фотопроводимость монокристаллов  $Cd_xHg_{1-x}Te$  . . . . . 32

### Физика полупроводников и диэлектриков

- М. Я. Бакиров, Н. А. Ухнин, А. К. Абиев, Ш. М. Аббасов, Г. М. Гасумов. Действие электронного облучения на электрофизические свойства твердых растворов германия с кремнием . . . . . 35
- В. И. Иванов-Омский, Р. Б. Рустамов, В. А. Смирнов, Ш. У. Юлдашев. Исследование фотолюминесценции в  $Cd_xHg_{1-x}Te$  с использованием связанных экситонов . . . . . 39

### Физика твердого тела

- А. М. Алиев, А. П. Жернов, Х. М. Пашаев. Расчет микроконтактных функций магния . . . . . 42

### Физика магнитных явлений

- Ю. М. Сеидов, М. Б. Гусейнов, Н. Г. Гусейнов. Энергетический спектр анизотропного ферромагнетика с учетом мультиплетности атомных состояний . . . . . 45

### Астрофизика

- З. Ф. Сеидов. Движение свободной частицы во фридмановском мире . . . . . 51

### Кристаллография

- А. З. Аманов, Д. А. Иашвили, А. Н. Шнулли, Н. И. Гусева, А. А. Ахундова, М. А. Порай-Кошиц. О кристаллической и молекулярной структуре ди-йода-бис-(2-аминопиридина)-цинка (II) . . . . . 55

## Органическая химия

- А. А. Дашдамирова, Ф. М. Мамедов, Х. И. Садыгова, Ш. Г. Касумов, Т. Н. Шахтактинский. Каталитическое окисление в жидкой фазе изомеров метилциклогексена кислородом воздуха . . . . . 58
- В. С. Алиев, А. А. Ахундов, Р. Г. Ризаев, В. С. Гаджи-Касумов, М. Р. Талышинский, Н. А. Баширов. Оптимизация адиабатического секционирования реактора в процессе окислительного дегидрирования изопентан-изоамиленовых смесей . . . . . 61

### Химия высокомолекулярных соединений

- Б. А. Мамедов, А. В. Рагимов, С. А. Гусейнов, Б. И. Лиогонький. Радикальные процессы, протекающие при окислении олигогидрохинона в щелочной среде . . . . . 65

### Цитогенетика

- Ф. К. Межлумов, М. И. Мамедов. Цитогенетическое исследование пшенично-ржаных гибридов . . . . . 70

### Паразитология

- К. Т. Фархадов. Моллюски и их роль в распространении протостронгилезов в Нахичеванской АССР . . . . . 74

### Мелиорация почв

- Н. Р. Сулейманов. О методе определения дозы внесения полимеров в целях улучшения водно-физических свойств трудномелиорируемых глинистых солончаков . . . . . 78

### Текстология

- Ругня Ганбар кызы. О научно-критическом издании дивана Муджиреддина Бейлакани . . . . . 82

### Археология

- Б. И. Ибрагимов. Нововыявленный мавзолей XII в. в Хараба-Гилане . . . . . 87



9. Текст статьи печатается на белой бумаге через два интервала на одной стороне листа стандартного размера, с полями с левой стороны (не более 28 строк на одной странице по 58—60 знаков в строке). В тексте нельзя делать рукописные вставки и вклейки.

Статьи, напечатанные на портативной машинке, не принимаются.

10. Текст статьи должен быть изложен кратко, тщательно отредактирован и подписан авторами в печать. В математических статьях желательно избегать доказательств теорем, лемм и т. п. При использовании в тексте сокращенных названий (кроме общепринятых) необходимо давать их расшифровку.

11. Математические и химические формулы и символы в тексте должны быть вписаны четко. Следует избегать громоздких обозначений, применяя, например, дробные показатели степени вместо радикалов, а также exp. Заномерованные формулы обязательно выключаются в красную строку, номер формулы ставится у правого края страницы. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки. Подстрочные и надстрочные индексы в степени следует отмечать карандашом, дугами сверху и снизу:

$k^n, r_n$

Греческие буквы нужно обводить (в кружок) красным карандашом. Буквы готического шрифта и рукописные в рукописях не использовать, векторные величины — подчеркивать черным, буквы латинского рукописного шрифта следует отметить на полях (например, Н рукоп.).

Во избежание ошибок следует четко обозначать прописные (заглавные) и строчные буквы латинского алфавита, имеющие сходное начертание (Cc; Kk; Pp; Oo; Ss; Uu; Vv; и т. д.), буквы I(i) и J(j) букву I и римскую единицу I, а также арабскую цифру 1 и римскую I' (вертикальная черта), I и штрих в индексах, I (латинское эль) и e. Прописные буквы подчеркивают карандашом двумя черточками снизу (C), а строчные — сверху (c).

Следует избегать знаков типа ~ (волна),  $\odot$ ,  $\oplus$ ,  $\otimes$ ,  $\square$ ,  $\bar{\square}$ ,  $\diamond$ ,  $\nabla$ ,  $\wedge$

(крышки) над и под буквами, а также знаков:

$\times, \in, \int, \oint, \oint, \oint$

Латинские названия вписываются на машинке.

Слова «теорема», «лемма», «следствие», «определение», «замечание» и т. п. следует подчеркивать штриховой чертой, а текст утверждений типа теорем — волнистой чертой (исключая математические символы).

При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться международной системы единиц СИ.

12. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью. При элементном анализе приводить только усредненные данные.

13. Необходимо тщательно проверить написание местных географических названий.

14. Цитируемая литература проводится общим списком на отдельной странице: ссылки в тексте даются порядковым номером в круглых скобках над строкой (например, <sup>1)</sup>). Список литературы оформляется следующим образом:

для книг: инициалы и фамилии авторов, полное название книги, место и год издания;

для журнальных статей: инициалы и фамилия авторов, название журнала, номер тома, номер выпуска, страница и год издания.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

15. Все статьи должны иметь резюме на английском языке, кроме того статьи написанные на русском и азербайджанском языках должны иметь резюме на азербайджанском и на русском соответственно.

Публикация статьи в «Докладах» не препятствует напечатанию расширенного ее варианта в другом периодическом издании.

Сдано в набор 05. 07. 84. Подписано к печати 17. 10. 84. ФГ 04787. Формат бумаги 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская № 1. Гарнитура шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. лист 7,8. Усл. кр.-отт. 7,8. Уч. изд. лист 6,50. Тираж 607. Заказ 1106. Цена 70 коп.

Издательство «Элм».

370143 Баку-143, проспект Нариманова, 31, Академгородок, Главное здание Типография «Красный Восток» Государственного комитета Азербайджанской ССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Баку, ул. Ази Асланова, 80.