

# **ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ТУРКМЕНСКОЙ ССР**

**СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ  
И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

**6**

**1968**

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Реджепова Ш. — О некоторых практических методах численного интегрирования с переменными шагами	3
Кулиев А. М. — Решение одной нерешенной вариационной задачи	8
Бекиев Х. М. — Геометрическое исследование построения рельефной перспективы	13
Ванфуч Ю. И. — Сейсмостойкость конструкций при действии перегрузки	18
Назаров А. — Способ измерения высоких температур при исследованиях на солнечных печах	25
Агаев Я., Бекмедова Н. Г. — Оптические свойства фосфида индия	30
Кулиев Я., Курябина В. Ф. — Аналоговое функциональное устройство с использованием гальваномагнитных эффектов Холла и Гаусса	35
Аннаев Р. Г., Али-Заде М. З. — Исследование температурной зависимости изменения термоЭДС системы сплавов кобальт—германий в продольном магнитном поле	39
Кисин Б. С. — Расчет оболочек положительной кривизны методом перемещений с учетом деформаций сдвига	43
Рутгайзер Е. М. — Исследования процесса истечения хладагента в контактном испарителе вымораживающей опреснительной установки	53
Беркеллев М., Дубровская Е. К. — Ночное изменение F-области ионосферы на переходных широтах	62
Сергиенко С. Р., Медведева В. Д. — Свойства и групповой углеводородный состав керосиновых фракций нефтей Прикаспийских и Бухарских месторождений	67
Сергиенко С. Р. — Проблема предвидения каталитического действия (Итоги работы IV Международного конгресса по катализу)	72
Сергиенко С. Р., Айдогдыев А., Таймова Б. А., Челпанова М. П. — Сравнительная характеристика химической природы и свойств представительных нефтей Прикаспийских и Бухарских месторождений	81
Курбанмурадов А. — Особенности распространения апшеронских вод Юго-Западного Туркменистана в связи с его нефтегазоносностью	87
Ятченко Д. Д. — Строение чокракского горизонта Западного Копет-Дага	93
Сапаров Ч., Якубсон О. Д. — Литолого-петрографическая характеристика и оценка перспектив нефтегазоносности красноцветной толщи банки Жданова	96
Судо М. М. — Соотношение аналогов Байгубекского горизонта Юго-Восточной Туркмении и нижнего миоцена Центрального и Гяурского Копет-Дага	103
Джигирис Д. Д., Аваков В. А. — Влияние добавки гипса на процессы автоклавного твердения ячеистого бетона на основе каракумского барханного песка	107

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Кулиев Х. М., Хамадов А. — Исследование термоэлектрических свойств и теплопроводности четырехкомпонентных сплавов  $Bi_2Te_3-Sb_2Se_3$  (115).  
 Базаров Б. А. — Исследование кремниевых фотоэлектрических фотопреобразователей с мелкими p-n-переходами (117). Тумасов В. Р. — Статистический метод расчета сейсмостойкости вертикальных аппаратов, частично заполненных жидкостью (118). Байков А. А., Мурадов И. — К вопросу об участии соли в формировании антиклинальных складок на примере Янгиарыкской структуры (121).

Указатель статей

124

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Отв. редактор — академик Академии наук Туркменской ССР С. Р. Сергиенко. Зам. отв. редактора — член-корреспондент Академии наук Туркменской ССР А. А. Бердыев. Отв. секретарь — кандидат физико-математических наук А. А. Аширов. Академики Академии наук Туркменской ССР Р. Г. Аннаев, В. А. Баум, П. И. Калугин, К. К. Маширков; член-корреспондент Академии наук Туркменской ССР А. Н. Ниязов; кандидаты физико-математических наук Я. Агаев, Г. Джемилев, А. Нарчаев, А. Ханбердыев; кандидаты технических наук Р. Непесов, М. Курбанов; кандидаты геолого-минералогических наук К. Н. Иомудский, О. Одеков.

ТҮРКМЕНИСТАН ССР  
ЫЛЫМЛАР АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
ХАБАРЛАРЫ

ФИЗИКА-ТЕХНИКИ, ХИМИКИ ВЕ ГЕОЛОГИК  
ЫЛЫМЛАРЫҢ СЕРИЯСЫ

6

1968

ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
ТУРКМЕНСКОЙ ССР

СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ  
И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

6

1968

А ш х а б а д

## О НЕКОТОРЫХ ПРАКТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННЫМИ ШАГАМИ

Пусть дано дифференциальное уравнение

$$y' = f(x, y) \quad (1)$$

с начальным условием

$$y(x_0) = y_0, \quad (2)$$

где  $f(x, y)$  — непрерывно дифференцируемая функция до требуемого порядка в области  $D$ . Порядок производной от  $f(x, y)$ , входящей в остаточный член численных формул, зависит от количества и кратности узлов интерполяции, поэтому мы употребляем термин „требуемый порядок производной“.

В работе [1] из общей формулы вида

$$y(x_0, x_0, x_1, x_1, \dots, x_{n-1}, x_{n-1}, x_n) = \int_{x_0}^{x_n} \Theta(\zeta) y^{(2n)}(\zeta) dx \quad (3)$$

получается ряд экстраполяционных формул типа Адамса, использующий простые и двухкратные равноотстоящие узлы интерполяции для численного решения задачи [1], [2]. Используя менее шести узлов, можно получить формулы как для начала, так и для продолжения решения.

Пусть количество узлов интерполяции два и узел  $x_{n-1}$  двухкратный, тогда из формулы

$$y(x_{n-1}, x_{n-1}, x_n) = \int_{x_{n-1}}^{x_n} \Theta_1(\zeta) y^{(2)}(\zeta) dx$$

получается экстраполяционная формула. Когда оба узла двухкратные, то из

$$y(x_{n-1}, x_{n-1}, x_n, x_n) = \int_{x_{n-1}}^{x_n} \Theta_2(\zeta) y^{(3)}(\zeta) dx$$

— интерполяционная. На самом деле, с помощью разделенной разности с повторяющимися значениями аргументов имеем

$$y(x_n) = y(x_{n-1}) + hy'(x_{n-1}) + \int_{x_{n-1}}^{x_n} \bar{\Theta}_1(\zeta) y^{(2)}(\zeta) dx; \quad (4)$$

$$y(x_n) = y(x_{n-1}) + \frac{h}{2} [y'(x_{n-1}) + y'(x_n)] + \int_{x_{n-1}}^{x_n} \bar{\Theta}_2(\zeta) y^{(3)}(\zeta) dx, \quad (5)$$

где

$$\int_{x_{n-1}}^{x_n} \bar{\Theta}_1(\zeta) dx = \frac{h^2}{2!}; \quad \int_{x_{n-1}}^{x_n} \bar{\Theta}_2(\zeta) dx = \frac{h^3}{2 \cdot 3!}; \quad \zeta \in (x_{n-1}; x_n); \quad h — произ-$$

вольный шаг [2].

Отметим, что формула (4) есть формула Эйлера, а (5) — формула трапеции для двух узлов [3].

Для выведения формул, использующих больше двух узлов интерполяции, то есть формул для продолжения решения задачи [1], [2], введем следующее понятие. Обозначим текущий шаг через  $h$ :  $h = x_{n+1} - x_n$ , а длины предыдущих неравномерных шагов величинами, пропорциональными текущему шагу  $h$

$$\alpha_{i+1} h = x_{n-i} - x_{n-i-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1,$$

где числа  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}, \alpha_n$  — коэффициенты пропорциональности. Таким образом, коэффициенты при значениях решения данной задачи в выводимых формулах будут являться функциями коэффициентов пропорциональности. Задавая этим коэффициентам числовые значения, можно получить ряд формул. Формулы, использующие три узла с остаточным членом, имеющим третий порядок  $h^3$ , получаются из

$$y(x_{n-1}, x_{n-1}, x_n, x_{n+1}) = \int_{x_{n-1}}^{x_{n+1}} \Theta_3(\zeta) y^{(3)}(\zeta) dx;$$

$$y(x_{n-1}, x_n, x_n, x_{n+1}) = \int_{x_{n-1}}^{x_{n+1}} \Theta_4(\zeta) y^{(3)}(\zeta) dx;$$

$$y(x_{n-1}, x_n, x_{n+1}, x_{n+1}) = \int_{x_{n-1}}^{x_{n+1}} \Theta_5(\zeta) y^{(3)}(\zeta) dx, \quad \zeta \in (x_{n-1}; x_{n+1}).$$

Преобразуя разделенные разности в левых частях последних формул, получаем соответственно

$$y(x_{n+1}) = \frac{2\alpha_{01}}{\alpha_1} y(x_n) - \frac{\alpha_{01} + \alpha_1}{\alpha_1^2} y(x_{n-1}) - \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1} hy'(x_{n-1}) + \frac{\alpha_{01}^2}{3!} h^3; \quad (6)$$

$$y(x_{n+1}) = \frac{\alpha_1^2 - 1}{\alpha_1^2} y(x_n) + \frac{1}{\alpha_1^2} y(x_{n-1}) + h \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1} y'(x_n) + \frac{\alpha_{01} h^3}{3!}; \quad (7)$$

$$y(x_{n+1}) = \frac{\alpha_{01}^2}{\alpha_1(1 + \alpha_{01})} y(x_n) - \frac{1}{1 + \alpha_{01}} y(x_{n-1}) + \frac{\alpha_{01}}{\alpha_{01} + 1} h y'(x_{n+1}) + \frac{\alpha_{01}^2}{3!(1 + \alpha_{01})} h^3. \quad (8)$$

Используя узлы  $x_{n-1}, x_n$  двукратно, получаем еще одну формулу с тремя узлами  $x_{n-1}, x_n, x_{n+1}$  и остаточным членом, имеющим порядок  $h^4$

$$y(x_{n+1}) = \left[ 1 - \frac{1 + 2\alpha_1}{\alpha_1^3} - \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1^3} \right] y(x_n) + \frac{\alpha_1 + 2\alpha_{01}}{\alpha_1^3} y(x_{n-1}) + \frac{\alpha_{01}^2}{\alpha_1^2} h y'(x_n) + \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1^2} h y'(x_{n-1}) + \frac{\alpha_{01} h^4}{4!}. \quad (9)$$

Далее выводим формулы с четырьмя узлами  $x_{n-2}, x_{n-1}, x_n, x_{n+1}$ , остаточные члены которых имеют порядок  $h^4$ , взяв один из этих узлов двукратно. Пусть узел  $x_{n-2}$  входит двукратно, остальные узлы простые, тогда

$$y(x_{n+1}) = \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1} \left[ 1 + \frac{\alpha_{012} + \alpha_{12}}{\alpha_2^2} \right] y(x_n) - \frac{\alpha_{01}}{\alpha_{12}} \left[ \frac{\alpha_1 + \alpha_{012}}{\alpha, \alpha_{01}} + \frac{\alpha_2 + \alpha_{012}}{\alpha_2^2} + \frac{\alpha_{012}}{\alpha_1 \alpha_2} \right] y(x_{n-1}) + \frac{\alpha_{01} \alpha_2 + (2 + \alpha_1) \alpha_{012}}{\alpha_{12}^2 \alpha_2^2} \alpha_{01} y(x_{n-2}) + \frac{\alpha_{01} \alpha_{012}}{\alpha_{12} \alpha_2} h y'(x_{n-2}) + \frac{\alpha_{012}^2 \alpha_{01}}{4!} h^4. \quad (10)$$

Если взять  $x_{n-1}$  двукратно, то имеем формулу

$$y(x_{n+1}) = \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1} \left[ 1 + \frac{\alpha_1 + \alpha_{012}}{\alpha_1 \alpha_{12}} \right] y(x_n) - \frac{\alpha_{01}^2}{\alpha_1^2} \left[ \frac{\alpha_1 + \alpha_{01}}{\alpha_{01}^2} + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_2^2} \right] y(x_n) - \frac{\alpha_{01}^2}{\alpha_{12}} \left( \frac{\alpha_1 + \alpha_{012}}{\alpha_{01} \alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) h y'(x_{n-1}) + \frac{\alpha_{01}^2}{\alpha_{12} \alpha_2^2} y(x_{n-2}) + \frac{\alpha_{012} \alpha_{01}^2}{4!} h^4. \quad (11)$$

С двукратным узлом  $x_n$  получаем

$$y(x_{n+1}) = \frac{\alpha_{01}}{\alpha_{12}} \left[ \alpha_{12} (\alpha_1 - 1) - \frac{\alpha_1 + \alpha_{12}}{\alpha_1^2 \alpha_{12}} \right] y(x_n) + \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1 \alpha_{12}} \left[ \frac{\alpha_{01} + \alpha_{12}}{\alpha_1 \alpha_{01}} + \frac{1}{\alpha_2} \right] y(x_{n-1}) + h \frac{\alpha_{012} \alpha_{01}}{\alpha_1 \alpha_{12}} y'(x_n) - \frac{\alpha_{01}}{\alpha_{12}^2 \alpha_2} y(x_{n-2}) + \frac{\alpha_{012} \alpha_{01}}{4!} h^4 y^{(4)}(\zeta). \quad (12)$$

Наконец,

$$\begin{aligned}
 y(x_{n+1}) = & \frac{\alpha_{01} \alpha_{012}}{\alpha_{012}(2 + \alpha_1) + \alpha_{01}} \left[ \frac{\alpha_{012}(2 + \alpha_1) + \alpha_{01}}{\alpha_{012} \alpha_{01}} + \frac{\alpha_{01} + \alpha_{012}}{\alpha_1 \alpha_{01} \alpha_{012}} + \right. \\
 & \left. + \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1 \alpha_{12} \alpha_{012}} \right] y(x_n) - \frac{\alpha_2 (\alpha_{01} + \alpha_{012}) + \alpha_{01}^2}{\alpha_1 \alpha_2 [\alpha_{012}(2 + \alpha_1) + \alpha_{01}]} y(x_{n-1}) + \\
 & + \frac{\alpha_{01} \alpha_{012}}{\alpha_{012}(2 + \alpha_1) + \alpha_{01}} h y'(x_{n+1}) + \frac{\alpha_{01}^2}{\alpha_{12} \alpha_2 [\alpha_{012}(2 + \alpha_1) + \alpha_{01}]} y(x_{n-2}) - \\
 & - \frac{\alpha_{012}^2 \alpha_{01}^2 h^4}{4! [\alpha_{012}(2 + \alpha_1) + \alpha_{01}]} y^{(4)}(\zeta) \quad (13)
 \end{aligned}$$

получена с двухкратным узлом  $x_{n+1}$ . Отметим, что формулы (8) и (13) относятся к интерполяционному типу. Применение их осуществляется использованием метода итерации.

Для выведения формул с остаточным членом, имеющим порядок  $h^5$ , с теми же четырьмя узлами  $x_{n-2}$ ,  $x_{n-1}$ ,  $x_n$ ,  $x_{n+1}$  надо брать два из них двухкратные, остальные два — простые.

Рассмотрим только случай, когда узлы  $x_{n-2}$ ,  $x_{n-1}$  являются двухкратными. В этом случае получается формула

$$\begin{aligned}
 y(x_{n+1}) = & \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1} \left( 1 + \frac{\alpha_{01} + \alpha_{12}}{\alpha_1 \alpha_{12}} + \alpha_{012} \frac{\alpha_{01}}{\alpha_1 \alpha_{12}^2} \right) y(x_n) - \\
 - & \left[ \frac{\alpha_{01} + \alpha_1}{\alpha_1^2} + \frac{\alpha_{01}^2 (\alpha_2 - \alpha_1)}{\alpha_1^2 \alpha_2^2} + \frac{\alpha_{012} \alpha_{01}^2}{\alpha_{12} \alpha_1^2 \alpha_2^2} (\alpha_2 - \alpha_1) - \frac{2 \alpha_{012} \alpha_{01}^2}{\alpha_{12} \alpha_2^3} \right] y(x_{n-1}) - \\
 - & \frac{\alpha_{01}^2}{\alpha_{12} \alpha_2} h \left[ \frac{\alpha_2 (\alpha_{01} + \alpha_{12})}{\alpha_1 \alpha_{01}} + \alpha_{012} \left( \frac{1}{\alpha_{012}} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \frac{\alpha_{012}}{\alpha_1 \alpha_2} \right] y'(x_{n-1}) - \\
 - & \frac{\alpha_{012} \alpha_{01}^2}{\alpha_{12} \alpha_2^2} \left( \frac{1}{\alpha_{012}} + \frac{1}{\alpha_{12}} + \frac{2}{\alpha_2} \right) y(x_{n-2}) - \frac{\alpha_{012} \alpha_{01}^2}{\alpha_{12} \alpha_2^2} h y'(x_{n-2}) + \\
 & + \frac{\alpha_{012}^2 \alpha_{01}^2 h^5}{5!} y^{(5)}(\zeta), \quad (14)
 \end{aligned}$$

где  $\alpha_{01} = 1 + \alpha_1$ ;  $\alpha_{12} = \alpha_1 + \alpha_2$ ;  $\alpha_{012} = 1 + \alpha_1 + \alpha_2$ ,  $\zeta \in (x_{n-2}; x_{n+1})$ .

Выведенные формулы (6) — (14) при  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$  являются формулами с постоянными шагами. Все формулы, полученные из (6) — (14) при различных значениях  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  расположены в табл. 1

Таблица 1

$\alpha_1$	$\alpha_2$	Формулы (6) — (14)	Остаточные члены	Нумерация
1		$y_{n+1} = 4y_n - 3y_{n-1} - 2hy'_{n-1}$	$\frac{2}{3} h^3 y^{(3)}$	(6 <sub>1</sub> )
$\frac{1}{2}$		$y_{n+1} = 6y_n - 4y_{n-1} - 3hy'_{n-1}$	$\frac{3}{8} h^3 y^{(3)}$	(6 <sub>2</sub> )
1		$y_{n+1} = y_{n-1} + 2hy'_{n-1}$	$\frac{1}{3} h^2 y^{(3)}$	(7 <sub>1</sub> )

$\alpha_1$	$\alpha_2$	Формулы (6) — (14)	Остаточные члены	Нумерация
2		$y_{n+1} = \frac{3}{4} y_n + \frac{1}{4} y_{n-1} + \frac{3}{2} h y'_n$	$\frac{h^3}{2} y^{(3)}$	(7 <sub>2</sub> )
$\frac{1}{2}$		$y_{n+1} = -3y_n + 4y_{n-1} + 3h y'_n$	$\frac{1}{4} h^3 y^{(3)}$	(7 <sub>3</sub> )
1		$y_{n+1} = \frac{4}{3} y_n - \frac{1}{3} y_{n-1} + \frac{2}{3} h y'_{n+1}$	$\frac{2}{9} h^3 y^{(3)}$	(8 <sub>1</sub> )
$\frac{1}{2}$		$y_{n+1} = \frac{9}{5} y_n - \frac{2}{5} y_{n-1} + \frac{3}{5} h y'_{n+1}$	$\frac{3}{20} h^3 y^{(3)}$	(8 <sub>2</sub> )
2		$y_{n+1} = \frac{9}{8} y_n - \frac{1}{4} y_{n-1} + \frac{3}{4} h y'_{n+1}$	$-\frac{3}{8} h^3 y^{(3)}$	(8 <sub>3</sub> )
$\frac{2}{3}$		$y_{n+1} = \frac{25}{16} y_n - \frac{3}{8} y_{n-1} + \frac{5}{8} h y'_{n+1}$	$-\frac{25}{144} h^3 y^{(3)}$	(8 <sub>4</sub> )
1		$y_{n+1} = -4y_n + 5y_{n+1} + 4h y'_n + 2h y'_{n-1}$	$\frac{1}{12} h^4 y^{(4)}$	(9 <sub>1</sub> )
2		$y_{n+1} = y_{n-1} + \frac{9}{4} h y_n^1 + \frac{3}{4} h y'_{n-1}$	$\frac{1}{6} h^4 y^{(4)}$	(9 <sub>2</sub> )
1	1	$y_{n+1} = 4,5y_n - 9y_{n-1} + 5,5y_{n-2} + 3h y'_{n-2}$	$\frac{3}{4} h^4 y^{(4)}$	(10 <sub>1</sub> )
1	1	$y_{n+1} = 6y_n - 3y_{n-1} - 6h y'_{n-1} - 2y_{n-2}$	$\frac{1}{2} h^4 y^{(4)}$	(11 <sub>1</sub> )
1	1	$y_{n+1} = -1,5y_n + 3y_{n-1} + h y'_n - 0,5y_{n-2}$	$\frac{1}{4} h^4 y^{(4)}$	(12 <sub>1</sub> )
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$y_{n+1} = -\frac{39}{4} y_n + 16y_{n-1} + 6h y'_n - 3y_{n-2}$	$\frac{1}{8} h^4 y^{(4)}$	(12 <sub>2</sub> )
1	1	$y_{n+1} = \frac{1}{11} \left( 18y_n - 9y_{n-1} + 6h y'_{n+1} + 2y_{n-2} \right)$	$\frac{3}{22} h^4 y^{(4)}$	(13 <sub>1</sub> )
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$y_{n+1} = \frac{1}{83} \left( \frac{841}{3} y_n - 392y_{n-1} + 35h y'_{n+1} + \frac{200}{3} y_{n-2} \right)$	$-\frac{1225}{4183} h^4 y^{(4)}$	(13 <sub>2</sub> )
1	1	$y_{n+1} = 9y_n + 9y_{n-1} - 18h y'_{n-1} - 17y_{n-2} - 6h y'_{n-2}$	$\frac{3^2 \cdot 4}{5!} h^5 y^{(5)}$	(14 <sub>1</sub> )
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$y_{n+1} = 36y_n + 64y_{n-1} - 66h y'_{n-1} - 99y_{n-2} - 18h y'_{n-2}$	$\frac{9}{5!} h^5 y^{(5)}$	(14 <sub>2</sub> )

Гуркменский государственный педагогический институт  
им. В. И. Ленина

Поступило  
31 мая 1968 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ionescu D. V. — Metode de integrale numerica a equatiilor diferentiale. «Itu-  
dii și cercetari mat. Acad. RPR. Fil. Cluj», XII, № 2, 1961.
2. Березин И. С. и Жидков Н. Н. — Методы вычислений, т. 1, М., 1959.
3. Милл В. Э. — Численное решение дифференциальных уравнений. ИЛ,  
М., 1955.

### РЕШЕНИЕ ОДНОЙ НЕРЕШЕННОЙ ВАРИАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ\*

Предположим, что на плоскости даны два сегмента длины 1. Требуется непрерывно передвигать первый сегмент, не изменяя его длины так, чтобы он совпал со вторым и чтобы сумма длин путей, описанных концами движущегося сегмента, была минимальна.

Предварительно докажем одну лемму. При непрерывном передвижении одного из двух непараллельных, но равных по длине сегментов, лежащих на одной и той же плоскости, взаимное их совмещение реализуется одним вращением вокруг одной из точек концов передвигаемого сегмента и одним его поступательным переносом.

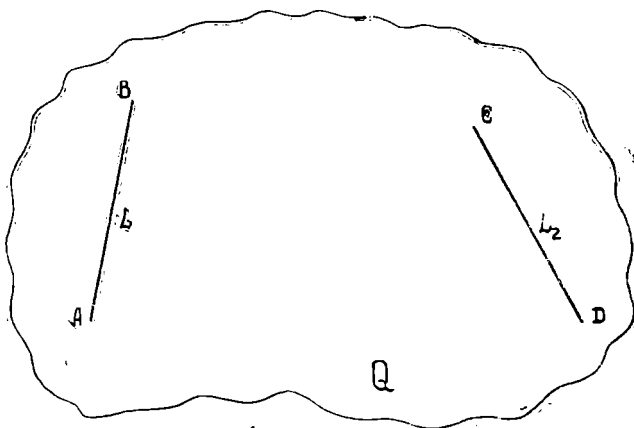


Рис. 1.

Пусть  $L_1$  — подвижный, а  $L_2$  — неподвижный сегменты. Приняв точку  $B$  за центр вращения, повернем  $L_1$  вокруг  $B$  на величину  $\varphi$  так, чтобы положение  $L_1$  на плоскости  $Q$  было параллельно  $L_2$ . При этом точка  $A$  опишет дугу окружности радиуса  $L_1$ . Соединим точки  $B$  с  $C$  и

\* С. Улам. Современные проблемы математики. Нерешенные математические задачи. Изд-во «Наука», М., 1964.



Если в том же направлении повернем сегмент  $L_1$  вокруг точки  $A$  на угол  $\varphi$  — доказательство будет аналогичным.

*Теорема.* Из всех путей, реализующих совмещения сегментов, произвольно лежащих на плоскости, наименьшим является путь, равный сумме путей, описанных точками концов непрерывно передвигаемого сегмента при совершении им поворота на угол  $\varphi$  между сегментами и  $n$ -поступательных переносов.

Пусть сегменты расположены произвольно на плоскости  $хоу$  и в момент времени  $t_0$  образуют между собой угол  $\varphi$ . Подвижный сегмент  $L_1$ , непрерывно передвигаясь, пройдет за время  $t + \Delta t$  элемент пути  $d\sigma$ .

По доказанной выше лемме траектория данного движения состоит из поворота и параллельных переносов. Допустим, что  $d\Theta$  соответствует элементарному повороту,  $dx$  — элемент прямолинейного пути; тогда элемент пути, описанный точками концов подвижного сегмента, будет иметь выражение

$$d\sigma = d\Theta + 2dx. \quad (1)$$

Заметим, что  $\sigma = \frac{S}{n}$ ;  $\Theta = \frac{\varphi}{n}$ . Перепишем равенство (1), заменяя  $\sigma$  и  $\Theta$  новыми значениями

$$d\left(\frac{S}{n}\right) = d\left(\frac{\varphi}{n}\right) + 2dx \quad (2)$$

или

$$\frac{1}{n} dS = \frac{1}{n} d\varphi + 2dx. \quad (3)$$

Умножая на  $n$ , получим

$$dS = d\varphi + 2ndx. \quad (4)$$

Исходя из рис 3, запишем

$$x = L_1 \sin \frac{\varphi}{2}.$$

По условию задачи длина сегмента  $L_1 = 1$ , поэтому

$$x = \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Теперь равенство (4) имеет вид

$$dS = d\varphi + 2nd \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5)$$

или

$$dS = d\varphi + 2n \cos \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{1}{2} d\varphi.$$

Отсюда

$$dS = d\varphi + n \cos \frac{\varphi}{2} d\varphi. \quad (6)$$

Интегрируя равенство (6), получим

$$S = \int_{x_0}^{x_n} \left( 1 + n \cos \frac{\varphi}{2} \right) d\varphi.$$

Обозначим  $\cos \frac{\varphi}{2} = y$ ;  $\frac{\varphi}{2} = t$ ;  $\varphi = 2t$ ;  $d\varphi = 2dt$ .

Преобразуем подынтегральное выражение

$$y = \cos \frac{\varphi}{2}; y' = \left( \cos \frac{\varphi}{2} \right)' = -\frac{1}{2} \sin \frac{\varphi}{2};$$

$$y = \cos \frac{\varphi}{2} = \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} = \sqrt{1 - 4y'^2};$$

или

$$S = \int_{x_0}^{x_n} \left( 1 + n \sqrt{1 - 4y'^2} \right) 2dt. \quad (7)$$

Таким образом, мы имеем функционал

$$I = V[f(t)] = 2 \int_{x_0}^{x_n} \left( 1 + n \sqrt{1 - 4y'^2} \right) dt,$$

Поставим теперь следующую вариационную задачу: найти экстремали, на которых интеграл (9)  $I$  является минимумом. Составим уравнение Эйлера

$$F_y - \frac{d}{dx} F_{y'} = 0,$$

где  $F = 1 + n \sqrt{1 - y'^2}$ ;  $F_y = 0$ ;  $F_x = 0$ ;  $F_{xy} = 0$ ;  $F_{yy'} = 0$ ;

$$F_{y'} = \left( 1 + n \sqrt{1 - 4y'^2} \right)'_{y'} = \frac{n \cdot (-8y')}{2 \sqrt{1 - 4y'^2}} = \frac{-4ny'}{\sqrt{1 - 4y'^2}};$$

$$F_{y'y'} = \left( \frac{-4ny'}{\sqrt{1 - 4y'^2}} \right)'_{y'} = \frac{\sqrt{1 - 4y'^2}(-4n) - (-4ny') \cdot (-1) \sqrt{1 - 4y'^2}}{(\sqrt{1 - 4y'^2})^2} =$$

$$= \frac{-4n \cdot \sqrt{1 - 4y'^2} + 4ny' \cdot \frac{-8y'}{2 \sqrt{1 - 4y'^2}}}{(\sqrt{1 - 4y'^2})^2} = \frac{-4n(1 - 4y'^2) - 16ny'^2}{\pm \sqrt{1 - 4y'^2}^3} =$$

$$= \frac{-4n + 16ny'^2 - 16ny'^2}{\pm \sqrt{1 - 4y'^2}^3} = \frac{-4n}{\pm \sqrt{1 - y'^2}^3} \frac{4}{\pm \sqrt{1 - 4y'^2}^3};$$

$$F_{y'y'} = \frac{4n}{\pm \sqrt{1 - 4y'^2}^3};$$

$$F_{y'y'} \cdot y'' = 0; \frac{4n}{\pm \sqrt{(1-y'^2)^3}} \cdot y'' = 0.$$

Или отсюда  $4ny'' = 0; y'' = 0.$  (8)

Решим дифференциальное уравнение (8) так:

$$d\left(\frac{dy}{dt}\right) = 0.$$

Пронтегрируем  $\int d\left(\frac{dy}{dt}\right) = 0$  или  $\frac{dy}{dt} = 0 + C_1$ ; и  $dy = C_1 dt$ .

Возьмем интегралы от обеих частей

$$\int dy = \int C_1 dt; y = C_1 t + C_2, \text{ но } S = 2y;$$

$$S = 2C_1 t + 2C_2, \text{ где } t = \frac{\varphi}{2}; \text{ тогда } S = 2C_1 \frac{\varphi}{2} + 2C_2 = C_1 \varphi + 2C_2.$$

В начальных условиях при  $x = 0, S_0 = \varphi$  или  $\varphi = C_1 \varphi$ . Отсюда  $C_1 = 1$ , а при  $\varphi = 0, C_2 = x$ .

Стало быть, экстремальными функционала  $I = V[f(\varphi_1 x)] = 2 \int_0^n (1 + n \sqrt{1-4y'^2}) dt$  являются линии вида  $S = \varphi + 2nx$ , причем

$$I = \begin{cases} \varphi, & \text{когда } n = 0 \\ \varphi + 2x, & \text{когда } n = 1 \end{cases} \text{ и } I = \begin{cases} \varphi, & \text{когда } x = 0 \\ 2nx, & \text{когда } \varphi = 0, \end{cases} \text{ то есть функционал}$$

$V[f(\varphi x)]$  удовлетворяет уравнению Эйлера. Следовательно, необходимое условие минимума выполняется. Кроме того, из выражения

$$F_{y'y'} = \frac{4n}{\sqrt{(1-4y'^2)^3}} \text{ видим, что } y'^2 = \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\varphi}{2} \text{ всегда положительное}$$

и меньше единицы, а подкоренное выражение  $1-4y'^2 > 0$ , поэтому при любом  $n$  значение  $F_{y'y'} \geq 0$ . То есть условие Лежандра также выполняется. Этим доказывается наша теорема, и поставленная вариационная задача решена.

Итак, путь, пройденный подвижным сегментом при совершении им поворота на угол  $\varphi$  между сегментами и  $n$ -поступательных переносов является минимальным.

Государственный плановый комитет  
СМ Туркменской ССР

Поступило  
13 августа 1963 г.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ

Построение рельефного изображения предмета по его перспективе представляет теоретический и практический интерес. В данной статье приведено доказательство теоремы, позволяющее решение этой задачи.

*Теорема 1.* Любая проекция рельефного изображения предмета на картину есть его перспектива, построенная через точку зрения, рельефное изображение которой является центром проектирования.

Для доказательства воспользуемся графоаналитическим методом.

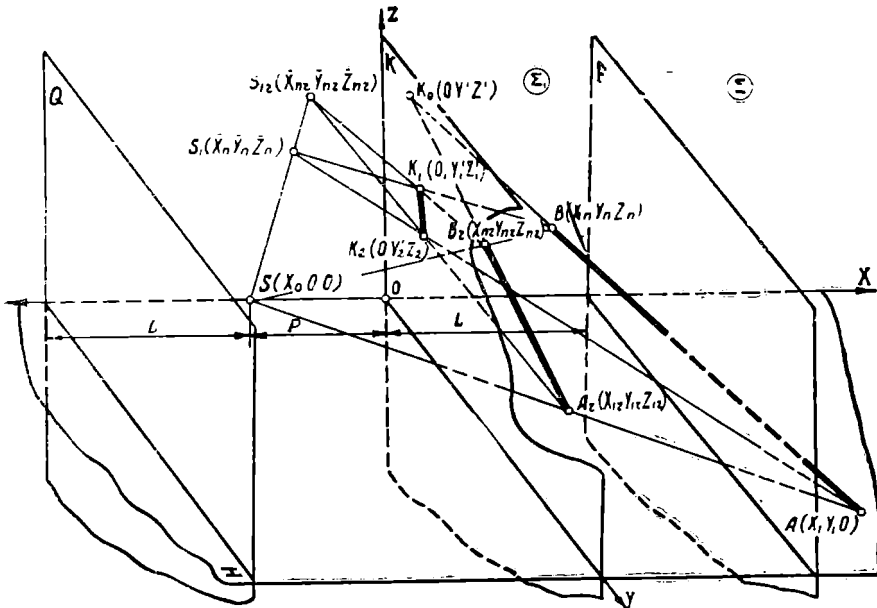


Рис. 1

*Доказательство.* На рис. 1 задана точка зрения  $S(x_0, 0, 0)$ , плоскость  $K(x=0)$  и пара соответственных точек  $A(x_1, y_1, 0)$  и  $A_r(x_{12}, y_{12}, 0)$ . Пользуясь методами аналитической геометрии, это гомологическое преобразование в пространстве можно записать системой (1)

$$\left. \begin{aligned} x_{nr} &= \frac{y'(x_0 - x_{1r}) - x_0 y_{1r}}{(x_n - x_0)(y_{1r} - y') - x_{1r} y_n} \cdot (x_n - x_0) + x_0; \\ y_{nr} &= \frac{y'(x_0 - x_{1r}) - x_0 y_{1r}}{(x_n - x_0)(y_{1r} - y') - x_{1r} y_n} \cdot y_n; \\ z_{nr} &= \frac{y'(x_0 - x_{1r}) - x_0 y_{1r}}{(x_n - x_0)(y_{1r} - y') - x_{1r} y_n} \cdot z_n, \end{aligned} \right\} (1)$$

где

$$y' = y_1 - \frac{x_1(y_n - y_1)}{x_n - x_1}. \quad (2)$$

Возьмем в трехмерном пространстве  $\Sigma$  прямую  $A(x_1 y_1 0) B(x_n y_n z_n)$  и найдем ей соответственную  $A_r(x_{1r} y_{1r} 0) B_r(x_{nr} y_{nr} z_{nr})$  также в трехмерном пространстве  $\Sigma_1$ . Выберем координатную систему, чтобы плоскость  $K(x=0)$  совпала с координатной плоскостью  $YOZ$ , точка зрения  $S(x_0 0 0)$  лежала на оси  $X$ , а точка  $A(x_1 y_1 0)$  принадлежала горизонтальной плоскости  $H$ , проходящей через точку  $S(x_0 0 0)$ . При таком выборе системы координат задача значительно упрощается без ущерба доказательству.

Проектируем прямую  $A_r(x_{1r} y_{1r} 0) B(x_{nr} y_{nr} z_{nr})$  на плоскость  $K(x=0)$  через точку зрения  $S_{1r}(x_{nr} y_{nr} z_{nr})$ , взятую в пространстве  $\Sigma_1$ . Находим точки  $K_1(0 y_1 z_1)$  и  $K_2(0 y_2 z_2)$  пересечения прямых  $S_{1r}(x_{nr} y_{nr} z_{nr}) A_r(x_{1r} y_{1r} 0)$  и  $S_{1r}(x_{nr} y_{nr} z_{nr}) B_r(x_{nr} y_{nr} z_{nr})$  с плоскостью  $K(x=0)$  соответственно. Тогда точка  $K_1(0 y_1 z_1)$  запишется системой

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{\bar{y}_{nr}(x_{nr} - \bar{x}_{nr}) - \bar{x}_{nr}(y_{nr} - \bar{y}_{nr})}{x_{nr} - \bar{x}_{nr}}; \\ z_1 &= \frac{\bar{z}_{nr}(x_{nr} - \bar{x}_{nr}) - \bar{x}_{nr}(z_{nr} - \bar{z}_{nr})}{x_{nr} - \bar{x}_{nr}}, \end{aligned} \right\} (3)$$

а точка  $K_2(0 y_2 z_2)$

$$\left. \begin{aligned} y_2 &= \frac{\bar{y}_{nr}(x_{1r} - \bar{x}_{nr}) - \bar{x}_{nr}(y_{1r} - \bar{y}_{nr})}{x_{1r} - \bar{x}_{nr}}; \\ z_2 &= \frac{\bar{z}_{nr}(x_{1r} - \bar{x}_{nr}) - \bar{x}_{nr} \cdot z_{nr}}{x_{1r} - \bar{x}_{nr}}. \end{aligned} \right\} (4)$$

Соединяя точки  $A(x_1 y_1 0)$  с  $K_2(0 y_2 z_2)$  и  $B(x_n y_n z_n)$  с  $K_1(0 z_1 y_1)$ , получим точку  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$  — искомый центр, через который проектируется прямая  $A(x_1 y_1 0) B(x_n y_n z_n)$  на плоскость  $K(x=0)$

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_n &= x_1 - \frac{x_n(y_n - y_1) - (x_1 - x_n)(y_1' - y_n)}{x_n(y_2' - y_1) - x_1(y_1' - y_n)} \cdot x_1; \\ \bar{y}_n &= y_1 + \frac{x_n(y_n - y_1) - (x_1 - x_n)(y_1' - y_n)}{x_n(y_2' - y_1) - x_1(y_1' - y_n)} \cdot (y_2' - y_1); \\ \bar{z}_n &= \frac{x_n(y_n - y_1) - (x_1 - x_n)(y_1' - y_n)}{x_n(y_2' - y_1) - x_1(y_1' - y_n)} \cdot z_2. \end{aligned} \right\} (5)$$

Теперь достаточно доказать, что точки  $S(x_0 00)$   $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$  и  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$  лежат на одной прямой и  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$  является рельефной перспективой точки  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$ . Для этого сначала запишем уравнение прямой, проходящей через точки  $S(x_0 00)$  и  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$

$$\frac{x - x_0}{x_{nr} - x_0} = \frac{y}{y_{nr}} = \frac{z}{z_{nr}}.$$

Если точка  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$  лежит на прямой  $S(x_0 00) S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$ , то ее координаты должны удовлетворять уравнению (6). Из-за громоздкости подстановок доказательство приведем цифровыми данными.

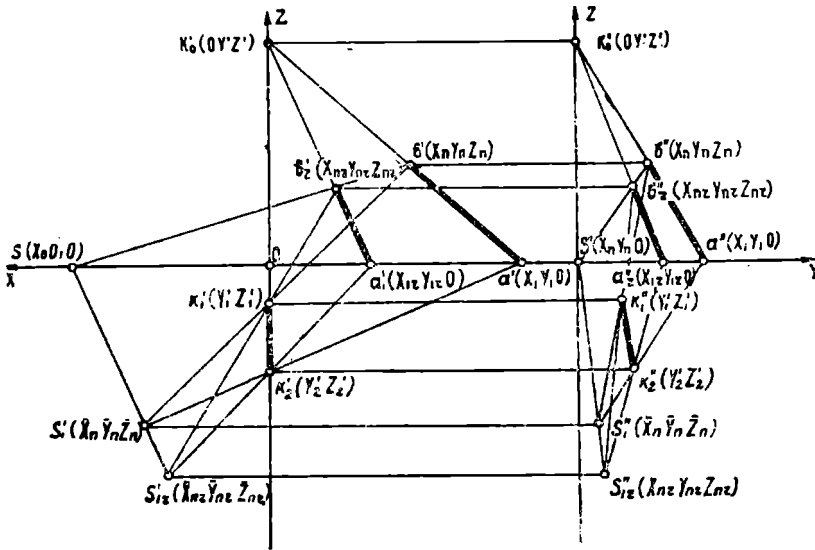


Рис. 2

На рис. 2 даны точки  $S(x_0 = -65, y_0 = 0, z_0 = 0)$  и  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} = -34, \bar{y}_{nr} = 8, \bar{z}_{nr} = -70)$ . Тогда уравнение (6) примет вид

$$\frac{x + 65}{-34 + 65} = \frac{y}{8} = \frac{z}{-70}. \quad (7)$$

Вычисляя по формуле (5) координаты точки  $S_1(\bar{x}_n = -42, \bar{y}_n = 6, \bar{z}_n = -52,5)$ , подставляем в (7), тогда

$$\frac{-42 + 65}{-34 + 65} = \frac{6}{8} = \frac{-52,5}{-70}$$

или примерно

$$\frac{3}{4} = \frac{3}{4} = \frac{3}{4}. \quad (8)$$

Отношение (8) показывает, что точки  $S(x_0 00)$ ,  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$  и  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$  лежат на одной прямой.

Если теперь  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$  является рельефной переспективой точки  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$ , то  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$  и  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$  являются парой соответственных точек гомологии (1). В таком случае при соответствующей подстановке в системе (1), то есть вместо  $\bar{B}(x_n y_n z_n) \rightarrow S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$  и вместо  $K_0(0 y' z') \rightarrow K_2(0 y'_2 z'_2)$  система (1) должна определить координаты точки  $S_{1r}(x_{nr} y_{nr} z_{nr})$ . Например:

$$\bar{x}_{nr} = \frac{y'_2(x_0 - x_{1r}) - x_0 y_{1r}}{(x_n - x_0)(y_{1r} - y'_2) - x_{1r} y_n} \cdot (x_n - x_0) + x_0. \quad (9)$$

Определяем координаты всех необходимых точек и, подставляя в (9), получим

$$\bar{x}_{nr} = \frac{18(-65 - 35) + 65 \cdot 28}{(-42 + 65)(28 - 18) - 35 \cdot 6,2} \cdot (-42 + 65) - 65,$$

где  $\bar{x}_{nr} \approx -34$ .

Таким образом, доказано, что точки  $S(x_0 00)$ ,  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$  и  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$  лежат на одной прямой и точка  $S_{1r}(\bar{x}_{nr} \bar{y}_{nr} \bar{z}_{nr})$  является рельефной перспективой точки  $S_1(\bar{x}_n \bar{y}_n \bar{z}_n)$ . Теорема доказана. Справедлива и обратная.

*Теорема 2.* Любая проекция предмета на картину есть перспектива его рельефного изображения, построенная через точку зрения, ординал которой является центром проектирования.

Обе теоремы имеют следствие. Прежде чем перейти к их формулировке, необходимо охарактеризовать плоскости  $F$  и  $Q$ .

Известно, что плоскость  $F$  (рис. 1) является плоскостью схода и содержит в себе рельефные перспективы несобственных точек пространства  $\Sigma$ . Нетрудно видеть, что плоскость  $Q$  (рис. 1) является геометрическим местом точек пространства  $\Sigma$ , рельефные перспективы которых находятся на бесконечности, то есть несобственные. Взаимное расположение этих плоскостей и картины понятно из рис. 1.

*Следствие 1.* Параллельная проекция рельефного изображения предмета на картину есть его перспектива, построенная через точку зрения, лежащую на плоскости  $Q$ .

*Следствие 2.* Параллельная проекция предмета на картину есть перспектива его рельефного изображения, построенная через точку зрения, лежащую на плоскости  $F$ .

Доказанная теорема и ее следствия позволяют решать ряд задач начертательной геометрии, например: по двум любым перспективным изображениям одного и того же предмета на одну картину можно построить рельефное его изображение; преобразование одного рельефного изображения предмета в другое его рельефное изображение также можно осуществить через его перспективу; теорема доказана для плоского рельефного слоя, но она может быть использована для построения рельефного изображения в любом рельефном слое, пользуясь мгновенным преобразованием.

*Пример 1.* На комплексном чертеже (рис. 3) даны два перспективных изображения  $A_{1k}B_{1k}C_{1k}D_{1k}$  и  $A_{2k}B_{2k}C_{2k}D_{2k}$  тетраэдра  $ABCD$ , положение точек зрения  $S_1$  и  $S_2$ , точка зрения  $S$  и плоскости  $K$  и  $F$ . Требуется построить рельефное изображение тетраэдра  $ABCD$ .

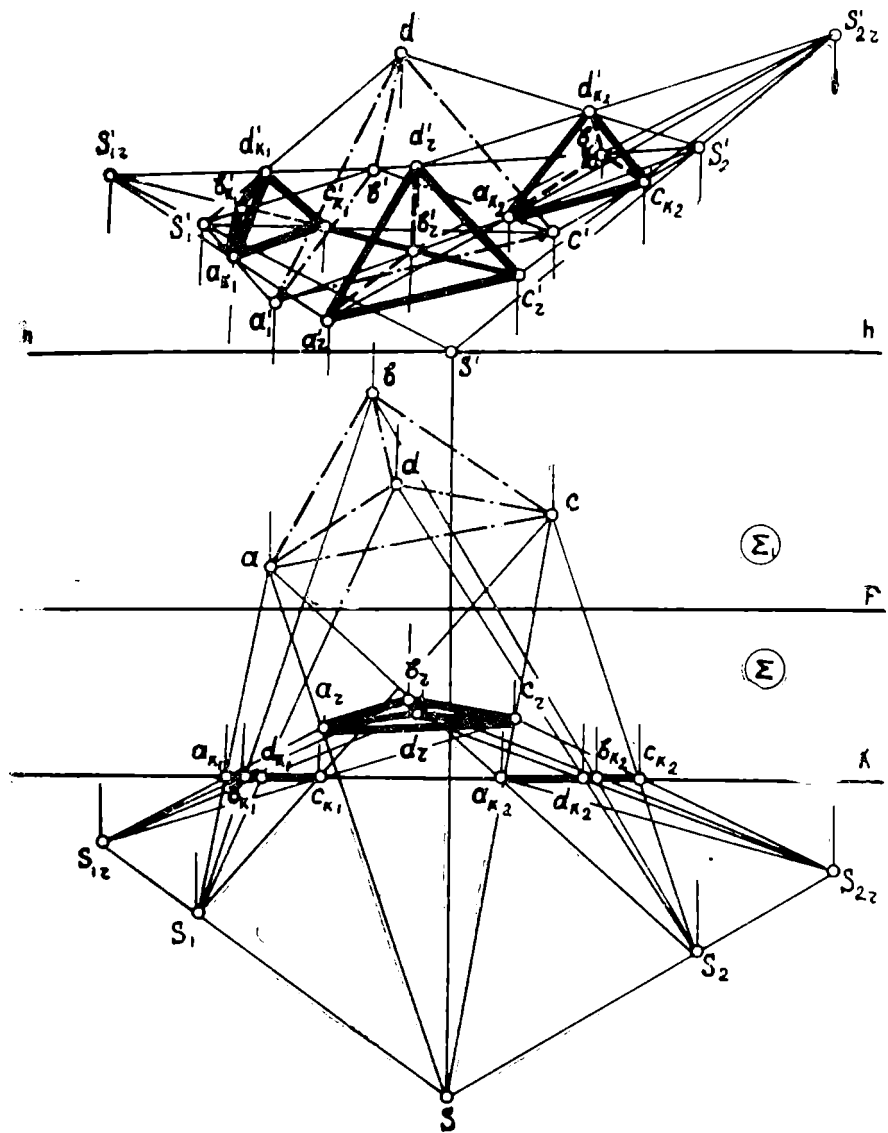


Рис. 3

Определяем положение точек  $S_{1r}$  и  $S_{2r}$  (рис. 3) как рельефные изображения точек  $S_1$  и  $S_2$  соответственно.

Рельефная перспектива  $A, B, C, D$ , тетраэдра  $ABCD$  определяется в пересечении соответственных лучей-связок  $S_{1r}$  и  $S_{2r}$ , проходящих через перспективные изображения  $A_{1k}B_{1k}C_{1k}D_{1k}$  и  $A_{2k}B_{2k}C_{2k}D_{2k}$  тетраэдра  $ABCD$ .

Так, например, точка  $A_r$  определяется в точке пересечения соответственных лучей  $S_{1r}A_{1k}$  и  $S_{2r}A_{2k}$  связок  $S_{1r}$  и  $S_{2k}$ . Эту же задачу можно решить с помощью следствия 1.

## СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПЕРЕГРУЗКИ

Для расчета упругих систем на сейсмостойкость используется спектр ускорений, представляющий собой некоторые усредненные значения действительного спектра, то есть при расчете не учитывается действие перегрузки. По реальной акселерограмме землетрясения отдельные максимальные амплитуды значительно (в 2—4 раза) превышают их средние значения [1]. Точно так же регистрация колебаний маятников (работающих по упругой схеме), моделирующих здания, показывает, что и их амплитуды являются нестабильными. В абсолютно упругой системе такие отдельные максимальные амплитуды (пики) колебаний должны вызывать пропорциональные им напряжения и, следовательно, они должны быть чрезвычайно опасными для сохранности конструкций.

Как показывают результаты анализа колебаний упругих систем, при внешнем воздействии, задаваемом реальной акселерограммой (с учетом пиков перегрузки), максимальный эффект (реакция) иногда в 2—4 раза превышает реакцию, определяемую СНиП II-A, 12—62. Поэтому необходима проверка несущей способности сооружений, запроектированных в соответствии с Нормами, на восприятие более мощного сейсмического воздействия (перегрузки). В этом случае может оказаться, что совершенно одинаковые сооружения (с точки зрения сейсмостойкости по Нормам) при перегрузке будут иметь разную несущую способность или вообще окажутся неспособными воспринять действие перегрузки.

Для анализа эффекта действия перегрузки рассмотрим две системы, из которых одна работает только в упругой стадии и разрушается хрупко, в другой же могут развиваться значительные пластические деформации. Выбранные для рассмотрения две системы характеризуются диаграммами «нагрузка—деформация», приведенными на рисунке. Обе системы имеют одинаковые частоты собственных колебаний ( $p$ ) в пределах упругой стадии их работы. Система I отличается от системы II тем, что предельная реакция ( $R_T$ ) и соответствующий ей прогиб ( $y$ ) в два раза больше, чем для системы II, когда последняя работает в пределах упругой стадии. В отличие от системы II у системы I отсутствует возможность деформироваться пластически, то есть она разрушается хрупко.

Действие перегрузки на системы рассмотрим при движении основания по закону  $y_0 = a_0 \sin \omega t$ . Будем считать, что перегрузка возникает за счет увеличения амплитуды ( $a_0$ ) колебания грунта, причем значение увеличенной амплитуды сохраняется в течение одного периода ( $T_0$ ) движения грунта.

Уравнение вынужденных колебаний систем при работе их в упругой стадии

$$\ddot{y} + 2\epsilon \dot{y} + p^2 y = f(t), \quad (1)$$

где  $f(t) = a_0 \omega^2 \sin \omega t, \quad (2)$

имеет следующее общее решение:

$$y = e^{-\epsilon t} \left[ y_n \left( \cos p_1 t + \frac{\epsilon}{p_1} \sin p_1 t \right) + \frac{\dot{y}_n}{p_1} \sin p_1 t \right] + \frac{1}{p_1} \int_0^t e^{-\epsilon(t-\tau)} \sin p_1(t-\tau) f(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Начальные условия движения систем следующие:

при  $t=0, y_n=0, \dot{y}_n = -\dot{y}_0 = -a_0 \omega$ .

При прогибах, не превышающих упругих деформаций, системы I и II работают идентично. В упругой стадии работы обе системы имеют следующие параметры:

$$y_n = -0,5; p=1; \omega = 0,5; a_0 = 1.$$

Предельный упругий прогиб для системы I равен  $y_T = +2$ , для системы II —  $y_T = +1$ .

Вычисленный по формуле (3) максимальный прогиб систем равен  $y^{\max} = 0,91$ . То есть для рассматриваемых условий  $y^{\max}$  не превышает значений упругих деформаций. При продолжении процесса колебаний движение систем перейдет в установившиеся колебания, при которых прогибы не превысят полученных в начале движения максимальных значений.

Пусть в какой-то момент на системы действует перегрузка, то есть основание начинает перемещаться с увеличенной амплитудой ( $a_0=3$ ). Максимальный прогиб для упругой системы  $y=2,74$ . При достижении значений  $y = \pm 2$  система I должна разрушиться, так как она, по принятым условиям, не способна деформироваться в пластической стадии. Движение системы II в упругой стадии заканчивается при значении прогиба  $y=y_T = -1$ . Далее система работает в пластической стадии и движение ее описывается уравнением

$$\ddot{y} + 2\epsilon \dot{y} + p^2 \bar{y}_T = f(t), \quad (4)$$

где значение упругой восстанавливающей силы  $m p^2 \bar{y}_T$  — величина постоянная.

Движение на пластическом участке заканчивается при достиже-

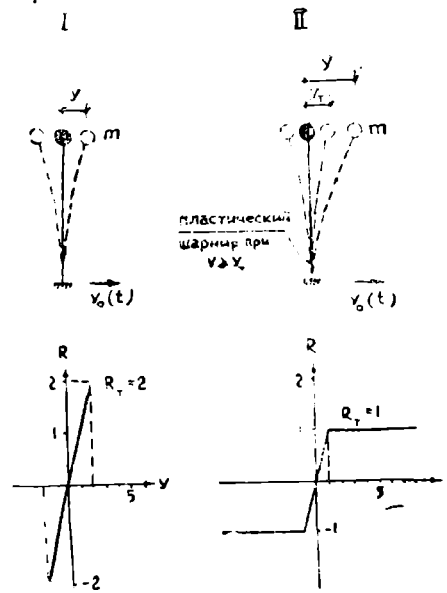


Рис. 1. Схемы и диаграммы деформирования систем.

нии значения скорости  $y=0$ , и система снова работает в упругой стадии, затем в пластической и т. д. По принятому в примере условию перегрузка действует один период  $T_0$ . Затем амплитуда колебания основания снова принимается равной  $a_0=1$ . Максимальный прогиб для упруго-пластической системы  $y=4,6$ .

На рассмотренном примере показано, что при нормальной работе двух систем прогибы их не выходят за пределы упругих деформаций. При увеличении внешнего воздействия в 3 раза система I разрушается, потому что не имеет пластических деформаций, а система II, способная деформироваться в упруго-пластической стадии, продолжает работать.

Таким образом, если определять несущую способность систем, как это делается при расчете конструкций в упругой стадии, через величину силы, которую система может воспринимать, то при движении основания с амплитудой  $a_0=1$  в системе I используется 50% несущей способности, а в системе II — 100%. При действии перегрузки (то есть в какой-то момент основание приобретает повышенное смещение — «пик» с устроенным значением амплитуды) система, работающая только по упругой схеме, разрушается, то есть действующая на нее инерционная сила превышает ее несущую способность. Вторая же система, хотя она уже несла нагрузку, равную 100% ее несущей способности, действие перегрузки легко переносит за счет образования пластических деформаций. И чем большие пластические деформации могут в ней развиваться, тем большую перегрузку система может выдерживать.

Рассмотренный эффект действия перегрузок относится только к нагрузкам, возникающим в результате движения основания. Кроме таких динамических нагрузок, всякая конструкция несет еще и статическую вертикальную нагрузку. Поэтому доля деформаций, вызываемых сейсмическим воздействием, обычно является лишь некоторой частью в общем комплексе всех других деформаций, и описанный эффект отдельных сейсмических перегрузок нужно относить только к деформациям, вызываемым сейсмическими нагрузками. В этом случае опасность действия перегрузок для сохранности сооружений соответственно понизится.

Из сказанного следует, что наиболее рационально можно использовать конструкции с малыми пластическими деформациями в тех случаях, когда доля деформаций, вызываемых сейсмическим воздействием, будет минимальна. Естественно, что это условие легче выполнить для сооружений, строящихся в районах с 7-балльной сейсмичностью и более трудно — в районах с 9 баллами.

Приведенный анализ движения систем при перегрузке связан с решением дифференциальных уравнений движения. Такой метод, разумеется, не может быть рекомендован для практического использования, так как он требует большого объема вычислительных работ. Поэтому ниже приводится методика проверки сейсмостойкости систем при действии сейсмических перегрузок, основанная на сравнении энергий деформаций. Методика расчета построена по аналогии с методикой расчета упругих систем, принятой в Нормах (СНиП II-A, 12—62).

При расчете на сейсмостойкость по упругой стадии несущая способность сооружения характеризуется величиной силы, которую сооружение способно выдержать. Это условие соблюдается при проектировании путем выбора таких прочностных характеристик, которые позволяют элементам сооружения воспринимать приходящуюся на них нагрузку. В целом для сооружения величина максимальной восстанавливающей силы ( $R^{\max}$ ) должна быть не меньше величины внешней нагрузки ( $S$ )

$$R^{\max} \geq S. \quad (5)$$

Это неравенство может служить условием неразрушаемости или условием сейсмостойкости упругих систем.

Для упруго-пластических систем при таком условии наиболее удобно использовать неравенство работ. Если при каком-либо внешнем воздействии величина энергии, которая сообщается системе при максимальной ее деформации, будет  $N$ , а работа, необходимая для доведения системы до разрушения, равна  $N^{\max}$ , то условие неразрушаемости будет иметь вид

$$N^{\max} \geq N. \quad (6)$$

Здесь  $N^{\max}$  характеризует несущую способность системы.

Несущая способность (работа) для удобства сравнения с упругими системами может быть также представлена в виде реакции (силы) некоторой фиктивной упругой системы. Для этого заменим упруго-пластическую систему фиктивной упругой системой так, чтобы работа деформирования фиктивной системы была равна работе деформирования упруго-пластической системы

$$N^{\max} = \frac{1}{2} R_{\phi}^{\max} y_{\phi}^{\max}, \quad (7)$$

где  $R_{\phi}^{\max}$  — значение восстанавливающей силы для фиктивной упругой системы;

$y_{\phi}^{\max}$  — прогиб упругой системы при действии реакции  $R_{\phi}^{\max}$ .

Примем частоту собственных колебаний выбранной фиктивной упругой системы, равную частоте собственных колебаний упруго-пластической системы при колебаниях ее в пределах упругой стадии. Тогда формула (7) примет вид

$$N^{\max} = \frac{(R_{\phi}^{\max})^2}{2k}, \quad (8)$$

где  $k$  — коэффициент жесткости упруго-пластической системы при деформировании ее в упругой стадии. Отсюда несущая способность упруго-пластической системы в предположении, что она работает упруго вплоть до разрушения, будет

$$R_{\phi}^{\max} = \sqrt{2kN^{\max}}. \quad (9)$$

Аналогично значение внешней нагрузки для фиктивной упругой системы [2]

$$S_{\phi} = \sqrt{2kN}. \quad (10)$$

Теперь условие неразрушаемости упруго-пластической системы можно записать в виде

$$R_{\phi}^{\max} \geq S_{\phi}. \quad (11)$$

Несмотря на то, что это условие выражено в виде неравенства сил, физическая сущность остается прежней, то есть работа, которая должна быть затрачена для доведения несущих конструкций до пре-

дельного состояния (разрушения), должна быть больше, чем работа деформации при внешнем воздействии (землетрясении).

В настоящее время нет еще полной ясности о работе материала за пределами упругости при многократном повторно-переменном деформировании под действием динамической нагрузки. Поэтому точное определение несущей способности представляется довольно трудной задачей. В этой связи необходимо принять упрощающие предположения. На основании экспериментальных данных [3, 4] приближенно можно принять, что при незначительном числе циклов повторно-переменного динамического нагружения диаграмма деформирования системы соответствует статическому нагружению. Несущую способность системы в этом случае можно подсчитать как площадь такой диаграммы при однократном статическом нагружении до предельного состояния. Величина работы деформации упруго-пластической системы при доведении ее до предельного состояния будет равна сумме работ упругих и пластических деформаций

$$N^{\max} = N_{\text{упр}} + N_{\text{пл}} . \quad (12)$$

Большинство исследователей пользуется диаграммой Прандтля или линеаризованной диаграммой с учетом упрочнения. Если рассматривать систему с идеальной упруго-пластической диаграммой деформирования и считать, что коэффициент жесткости ( $k$ ) системы после прекращения действия нагрузки, вызвавшей пластические деформации, не изменяется, то

$$N_{\text{упр}} = \frac{1}{2} R_T y_T = \frac{R_T^2}{2k} , \quad (13)$$

где  $R_T$  — максимальное значение восстанавливающей силы для упруго-пластической системы;  $y_T$  — начальный прогиб в момент начала пластических деформаций в этой системе.

Подставив (13) в (12), а затем в (9), получим несущую способность упруго-пластической системы, выраженную через реакцию фиктивной упругой системы, в следующем виде:

$$R_{\Phi}^{\max} = \sqrt{R_T^2 + 2kN_{\text{пл}}} . \quad (14)$$

Значение  $R_T$ , представляющее собой величину максимальной восстанавливающей силы, для конкретной упруго-пластической системы определяется статическим расчетом, исходя из принятой расчетной схемы и прочностных характеристик конструкций. Значение  $N_{\text{пл}}$  определяется как произведение момента текучести ( $M_T$ ) на угол перелома в пластическом шарнире ( $\varphi$ ). Для стальных изгибаемых элементов момент  $M_T$  равен произведению предела текучести ( $\sigma_T$ ) на пластический момент сопротивления, то есть  $M_T = \sigma_T W_{\text{пл}}$ . Для железобетонных элементов при образовании пластического шарнира момент можно брать относительно центра сжатой зоны, он будет равен  $M_T = \sigma_T F_a z$ , где  $z$  — плечо внутренней пары сил в рассматриваемом сечении;  $F_a$  — площадь сечения растянутой арматуры.

Таким образом, предлагаемая методика расчета на сейсмостойкость зданий и сооружений (расчетная схема которых может быть представлена системой с одной степенью свободы) с учетом пластических деформаций состоит, в принципе, в сравнении энергии деформации конструкций под действием сейсмической нагрузки с максимально

возможной работой, необходимой для доведения этих конструкций до предельного состояния.

Для пояснения методики проверки сейсмостойкости конструкций на действие сейсмической перегрузки ниже приводится пример расчета.

Дано: железобетонная стойка сечением  $40 \times 40$  см, жестко заделанная в основание и несущая наверху груз  $Q=5000$  кг, бетон марки М-200, арматура класса А-1 (ст. 3).

Коэффициент жесткости стойки  $k=1960$  кг/см. Период собственных колебаний равен 0,32 сек (частота  $p=19,7$  рад/сек). Сейсмическая нагрузка для районов с сейсмичностью 9 баллов будет

$$S = K_c \beta \eta Q = 0,1 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 5000 = 1500 \text{ кг.}$$

Для этой нагрузки при высоте стойки  $H=400$  см изгибающий момент в основании равен

$$M = SH = 1500 \cdot 400 = 600\,000 \text{ кг}\cdot\text{см.}$$

Площадь растянутой арматуры при симметричном армировании и с учетом гибкости стойки равна

$$F_a = F'_a = 6,46 \text{ см}^2.$$

Процент армирования опорного сечения стойки равен

$$\mu = \frac{6,46 \cdot 100}{40 \cdot 36} = 0,45.$$

Максимальная упругая восстанавливающая сила для принятого сечения будет

$$R_T = \frac{S}{m_{кр}} = \frac{1500}{1,2} = 1250 \text{ кг.}$$

Здесь  $m_{кр} = 1,2$ —коэффициент условий работы, принимаемый по СНиП II—А, 12—62. Величина момента при возникновении в опорном сечении пластического шарнира равна

$$M_T = R_T H = 1250 \cdot 400 = 500\,000 \text{ кг}\cdot\text{см.}$$

Для определения работы пластических деформаций воспользуемся значениями угла перелома в пластическом шарнире ( $\varphi^{\max}$ ), приводимыми в литературе. На основании экспериментальных данных [1], угол  $\varphi^{\max}$  для изгибаемых железобетонных элементов ориентировочно можно принять равным  $\varphi^{\max} = 0,04 \div 0,08$ . Тогда работа пластической деформации железобетонной стойки будет (при  $\varphi^{\max}$  для консоли, равном 0,04)

$$N_{пл} = M_T \varphi^{\max} = 500\,000 \cdot 0,04 = 20\,000 \text{ кг}\cdot\text{см.}$$

Несущая способность по формуле (14) равна

$$R_{\Phi}^{\max} = \sqrt{R_T^2 + 2kN_{пл}} = \sqrt{1250^2 + 2 \cdot 1960 \cdot 20\,000} = 8900 \text{ кг.}$$

Внешнюю нагрузку определим, учитывая четырехкратную сейсмическую перегрузку. Для упругой системы при таких условиях нагрузка будет

$$S = K_c \beta Q = 0,1 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5000 = 6000 \text{ кг.}$$

Для упруго-пластической системы нагрузку определим с учетом пластических деформаций по формуле, приведенной в [2]

$$S_{\Phi} = K_c \left[ \frac{R_T}{S} (\beta - 1) + 1 \right] Q = 0,1 \cdot 4 \left[ \frac{1250}{6000} (3 - 1) + 1 \right] 5000 = 2840 \text{ кг.}$$

По формуле (1) условие сейсмостойкости будет

$$\begin{aligned} R_{\Phi}^{\max} &> S_{\Phi} \\ 8900 &> 2840. \end{aligned}$$

Проведенная проверка сейсмостойкости железобетонной стойки позволяет сделать вывод, что данная конкретная конструкция в условиях землетрясения силой 9 баллов легко может воспринять перегрузку и не разрушиться.

### В ы в о д ы

1. Показана необходимость проверки несущей способности строительных конструкций на действие сейсмической перегрузки.

2. Конструкции, обладающие значительными пластическими деформациями, легче переносят сейсмическую перегрузку, чем конструкции с ограниченными пластическими деформациями. С повышением сейсмической балльности района строительства это различие в характере восприятия перегрузки повышается.

3. Получено условие неразрушаемости конструкций в виде неравенства работ внешних и внутренних сил.

4. Предложена методика расчета несущей способности конструкций, работающих за пределом упругости, на действие сейсмической перегрузки.

Институт сейсмостойкого строительства  
Госстроя Туркменской ССР

Поступило  
19 апреля 1963 г.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Медведев С. В. — Инженерная сейсмология. Госстройиздат, 1962.
2. Ванфуч Ю. И. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 5, 1968.
3. Response Analyzer Committee. Non-linear Response Analyzer and Application to Earthquake Resistant Design. Proc. SWCEE, v. II, 1960.
4. Jacobsen L. S.—Damping in Composite Structures. Proc. SWCEE, v. II, 1960.
5. Гвоздев А. А. — Строительная промышленность, № 1—2, 1943.

УДК 621.036.5

А. НАЗАРОВ

## СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА СОЛНЕЧНЫХ ПЕЧАХ

При проведении теплофизических исследований на солнечных печах наиболее важной и сложной задачей является надежное измерение высоких температур в диапазоне  $1500 \div 3000^\circ\text{C}$ . Помимо обычных трудностей, возникающих при измерении высоких температур, в данном случае появляются еще и специфические из-за весьма малых размеров контролируемой площадки, наличия мощного фона паразитных отражений, заметного влияния на температурное поле исследуемого образца кондуктивных потоков тепла по его коммуникациям и лучистого теплообмена с близко расположенными объектами. Поскольку размеры визируемой «точки» не превышают  $0,5\text{—}1,0$  мм, уровень световых потоков при температурах вблизи  $1500^\circ\text{C}$  (в коротковолновой области спектра) будет порядка  $10^{-7}$  лм и менее. При этом полезный сигнал может оказаться соизмеримым с собственным шумом чувствительного элемента и первых каскадов усилительного тракта, в результате чего температура объекта будет измеряться с большой погрешностью.

Применение на солнечных печах существующих методов измерения температуры встречает, как правило, известные затруднения. Контактные методы существенно искажают тепловой баланс контролируемой «точки» вследствие теплоотвода по электродам термопары и затенения электродами падающего потока. Изменение температурного поля будет особенно заметно на исследуемых образцах с плохой теплопроводностью и малыми размерами при высоких температурах.

Основное преимущество бесконтактных методов измерения температуры заключается в том, что измерение температуры осуществляется по собственному излучению нагретого тела, чувствительный элемент не соприкасается с нагретой поверхностью и погрешности, связанные с нарушением теплового баланса контролируемой площадки, отсутствуют. Однако бесконтактные методы не учитывают специфические особенности солнечных печей: при температурах вблизи  $1500^\circ\text{C}$  (в синей области спектра) резко уменьшается спектральная интенсивность излучения поверхности тела и световой поток вследствие малых размеров объекта достигает уровня  $10^{-7}$  лм. Из-за ограниченности чувствительности фотоприемника такой уровень полезного сигнала теряется внутри шума и измерить точно температуру невозможно, что особенно за-

метно при угле визирования прибора меньше  $\frac{1}{300}$ , то есть когда размер визируемого объекта в 300 раз меньше расстояния от прибора до объекта.

Специфические условия обогрева исследуемых объектов в фокусе солнечных печей требуют разработки такого способа измерения температуры поверхностей, при котором погрешность измерения была бы меньше, чем при использовании известных способов.

Поставленную цель повышения точности измерения можно достичь за счет уменьшения инструментальной погрешности прибора, используя более длинноволновый участок спектра, где уровень сигнала на 2 ÷ 3 порядка выше. Суть предлагаемого способа измерения температур заключается в том, что два чувствительных элемента\* (на двух участках спектра) в процессе измерения перемещаются по спектру так, чтобы поддерживать постоянными отношение спектральных интенсивностей

излучения  $\frac{E_1}{E_2} = \text{const}$  и отношение длин волн, соответствующих рабочим участкам спектра  $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = k = \text{const}$ , где  $E_1, E_2$  — интенсивности излучения на длинноволновом ( $\lambda_1$ ) и коротковолновом ( $\lambda_2$ ) участках спектра.

Как известно, в соответствии с уравнением Планка (или Вина при  $\frac{c_1}{\lambda T} \gg 5$ ) отношение спектральных интенсивностей излучения серых (твердых, жидких) тел выражается в виде

$$\frac{E_1}{E_2} = \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5 \cdot e^{\frac{c_2}{T} \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)} = \frac{1}{k^5} \cdot e^{\frac{c_2}{T \lambda_1} (k-1)}.$$

Выдерживая условия  $\frac{E_1}{E_2} = \text{const}$ ;  $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \text{const}$ , после очевидных преобразований получим

$$T \lambda_1 = \text{const} \text{ или } T = f(\lambda_1).$$

Следовательно, температура исследуемого объекта будет однозначной функцией  $\lambda_1$ , то есть положения одного из чувствительных элементов.

Предлагаемый способ позволяет значительно повысить точность измерения цветовых температур за счет существенного улучшения отношения «сигнал—шум»  $\frac{E_{\text{сигн}}}{E_{\text{шум}}}$ . В табл. 1 показаны интенсивности из-

лучения ( $E$ ) при методе «красно-синего отношения» и предлагаемом способе (при всех прочих равных условиях). Все значения  $E$  для всех температур при выбранных длинах волн найдены в безразмерных величинах, принимая за единицу величину интенсивности излучения  $E_2 = 1$  (при температуре  $1500^\circ\text{C}$  и  $\lambda_2 = 0,45$  мкм).

\* Имеется в виду, что чувствительные элементы имеют широкую спектральную характеристику.

## Интенсивность излучения

Метод „красно-синего отношения“					Предлагаемый способ			
$T^{\circ}\text{C}$	$\lambda$ [мкм]	$E$	$\frac{E_1}{E_2}$	$\gamma$	$\lambda$ [мкм]	$E$	$\frac{E_1}{E_2}$	$\gamma$
1500	$\lambda_2 = 0,45$ $\lambda_1 = 0,65$	$E_2 = 1$ $E_1 = 40,7$	40,7	-5,56	$\lambda_2 = 0,738$ $\lambda_1 = 1,62$	$E_2 = 99,5$ $E_1 = 776$	7,8	-6,02
2000	$\lambda_2 = 0,45$ $\lambda_1 = 0,65$	$E_2 = 53,7$ $E_1 = 660$	12,3	-4,36	$\lambda_2 = 0,576$ $\lambda_1 = 1,268$	$E_2 = 347$ $E_1 = 2630$	7,8	-6,01
2500	$\lambda_2 = 0,45$ $\lambda_1 = 0,65$	$E_2 = 676$ $E_1 = 3720$	5,5	-3,56	$\lambda_2 = 0,472$ $\lambda_1 = 1,04$	$E_2 = 934$ $E_1 = 7250$	7,86	-6,02
3000	$\lambda_2 = 0,45$ $\lambda_1 = 0,65$	$E_2 = 3980$ $E_1 = 12900$	3,24	-3,02	$\lambda_2 = 0,4$ $\lambda_1 = 0,88$	$E_2 = 2020$ $E_1 = 15850$	7,85	-6,00

Величина  $\gamma$  показывает, на сколько процентов изменяется отношение интенсивностей излучения при изменении температуры на 1%

$$\Delta \frac{E_1}{E_2}$$

$$\gamma = \frac{d \ln \frac{E_1}{E_2}}{d \ln T} = \frac{\frac{E_1}{E_2}}{\frac{\Delta T}{T}} = - \frac{c_2}{T} \left( \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \right).$$

Результаты вычислений сведены в табл. 1 и показаны на рис. 1, из которых видно, что при самых неблагоприятных условиях (нижний предел измеряемых температур) величина полезного сигнала в предлагаемом способе ( $E_2=99,5$ ) на два порядка превышает величину полезного сигнала ( $E_2=1$ ) по сравнению с методом «красно-синего отношения», что существенно повышает отношение  $\frac{E_{\text{сигн}}}{E_{\text{шум}}}$ , следовательно, уменьшает инструментальную погрешность измерения. Относительная методическая погрешность измерения

$$\frac{\Delta T}{T_{\text{н}}} = \left[ \frac{c_2}{T_{\text{ц}}} \cdot \left( \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \right) \right]^{-1} \cdot \ln \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1}{\gamma} \cdot \ln \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2},$$

где  $T_{\text{н}}$  — истинная температура;  $T_{\text{ц}}$  — цветовая температура.

Из формулы следует, что методическая погрешность обратно пропорциональна величине  $\gamma$ . Как показано в табл. 1 и рис. 1, рабочие участки для чувствительных элементов в предлагаемом способе выбраны так, что величина  $\gamma$  во всем диапазоне измеряемых температур

оказывается больше (при прочих равных условиях) величины  $\gamma$  при методе «красно-синего отношения». Следовательно, методическая погрешность в предлагаемом способе меньше.

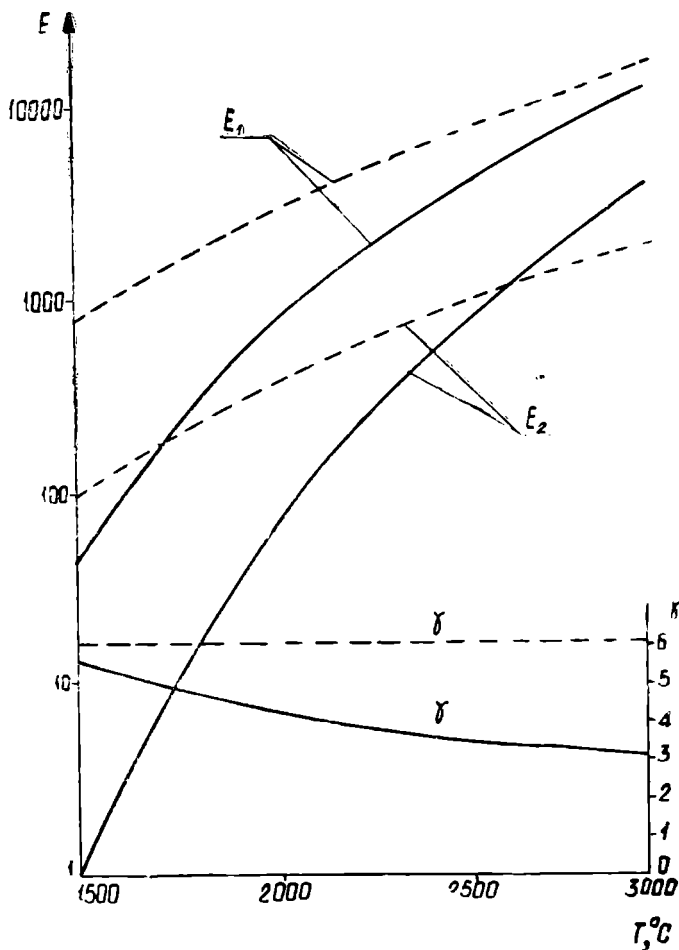


Рис. 1. Интенсивность излучения: — — метод «красно-синего отношения»; - - - - предлагаемый способ.

Чувствительность прибора ( $\alpha$ ), построенного на основе предлагаемого способа, характеризуется отношением приращения напряжения  $\Delta u$  на выходе чувствительного элемента (фотоиода) к вызывающему это приращение изменению температуры  $\Delta T$

$$\alpha = \frac{\Delta u}{\Delta T} \sim \gamma.$$

Очевидно, чувствительность прямо пропорциональна величине  $\gamma$ .

Из табл. 1 и рис. 1 следует другое преимущество предлагаемого способа — меньший диапазон регулирования светового потока.

Зависимость между температурой и длиной волны в случае постоянства спектральной характеристики чувствительного элемента выражается зависимостью.

$$T\lambda_1 = \text{const} \text{ или } T = f(\lambda_1).$$

Однако спектральная характеристика чувствительного элемента по спектру неравномерна, поэтому зависимость между температурой и длиной волны будет несколько иной

$$\begin{aligned} \frac{u_1}{u_2} &= \frac{\beta_1(\lambda_1) \cdot E_1}{\beta_2(\lambda_2) \cdot E_2} = \frac{\beta_1(\lambda_1) \cdot E_1}{\beta_2 \left( \frac{1}{k} \cdot \lambda_1 \right) \cdot E_2} = \varphi(\lambda_1) \cdot \frac{E_1}{E_2} = \\ &= \varphi(\lambda_1) \cdot \frac{1}{k^5} \cdot e^{\frac{c_2}{T\lambda_1}(k-1)} = \text{const}. \end{aligned}$$

Отсюда следует  $T = F(\lambda_1)$ , где  $u_1, u_2$  — электрические сигналы первого и второго чувствительных элементов;  $\beta_1, \beta_2$  — относительная чувствительность по спектру первого и второго чувствительных элементов.

Эта новая зависимость между температурой  $T$  и длиной волны  $\lambda_1$  учитывается при градуировке. Таким образом, неравномерность спектральной характеристики чувствительных элементов не создает дополнительных трудностей при осуществлении предлагаемого способа измерения температур.

#### Выводы

1. Предложен новый способ измерения высоких температур (1500 ÷ 3000°C) оптическим методом, обладающий высокой чувствительностью.

2. Предложенный способ может быть применен для измерения температур очень малых образцов (с угловым диаметром до  $\frac{1}{300}$ ) тугоплавких материалов при теплофизических исследованиях на солнечных печах.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
27 мая 1968 г.

УДК 621 382

Я. АГАЕВ  
Н. Г. БЕКМЕДОВА

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОСФИДА ИНДИЯ

Фосфид индия, обладающий сравнительно большой подвижностью электронов ( $3 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^3$  см<sup>2</sup>/в сек при 300°К) и шириной запрещенной зоны ( $E_0 \sim 1,35$  эв), является ценным полупроводниковым материалом для изготовления эффективных преобразователей солнечной энергии, транзисторов, детекторов видимого и инфракрасного излучения для обнаружения корпускулярного и глубокого проникающего излучения.

Несмотря на перспективность использования указанного материала, не все его физические свойства достаточно изучены. Так, в ранних работах ширина запрещенной зоны, определенная по электрическим измерениям и поглощению света [1, 2, 3], при комнатной температуре не превышала 1,27 эв. В одной из последних работ [4] по результатам поглощения света  $E_0$  дается равной 1,3475 эв. В работах по фотопроводимости [5, 6] экспериментальные результаты для одних образцов дают ширину запрещенной зоны 1,27 эв, для других — 1,35 эв. Нет достаточной ясности и в других вопросах зонной структуры фосфида индия.

В данной работе изучались оптические свойства фосфида индия при 300°К как в области собственного и примесного поглощения, так и при энергиях, превосходящих  $E_0$ .

### Методика измерения и результаты

Для исследования были взяты поликристаллические образцы *n*-типа с концентрацией носителей тока  $8 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. Концентрация рассчитывалась по постоянной Холла, измеренной при комнатной температуре; спектры отражения и поглощения в инфракрасной области измерялись на спектрофотометре ИКС-14, приемником излучения в котором служил висмутовый болометр с пороговой чувствительностью  $2 \cdot 10^{-10}$  ватт. Спектральная ширина щели прибора при 0,8 мк составляла  $15 \cdot 10^{-4}$  эв, скорость сканирования  $15 \cdot 10^{-4}$  эв/мин. Спектр диффузного отражения в видимой области был получен на регистрирующем спектрофотометре СФ-10.

Для получения спектров поглощения образец приклеивался к подложке из КВг клеем ЭКС (на основе эпоксидной смолы), а затем доводился до толщины 10—15 мк. Всего было пять образцов из одного слитка. В каждый канал прибора при измерении спектра поглощения ставилось по образцу. Разность толщин двух образцов составляла 2—6 мк,

Специальных исследований по влиянию способа обработки поверхности на спектр поглощения не проводилось. Влияние натяжения, возникающего при наклеивании образца на подложку, пренебрежимо мало, как это показано в [4].

Спектр поглощения измерялся в области собственного и примесного поглощения. Так как образцы ставились в оба канала прибора, то мы могли не учитывать коэффициента отражения и вычисляли коэффициент поглощения по обычной формуле

$$\kappa = \frac{1}{\Delta d} \ln \frac{I_1}{I_2},$$

где  $\Delta d$  — разность толщин образцов в I и II каналах;  $I_1, I_2$  — падающий и прошедший лучи.

Так как ошибка в определении  $\Delta d$  большая, то и  $\kappa$  — показатель поглощения — измерялся с большой ошибкой. Ширина запрещенной зоны, определяемая по длине волны, при которой поглощение составляет половину максимального, равна 1,27 эв. Показатель поглощения в максимуме  $\sim 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$ . Однако абсолютный максимум показателя поглощения не достигнут в данном случае. Отсюда, ширина запрещенной зоны больше 1,27 эв.

Как известно, при ряде предположений получается для  $K=0$ , то есть для прямого перехода,  $\kappa \sim (h\nu - E_0)^{1/2}$  и для  $K \neq 0$ , то есть для непрямого перехода,  $\kappa \sim (h\nu - E_0)^2$ .

Изучение зависимости края поглощения от  $\lambda$  в нашем случае не дает ни одной из подобных зависимостей. По всей вероятности, край поглощения при 1,27 эв соответствует краю примесной зоны, сливающейся с зоной проводимости, так как измерения края поглощения в более чистых образцах [4] с концентрацией  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  дает  $\Delta E_0 = 1,35 \text{ эв}$  при 298°K.

Расчет концентрации по [7], при которой примесная зона перекрывается с зоной проводимости по формуле

$$n_{\text{прим}} \geq 3 \cdot 10^{23} \left( \frac{m^*}{m_0 \cdot \lambda} \right) \text{ см}^{-3},$$

дает значение  $n_{\text{прим}} \gg 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  (при  $m^* = 0,077$ ).

При исследовании спектров поглощения в более коротковолновой области спектра обнаружены небольшие полосы поглощения: 1,17; 0,7; 0,48; 0,33; 0,26; 0,21, 0,17; 0,13 эв, которые, по всей вероятности, относятся к примесным уровням, еще не полностью идентифицированным. Авторы [5] считают уровни 0,17 и 0,49 эв донорными, а уровень 0,33 эв — акцепторным уровнем меди. В области длин волн, больших 14 мк, наблюдали большое число слабых полос поглощения, часть которых можно объяснить комбинацией двух и трех фононных переходов; другая часть, по всей вероятности, соответствует примесным уровням, расположенным близко к вершине валентной зоны.

### Интерференция поглощенных лучей

В некоторых случаях при получении спектров поглощения наблюдалась картина, подобная интерференционной (рис. 1). Был рассчитан показатель преломления в области от 1,55 до 0,5 эв (рабочая область призмы Ф-1).

При расчете показателя преломления исходили из обычной формулы  $N = \frac{2dn}{\lambda}$ ,

где  $N$  — порядок интерференции;  $d$  — толщина образца;  $n$  — показатель преломления;  $\lambda$  — длина волны.

В этой формуле два неизвестных члена — порядок интерференции

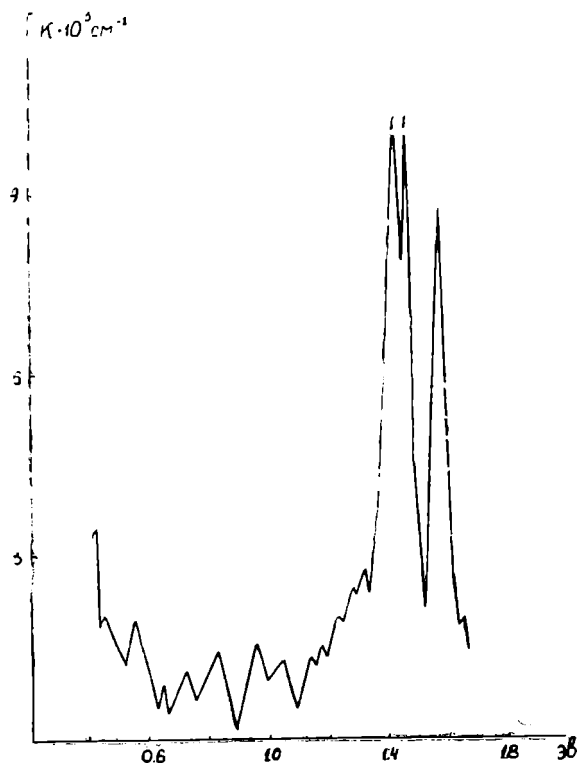


Рис. 1. Интерференционная картина поглощенных лучей в InP.

и показатель преломления. Для интерференционного пика, соответствующего наибольшей длине волны (в нашем случае это 2,3—2,4 мк), принимали  $n$ , равный 3,1 [8], и показатели преломления, соответствующие следующим интерференционным пикам, рассчитывали по формуле

$$n_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_{m-1}} n_{m-1} \mp \frac{\lambda_m}{2d},$$

где  $\lambda_m$ ,  $n_m$ ,  $\lambda_{m-1}$ ,  $n_{m-1}$  — длина волны и показатель преломления для  $m$  и  $m \pm 1$  пика интерференции. Затем находили значение  $\Delta n / \Delta \lambda$ . При монотонном изменении  $n$  с длиной волны  $\Delta n / \Delta \lambda$  должна быть постоянной величиной.

В области же поглощения, связанного как с внутризонным, так и междузонным переходами, изменение  $\Delta n / \Delta \lambda$

не постоянно. Было обработано 10 спектров с интерференционной картиной. Не все спектры дают полностью аналогичную картину.  $\Delta n / \Delta \lambda \approx 0,01$ , однако в некоторых областях спектра  $\Delta n / \Delta \lambda$  достигает значения 0,15—0,3. В 8 случаях из 10 эти всплески значений  $\Delta n / \Delta \lambda$  соответствуют энергиям 1,54, 1,47 и 1,27 эв. В 5 спектрах из 10 — энергиям 1,338, 1,31, 1,04 и 0,7 эв.

### Спектр отраженных лучей

Для получения спектра отражения от InP в области собственного поглощения образцы помещались на поворотное зеркало перед выходной щелью спектрофотометра ИКС-14. Угол падения луча на образец меньше  $90^\circ$ , в частности, поэтому расчет величины коэффициента отражения затруднителен. Минимумы отражения соответствуют энергиям 1,53, 1,46, 1,41, 1,34, 1,27 эв. Сопоставляя результаты, полученные по интерференционным пикам и по спектрам отражения, видим, что в

пределах ошибки измерения значения энергий оптических переходов совпадают. Среднее значение будет соответствовать энергиям 1,54, 1,47, 1,34, 1,27 эв; возможно, что переходы с энергиями 1,41 и 1,31 эв связаны с поверхностными явлениями.

Для изучения спектра отражения света и видимой области спектра использовали регистрирующий спектрофотометр СФ-10 и измеряли диффузное отражение света. Для образцов, поверхность которых обрабатывалась методом механической шлифовки — полировки, наблюдались лишь максимумы при 3,1 и 2,20 эв (рис. 2), для травленных образцов намечается еще дополнительное небольшое увеличение отражения при 1,74 и 2,58 эв. Причем, отражение при 1,74 эв наблюдается не для всех образцов, максимум отражения 2,20 эв у травленных образцов сдвигается до 2,15 эв. В работе [9] для образцов с травленной поверхностью авторы также наблюдали небольшое увеличение отражения при 1,74 эв. Между пиком отражения при 3,15 и 1,74 эв авторы [9] других пиков отражения не наблюдали.

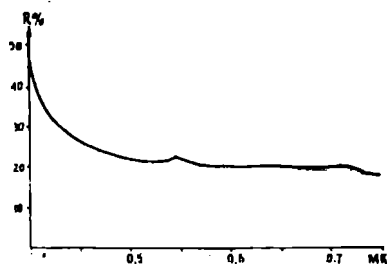


Рис. 2. Диффузное отражение света  $n$ -InP в видимой области спектра.

### Замечания о зонной структуре

По результатам нашей работы, а также принимая во внимание литературные данные, можно предположить, что ширина запрещенной зоны для фосфида индия равна 1,34 эв (переход  $\Gamma_{15v}^{3/2} \rightarrow \Gamma_{1c}$ ). Величина  $\Delta_0$  спин-орбитального расщепления составит 0,2 (переход  $\Gamma_{15v}^{3/2} \rightarrow \Gamma_{1c}$ , соответственный энергии 1,54 эв).

В [9] переходу с уровня, образованного за счет спин-орбитального взаимодействия в минимум валентной зоны, относят энергию 1,70 эв, что дает величину расщепления, равную 0,4 эв. Расчет по формуле

$$\Delta_0 = 1,45 (t''' \Delta_{\sigma\tau}''' + t^v \Delta_{\sigma\tau}^v)$$

дает значение, равное 0,18 эв, что ближе значению  $\Delta_0 = 0,20$  эв, чем  $\Delta_0 = 0,4$  эв. Непрямому переходу  $\Gamma_{15v}^{3/2} \rightarrow X_{1c}$  относим энергию, равную 1,74 эв, а  $\Gamma_{15v}^{3/2} \rightarrow X_{3c}$  — энергию, равную 2,20 эв, и, следовательно, подзона в направлении (100) будет отстоять от основной на 0,4 эв. Подзона в направлении (111) может находиться на 1,24 эв выше основного (переход  $\Gamma_{15v}^{3/2} \rightarrow L_{1c}$ , равный 2,58 эв) и пик отражения при  $E \geq 3,15$  эв соответствует переходу  $L_{3v} \rightarrow L_{1c}$ . Переход с энергией 1,47 эв, возможно, связан с существованием примесного уровня выше диазоны проводимости, но ниже подзоны в направлении (100).

Однако приведенная на рис. 3 схема энергетических уровней не однозначна. По имеющимся данным об энергетических переходах можно построить и другую схему. Для уточнения расположения зон необходимы дальнейшие исследования.

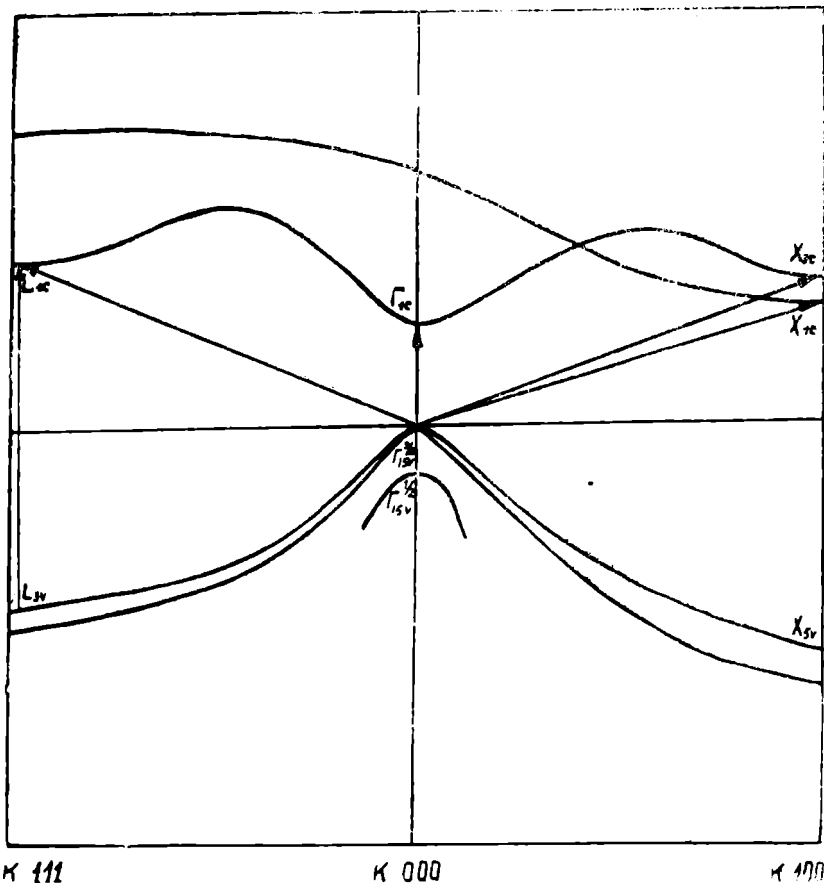


Рис. 3. Зонная структура фосфида индия.

### Выводы

1. Измерены отражение и поглощение света фосфидом индия в широком диапазоне длин волн.
2. Обнаружены различные энергетические уровни как в области примесного поглощения, так и в зоне проводимости.
3. Предлагается возможная зонная структура кристаллов фосфида индия.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
6 июня 1968 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Folbert O. G., Weiss H. — Z. Naturforsch. 10a, 615, 1955
2. Oswald F. — Z. Naturforsch. 14a, 374, 1959.
3. Newman R. — Phys. Rev. 111, 1518, 1958.
4. Turner W. J., Reese W. E., Pettit G. D. — Phys. Rev. 136, A 1467, 1964.
5. Ковалевская Г. Г., Клотыньш Э. Э., Наследов Д. Н., Слободяков С. — ФТТ, 8, 2415, 1966.
6. Ковалевская Г. Г., Наследов Д. Н., Сиукаев Н. В., Слободяков С. В. — ФТТ, 8, 350, 1966.
7. Stern F. — Journ. Phys. Chem. Solids. 9, 93, 1959.
8. Воронкова Е. М., Гречушников Б. Н., Дистлер Г. И., Петров И. П. — Оптические материалы для инфракрасной техники. Изд-во «Наука», М., 1965.
9. Cardona M. — Journ. Applied Phys. 32, 958, 1961.

УДК 621.382.61

Я. КУЛИЕВ  
 В. Ф. КУРЯБИНА

## АНАЛОГОВОЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ ХОЛЛА И ГАУССА

Гальваномагнитные эффекты в полупроводниках находят широкое применение в практике. Простота, надежность и большой динамический диапазон гальваномагнитных приборов позволяют упрощать функциональные схемы сложных устройств аналоговой техники.

В [1] указывалось на возможность одновременного использования эффектов Холла и Гаусса для генерирования трехстепенной функции некоторой аналоговой величины в виде тока. Однако отсутствие в работе каких-либо попыток по анализу и расчету приводимой в ней схемы затрудняет использование полученных результатов.

В настоящей работе авторы задались целью рассчитать и экспериментально проверить схему, аналогичную схеме, приведенной в [1]. Этому способствуют некоторые результаты работ [2, 3].

### Анализ функционального устройства

Рассмотрим схему, приведенную на рис. 1. Левая часть ее представляет собой мост, состоящий из хорошо сбалансированного датчика Холла (ДХ) произвольной формы и резисторов. Выход моста подан на вход дифференциального эмиттерного повторителя со входным сопротивлением  $R_{вх}$ , величина которого значительно превосходит выходное сопротивление моста.

ДХ находится в однородном, меняющемся по величине и направлению вектора индукции магнитном поле, ортогональном к плоскости датчика. Магнитное поле создается током  $I_m$ , протекающим в катушке намагничивания.

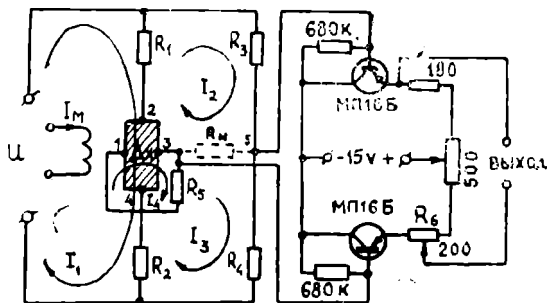


Рис. 1. Схема аналогового функционального устройства.

Полагаем, что полупроводниковый материал ДХ однороден и изотропен по электрическим параметрам, контакты невыпрямляющие, толщина пластины во всех точках одинакова, температура постоянна.

Выделим отдельно мостовую схему, нагруженную сопротивлением  $R_{II}$ . Согласно работе [2], для описания этой схемы можно ограничиться системой уравнений для четырех контурных токов, указанных на рис. 1

$$\begin{cases} I_1(R_1 + R_2 + Z_{24}) + I_2(-R_2 + Z_{32}^{24}) + I_3(-R_2 + Z_{43}^{24}) + I_4 Z_{13}^{24} = U; \\ I_1(-R_1 + Z_{24}^{32}) + I_2(R_1 + R_3 + R_{II} + Z_{23}) + I_3(-R_{II} + Z_{43}^{32}) + I_4 Z_3^2 = 0; \\ I_1(-R_2 + Z_{24}^{43}) + I_2(-R_{II} + Z_{32}^{43}) + I_3(R_2 + R_4 + R_{II} + Z_{34}) + I_4 Z_{13}^{43} = 0; \\ I_1 \cdot Z_{24}^{13} + I_2 \cdot Z_{32}^{13} + I_3 Z_{43}^{13} + I_4(R_5 + Z_{13}) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь, как и в [3],  $Z_{kl}$  — собственные сопротивления ДХ,  $Z_{kl}^{mn}$  — взаимные сопротивления ДХ.

Выходное напряжение между узлами 3 и 5 будет

$$U_{35} = I_1 \cdot R_{II} \cdot \frac{\Delta_{12} + \Delta_{13}}{\Delta_{11}}. \quad (2)$$

Из системы уравнений (1) можно найти, что

$$\Delta_{12} + \Delta_{13} = (Z_{13} + R_5) [R_3(R_2 + Z_{24}^{31}) - R_4(R_1 + Z_{24}^{23})] + Z_{24}^{13}(R_3 Z_{13}^{43} - R_4 Z_{13}^{32}), \quad (3)$$

а также при  $R_{II} \gg R_{\text{вых}}$ , где  $R_{\text{вых}}$  — выходное сопротивление моста.

$$\frac{\Delta_{11}}{R_{II}} \approx R(Z_{13} + R_5), \quad (4)$$

где  $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + Z_{24}$ .

Подставив (3) и (4) в (2), получим

$$U_{35} = \frac{I_1}{R} \left[ R_3(R_2 + Z_{24}^{34}) - R_4(R_1 + Z_{24}^{23}) + \frac{Z_{24}^{13}(R_3 Z_{13}^{43} - R_4 Z_{13}^{32})}{Z_{13} + R_5} \right]. \quad (5)$$

Нужно отметить, что величины собственных и взаимных сопротивлений ДХ зависят от вектора индукции магнитного поля. При этом, согласно [4] и [5], эффект магнитосопротивления несколько отклоняется от известного квадратичного закона, приближаясь к закону степени 1,6.

$$Z_{kl} = R_{kl} (1 + a_{kl} B^{1,6}); \quad (6)$$

$$Z_{kl}^{mn} = R_{kl}^{mn} (1 + a_{kl}^{mn} B^{1,6}) + b_{kl}^{mn} B, \quad (7)$$

$B$  — магнитная индукция;  $a_{kl}^{mn}$  и  $b_{kl}^{mn}$  — коэффициенты эффектов магнитосопротивления и Холла соответственно, определяются опытным путем.

Рассмотрим подробнее выражение (5). Предположим, выполняются условия:  $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \gg Z_{24}$  и  $R_5 = \infty$ . Тогда, если учесть (6) и (7), выражение (5) примет вид

$$\begin{aligned} U_{35} = \frac{I_1}{R} \{ [R_3(R_2 + R_{24}^{31}) - R_4(R_1 + R_{24}^{23})] + \\ + (R_3 + R_4) b_{24}^{34} B + (R_3 R_{24}^{34} a_{24}^{34} - R_4 R_{24}^{23} a_{24}^{23}) B^{1,6} \}. \end{aligned} \quad (8)$$

Если на рис. 1 ток  $I_1$  пропустить через катушку намагничивания и положить  $B = I_1 \cdot \alpha$ , где  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности, то равенство (8) можно представить в виде

$$U_{35} = A_1 I_1 + A_2 I_1^2 + A_3 I_1^{2,6}, \quad (9)$$

где

$$A_1 = \frac{R_3(R_2 + R_{24}^{34}) - R_4(R_1 + R_{24}^{23})}{R}; \quad (10)$$

$$A_2 = \frac{\alpha(R_3 + R_4)b_{24}^{34}}{R}; \quad (11)$$

$$A_3 = \frac{\alpha^{1,6}(R_3 R_{24}^{34} a_{24}^{34} - R_4 R_{24}^{23} a_{24}^{23})}{R}. \quad (12)$$

На выходе эмиттерного повторителя к сигналу (9) можно добавить постоянную составляющую  $A_0$  любого знака при помощи сопротивления  $R_6$ . Таким образом, при выполнении вышеуказанных условий на выходе схемы рис. 1 будем иметь степенную функцию тока  $I_1$ , коэффициенты которой могут быть изменены в определенных пределах, согласно равенствам (10) ÷ (12).

В том случае, когда величина сопротивления  $R_5$  равна нулю или нескольким омам, в правую сторону выражения (8) добавляются дополнительные члены, обусловленные последним членом равенства (5). При этом выражение для выходного напряжения  $U_{35}$  несколько усложняется и мы не сочли необходимым приводить его.

Электрические параметры ДХ, входящие в выражение (5), могут быть непосредственно замерены опытным путем.

### Результаты экспериментальной работы

Целью экспериментальной работы было снятие характеристик схемы, приведенной на рис. 1, и сопоставление полученных результатов с расчетными значениями при различных значениях сопротивления  $R_5$ .

ДХ был изготовлен произвольной формы из чистого InSb; напряжение неэквивипотенциальности электродов Холла устранялось хорошо. С целью создания однородного магнитного поля применили электромагнит, между плоскими наконечниками которого воздушный зазор составлял около 20 мм. Все замеры производились компенсационным методом при относительно постоянной комнатной температуре и отсутствии эмиттерного повторителя.

Для облегчения расчетов приняли  $I_1 = 1,0$  ма. Собранная схема имела следующие электрические параметры элементов (в омах):  $R_1 = 20,3$ ;  $R_2 = 0$ ;  $R_3 = 239$ ;  $R_4 = 33$ ;

$$R_{11} = \infty; R_{18} = 18,8; R_{24} = 10,2; R_{13}^{23} = R_{13}^{43} = 9,84; R_{24}^{23} = 6,52; R_{24}^{34} = 3,65; R_5 = (0; 14; 40; \infty); a_{13}^{32} = a_{13}^{43} = 2,4 \text{ тл}^{-1,6}; a_{24}^{23} = 2,5 \text{ тл}^{-1,6}; a_{24}^{34} = 4,8 \text{ тл}^{-1,6}; b_{24}^{14} = b_{13}^{43} = 10 \text{ ом} \cdot \text{тл}^{-1}; b_{24}^{43} = 12,5 \text{ ом} \cdot \text{тл}^{-1}.$$

На рис. 2 приведены кривые как расчетных, так и экспериментально замеренных значений выходного напряжения в функции индукция магнитного поля для четырех различных значений сопротивления  $R_5$ .

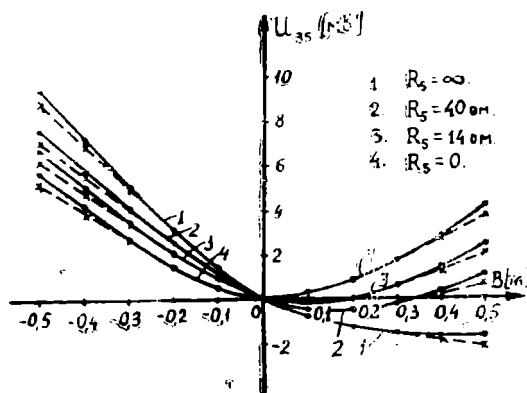


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения функционального устройства от индукции магнитного поля для различных значений  $R_s$ . --- Расчетные значения; — экспериментальные.

транзисторов при отсутствии входного сигнала, что важно для нормальной работы всей схемы.

### Выводы

Простота и достаточная для многих практических целей точность работы рассмотренной схемы ( $3 \div 5\%$ ) позволяют сделать заключение, что она может быть с успехом применена для целей аналоговой техники. При этом желательно, чтобы диапазон изменения индукции магнитного поля не превышал  $0,1 \div 0,15$  тл.

Для термостабильности работы схемы желательно, чтобы транзисторы были кремниевыми, по возможности идентичными по усилению, а ДХ — изготовленными из арсенида индия.

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
14 мая 1968 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Катаока С., Ямада Х. — ТИРИ, № 12, 1962.
2. Сигорский В. П. — Анализ электронных схем. Гостехиздат, Киев, 1964.
3. Хаак Х., Хейрихсен В. — Тр. Таллинского политехнического института, № 220А, 1965.
4. Погодин В. И. — Измерительная техника, № 9, 1966.
5. Мотто младший — Электроника, № 1, 1962.

Расхождение расчетных и экспериментально измеренных кривых при больших значениях индукции магнитного поля объясняется линеаризацией закона, которому подчиняется эффект Гаусса, что не учитывается при расчетах.

В ходе работы обнаружено, что эмиттерный повторитель не влияет на работу моста, имея коэффициент передачи 0,96 при сопротивлении на выходе 510 ом. Регулировочные сопротивления в эмиттерной цепи позволяют устанавливать нуль между базами тран-

УДК 538.66.546.3--19

Р. Г. АННАЕВ  
 М. З. АЛИ-ЗАДЕ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭДС СИСТЕМЫ СПЛАВОВ КОБАЛЬТ—ГЕРМАНИЙ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Необходимость и важность исследований термомагнитного эффекта вытекает из того факта, что результаты их исследований дают ценные данные для дальнейшего развития теории ферромагнетизма; установление взаимосвязи между ферромагнетизмом, в котором принимают участие внутренние оболочки  $d$ -электроны атома, и явлениями проводимости, обусловленными внешними  $s$ -электронами [1]. Такое исследование необходимо для проверки ряда теоретических соотношений, связывающих величины этих эффектов с магнитным полем, намагниченностью, концентрацией и температурой.

Согласно Р. Г. Аннаеву, эти соотношения для ферромагнетиков аналитически можно записать в виде

$$\alpha_{S,AB}^{(T)} = \alpha_{S,AO}^{(T)} + aB, \quad (1)$$

где  $\alpha_{S,AB}^{(T)}$  — физическая величина сплава  $A-B$  при постоянной данной температуре в полях магнитного насыщения;  $\alpha_{S,AO}^{(T)}$  — та же физическая величина при тех же условиях для состава  $A$ ;  $a$  — коэффициент пропорциональности (тангенс угла наклона прямой (1), зависящий от свойства исследуемого однофазного сплава);  $B$  — концентрации легирующего состава. В частном случае из (1) при  $a < 0$  получим закон компенсации по отношению к термомагнитному эффекту [2]

$$\frac{\Delta E_{S,AB}^{(T_1, T_2)}}{\Delta T} = \Delta E_{S,AO}^{(\tilde{T}=0)} \left[ \frac{1 - \left(\frac{B}{B_0}\right)}{\theta_{AB}} \cdot \tilde{T} \right] \left( 1 - \frac{B}{B_k} \right), \quad (2)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — соответственно температуры горячего и холодного сплав термоэлемента ( $T_1 > T_2$ );  $\Delta T = T_1 - T_2$ ;  $T = \tilde{T} = \frac{T_1 + T_2}{2}$ ;  $\Delta E = \frac{T_1 - T_2}{S_1 A B}$  — величина термомагнитного эффекта сплава  $A-B$  при постоянных температурах сплав  $T_1$  и  $T_2$  в полях насыщения  $H_s$ ;  $\Delta E_{S,AO}^{(\tilde{T}=0)}$  — та же ве-

личина для состава  $A$  при  $T=0$  в полях насыщения;  $B_0$  и  $B_k$  — соответственно критические концентрации точек Кюри  $\Theta_{AB}$  и термомагнитного эффекта сплавов  $A-B$ .

Соотношение (2) справедливо при высоких температурах (вблизи точек Кюри) и полях магнитного насыщения. Применимость же его вблизи полей магнитного насыщения остается неизученной. Поэтому цель данной работы — исследовать продольный четный термомагнитный эффект на сплавах однофазной системы кобальт—германий в широком интервале температур (от комнатной до точки Кюри). Проверить экспериментально справедливость соотношения (2) вблизи полей магнитного насыщения, то есть при постоянном магнитном поле, равном 1500 э, и линейного закона (1) по отношению к точке Кюри и интенсивности намагничивания в зависимости от состава  $B$ , когда  $a < 0$ .

## Исследование и методика измерения

В качестве объектов исследований было изготовлено 8 образцов. Плавление сплавов системы кобальт — германий проводилось в корундовых тиглях высококачественной печи под слоем флюса и из каждого сплава (по методу Степанова) в накалинные фарфоровые трубки с внутренним диаметром 2 мм вытягивались образцы. Затем с целью исследования свойств сплавы подвергались гомогенизации при 1000°C в течение 10 часов. После этого образцы цилиндрической формы подвергались протяжке до 1,5 мм, длиной 250—300 мм.

Перед измерением соответствующих физических параметров с целью снятия внутренних напряжений, возникающих вследствие механических обработок, образцы подвергались повторному отжигу в вакууме, в печи при температуре 1000°C, выдерживались при данной температуре 10 часов и охлаждались вместе с печью. В этом состоянии образцы подвергались исследованию.

Относительное изменение термоэлектрических сил ферромагнетиков под действием магнитного поля в большинстве случаев мало по величине, поэтому при измерении эффектов применяемая установка должна обладать большой чувствительностью.

Измерение термомагнитного эффекта проводилось методом не уравновешенного потенциометра [3]. К неуравновешенному потенциометру подключался зеркальный гальванометр типа М 17/1 с постоянной к напряжению  $1,2 \times 10^{-7}$  в/мм/м. Точность измерений термомагнитного эффекта по нашим наблюдениям дается в пределах от 3 до 6%, а температуры — 0,3°.

## Результаты измерения и их анализ

На рис. 1 представлена зависимость  $\frac{\Delta E}{\Delta T} \cdot 10^3 \frac{\text{в}}{\text{град}}$  от средней температуры  $T$  сплавов кобальт—германий. Для всех исследованных сплавов величина термомагнитного эффекта при полях 1500 э линейно зависит от температуры.

Для сопоставления наших наблюдений с вычислением по (2) необходимо опытное определение величины  $B_k$  одним измерением величины  $\Delta E_{S,AB}(T_1, T_2)$  при каком-либо составе  $B$  в полях магнитного насыщения при постоянных данных температурах  $T_1$  и  $T_2$  и при известной величине  $B_0$ . Таким образом была определена величина  $B_k$ : Но  $B_k = f(\tilde{T})$ . На рис. 2А

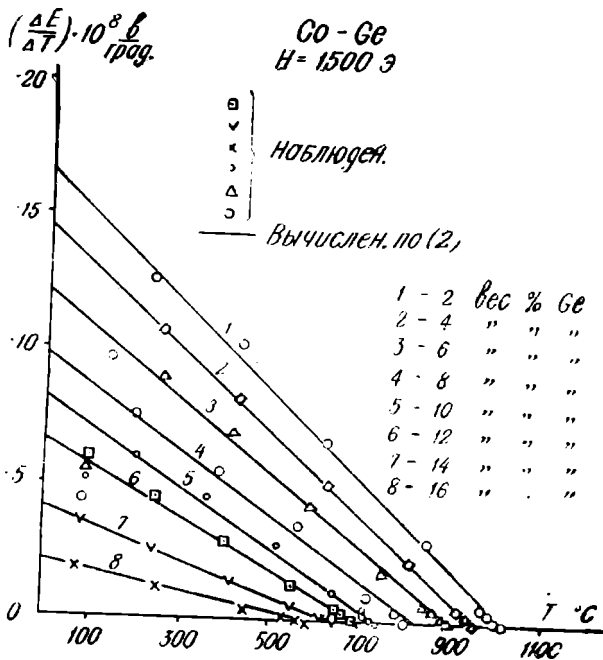


Рис. 1. Зависимость продольного термомагнитного эффекта Томсона—Бахметьева сплавов кобальт—германий при  $H=1500$  э от средней температуры  $T$  сплава термоэлемента.

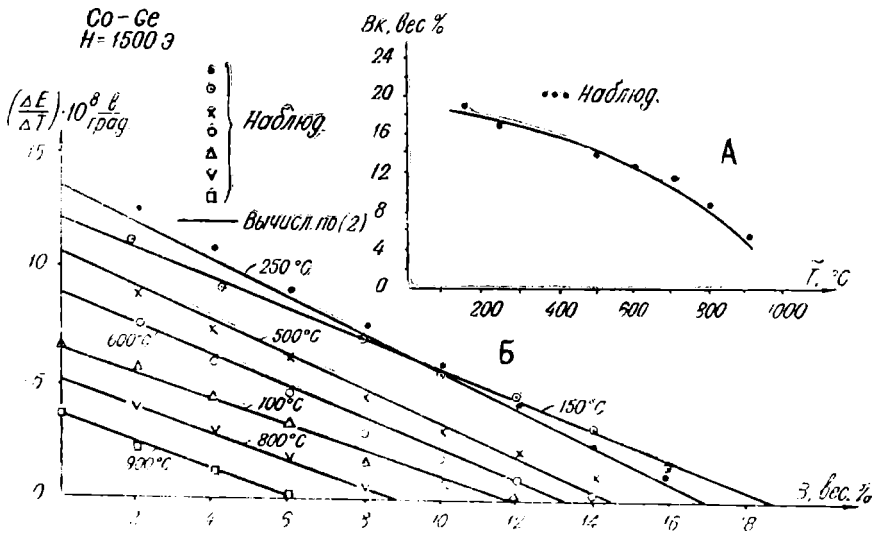


Рис. 2. Зависимость продольного термомагнитного эффекта Томсона—Бахметьева при  $H=1500$  э от содержания легирующего состава  $B$ , в вес.%.  
 А

приведена зависимость  $B_k = f(\bar{T})$  по нашим экспериментальным данным. Для опытного определения величины  $\Delta E_{S, AO}(\bar{T}=0)$  необходимо поле технического насыщения порядка  $H_s = 11$  кэ. В нашей намагничивающей катушке мы могли получить максимальное поле только 1500 э.

Поэтому величину  $\Delta E_{S,AO}^{(T=0)}$  мы определили вычислением на основе (2) зная зависимость  $B_k = f(T)$ .

Вычисленное среднее значение  $\Delta E_{S,AO}^{(\bar{T}=0)}$  оказалось равным

$$16,9 \cdot 10^{-8} \frac{\text{В}}{\text{град}}$$

На рис. 1 и 2 Б сопоставлены наши наблюдения с вычислениями зная величины  $B_k$  и  $\Delta E_{S,AO}^{(\bar{T}=0)}$ .

### Выводы

Исследованы температурные зависимости продольного термомагнитного эффекта Томсона—Бахметьева системы сплавов кобальт—германий (от комнатной температуры до точки Кюри). Показана справедливость (1) и (2).

Туркменский государственный университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
14 июня 1968 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вонсовский С. В. и Шур Я. С. — Ферромагнетизм, ОГИЗ, ГИТТЛ, М.—Л., 1948.
2. Аннаев Р. Г. — Тр. Туркменского сельскохозяйственного института им. М. И. Калинина, т. XI, 1962; Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 6, 1965; Материалы IV Всесоюзного совещания по ферритам, Минск, 1965.
3. Аннаев Р. Г. — Тр. первой межвузовской конференции по современной технике диэлектриков и полупроводников (июнь 1956 г.), Л., 1957.

### РАСЧЕТ ОБОЛОЧЕК ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИЙ СДВИГА

Пологие оболочки положительной Гауссовой кривизны на прямоугольном плане получили в последнее время распространение в строительстве и других областях техники. Несмотря на большое количество опубликованных работ по расчету таких оболочек, все еще недостаточно разработаны практически методы их расчета, не выяснен ряд факторов, позволяющих упростить исходные уравнения.

Многими отмечается, что в открытых цилиндрических и слегка впапушенных в продольном направлении оболочках деформации сдвига оказывают незначительное влияние на напряженно-деформированное состояние поля оболочки. На пренебрежении деформациями сдвига основан „смешанный“ метод В. З. Власова и метод перемещений И. Е. Милейковского. В связи с этим большой интерес представляет исследование влияния деформаций сдвига на величины усилий и прогибов в оболочке положительной кривизны.

Рассмотрим оболочку переноса на прямоугольном плане со сторонами  $l_1$  и  $l_2$  (рис. 1). Круговая поверхность переноса образуется перемещением дуги  $s_1$  окружности радиуса  $R_1$  по дуге  $s_2$  окружности радиуса  $R_2$ . В продольном направлении оболочка более пологая, чем в поперечном ( $R_1 > R_2$ ).

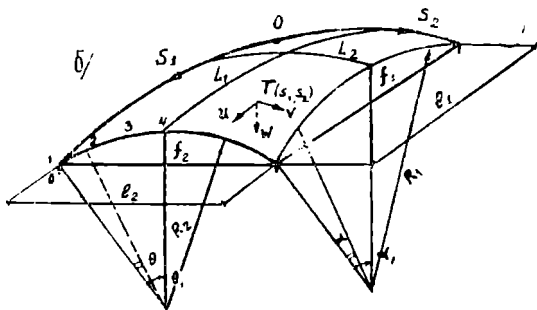
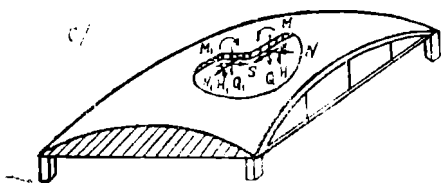


Рис. 1. Схема пологой оболочки положительной кривизны. а) Элементы оболочки; схема внутренних и внешних усилий; б) геометрические размеры, координатные оси и схемы векторов перемещений.

Линии  $s_1$  и  $s_2$  принимаются за координатные, что позволяет рассматривать непологие в поперечном направлении оболочки и строго учитывать геометрию очертания конструкции в местах сопряжения оболочки и диафрагм.

Более крутые диафрагмы на поперечных краях принимаются жесткими в своих плоскостях, а диафрагмы по продольным краям — упругими. Последние могут быть выполнены в виде криволинейного бруса, балки переменного сечения или арки с затяжкой. В работах [1, 2] для расчета оболочек положительной кривизны (и цилиндрических) применялся вариационный метод перемещений, основанный на гипотезах об отсутствии деформаций сдвига и обжатия контура поперечного сечения, причем поверхность оболочки не заменялась вписанной складкой.

Компоненты вектора полного перемещения любой точки срединной поверхности оболочки представим в форме разложений [1]

$$\begin{aligned} u(s_1, s_2) &= \sum_i U_i(s_1) \xi_i(s_2); \\ v(s_1, s_2) &= \sum_k V_k(s_1) \eta_k(s_2); \\ w(s_1, s_2) &= \sum_d W_d(s_1) f_d(s_2). \end{aligned} \quad (1)$$

Примем далее, что деформации сдвига в оболочке не равны нулю, но контур поперечного сечения по-прежнему несжимаем, то есть

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial v(s_1, s_2)}{\partial s_2} - K_2 w(s_1, s_2) = 0. \quad (2)$$

Благодаря этой гипотезе и учитывая формулу (1), можно записать

$$K_2 \sum_d W_d(s_1) f_d(s_2) = \sum_k V_k(s_1) \eta_k(s_2). \quad (3)$$

Непрерывные функции  $f_d(s_2)$  и  $\eta_k(s_2)$  выбираем таким образом, чтобы при  $d=k$  выполнялось равенство

$$\eta_k(s_2) = K_2 f_k(s_2). \quad (4)$$

При этом, чтобы удовлетворялось условие (3), должна существовать зависимость

$$V_k(s_1) = W_d(s_1) = W_k(s_1). \quad (5)$$

Представим теперь неизвестную функцию  $V_k(s_1)$  в виде суммы двух функций

$$V_k(s_1) = Z_k(s_1) + \bar{Z}_k(s_1), \quad (6)$$

где деформированное состояние, представленное функцией  $Z_k(s_1)$ , характеризует собой изгиб и деформацию поперечного сечения оболочки при полном отсутствии деформаций сдвига. Иначе говоря, для этого состояния

$$\gamma = \frac{\partial u(s_1, s_2)}{\partial s_2} + \frac{\partial v(s_1, s_2)}{\partial s_1} = 0$$

или

$$\frac{\partial u(s_1, s_2)}{\partial s_2} = - \frac{\partial v(s_1, s_2)}{\partial s_1}. \quad (7)$$

Учитывая (1) и (4), зависимость (7) перепишем в виде

$$\begin{aligned} \sum_i U_i(s_1) \xi'_i(s_2) &= - \sum_k V'_k(s_1) \eta_{ik}(s_2) = \\ &= - \sum_k Z'_k(s_1) \eta_{ik}(s_2). \end{aligned} \quad (8)$$

Выбирая при  $i=k$  функции  $\xi'_i(s_2) = \eta_{ik}(s_2)$ ,

$$U_i(s_1) = -Z_i(s_1). \quad (9)$$

Функция  $\bar{Z}_R(s_1)$  в формуле (6) учитывает деформации чистого сдвига в плоскости поперечного сечения оболочки.

Зависимость между усилиями и перемещениями выразится следующими основными формулами

$$\begin{aligned} \sigma &= E \left( \frac{\partial u}{\partial s_1} - K_1 w \right) = E \left[ \sum_i Z'_i(s_1) \xi_i(s_2) + \right. \\ &\quad \left. + K_1 \sum_i Z_i(s_1) f_i^B(s_2) + K_1 \sum_k \bar{Z}_k(s_1) f_k^B(s_2) \right]; \\ \tau &= G \left( \frac{\partial u}{\partial s_2} - \frac{\partial v}{\partial s_1} \right) = G \left[ - \sum_i Z'_i(s_1) \xi'_i(s_2) + \right. \\ &\quad \left. + \sum_i Z'_i(s_1) \eta_i(s_2) + \sum_k \bar{Z}_k(s_1) \eta_i(s_2) \right] = \\ &= G \left[ \sum_k \bar{Z}'_k(s_1) \eta_i(s_2) \right]; \\ M &= -EI \frac{\partial}{\partial s_2} \left( \frac{\partial w}{\partial s_2} + K_2 v \right) = - \sum_{i,k} \left[ Z_i(s_1) + \right. \\ &\quad \left. + \bar{Z}_k(s_1) \right] M_i(s_2), \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$M_i(s_2) = EI \left[ f'_i(s_2) + K_2 \eta_i(s_2) \right]' = EI \varphi_i'(s_2).$$

Для вывода основных дифференциальных уравнений равновесия оболочек двойной кривизны с учетом деформаций сдвига будем исходить из интегральных условий равновесия элементарной полоски оболочки [1].

Не приводя подробных выкладок, напомним окончательно для полумоментной теории\* следующую систему дифференциальных уравнений

\* Без учета продольных и крутящих моментов.

$$\begin{aligned}
 & E \sum_i a_{ji} Z_i^{IV}(s_1) - E \sum_i K_1 c_{ji} \bar{Z}_i(s_1) + \\
 & - E \sum_i (s_{ji} - K_1^2 r_{ji}) Z_i(s_1) + E \sum_k K_1 \bar{c}_{ji} Z_k''(s_1) \\
 & + E \sum_k (s_{ji} - K_1^2 r_{ji}) Z_k(s_1) - p_j^1 - q_j = 0; \\
 & E \sum_i K_1 \bar{c}_{ij} Z_i''(s_1) - E \sum_i (s_{ij} - K_1^2 r_{ij}) Z_i(s_1)
 \end{aligned} \quad (11)$$

$$G \sum_k g_{ji} \bar{Z}_k'(s_1) - E \sum_k (s_{ji} - K_1^2 r_{ji}) Z_k(s_1) - q_j = 0;$$

( $j, i, k = 0, 1, 2, \dots$ ).

Коэффициенты  $a_{ji}$ ,  $c_{ji}$ ,  $r_{ji}$  и  $s_{ji}$  этих уравнений, благодаря соответствующему выбору единичных функций  $\bar{z}_i(s_2)$ ,  $\tau_{ij}(s_2)$ ,  $f_i(s_2)$  и  $\varphi_i(s_2)$ , можно полностью взять из расчета упругих оболочек без учета деформаций сдвига [2]. Коэффициенты  $g_{ji}$ , характеризующие жесткость поперечного сечения оболочки на сдвиг, вычисляются по формуле

$$g_{ji} = \int_b^a \delta \tau_{ij}(s_2) \tau_{ij}(s_2) ds_2. \quad (12)$$

Уравнения (11) метода перемещений представляют собой обобщение уравнений равновесия пологих оболочек двойкой кривизны без учета деформаций сдвига и обжатия контура поперечного сечения.

Развернутая матрица дифференциальных уравнений (табл. 1), соответствующая (11), состоит из  $(i+k)$  линейных дифференциальных уравнений четвертого и второго порядков относительно искомым функций  $Z_i(s_1)$  и  $Z_k(s_1)$ . Матрица обладает симметричной структурой и состоит из четырех квадрантов. Первый квадрант характеризует деформированное состояние оболочки, определенное в предположении отсутствия деформации сдвига, четвертый — учитывает деформацию чистого сдвига. Второй и третий побочные квадранты отображают взаимное влияние этих двух видов деформации.

Для однопролетной оболочки с шарнирным опиранием по торцам обобщенные функции перемещений, а также нагрузку можно разложить в одинарные тригонометрические ряды [2] и матрица дифференциальных уравнений (табл. 1) преобразуется в матрицу алгебраических уравнений.

Интересно сравнить полученные вариационные уравнения с известными уравнениями В. З. Власова для расчета цилиндрических и призматических оболочек с учетом деформаций сдвига.

Уравнения В. З. Власова [3]:

$$\begin{aligned}
 & \gamma \sum_i a_{ji} U_i'' - \sum_k b_{ji} U_i - \sum_k c_{jk} V_k + \frac{1}{G} p_i = 0; \\
 & \sum_i c_{hi} U_i - \sum_k r_{hk} V_k'' - \gamma \sum_k s_{hk} V_k + \frac{1}{G} g_h = 0.
 \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь неизвестные линейно независимые функции  $U_i$  и  $V_k$  выражают соответственно деформации элементарной полоски оболочки (рамы) из ее плоскости и в плоскости сечения этой полоски. Функции  $U_i$  и  $V_k$  представляют (по В. З. Власову) обобщенные продольные и поперечные перемещения оболочки.

Матрица дифференциальных уравнений при симметричной нагрузке

$Z_i$ $i$	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_i$	$Z_1$	$Z_2$	$\vdots$	$Z_i$	Свободные члены	
0	$a_{00}D^4$	$a_{01}D^4 - c_{01}K_1D^2$	$a_{02}D^4 - c_{02}K_1D^2$	$\vdots$	$a_{0i}D^4 - c_{0i}D^2$	$c_{02}K_1D^2$	$c_{02}K_1D^2$	$\vdots$	$c_{01}K_1D^2$	0
1	•	$a_{11}D^4 + c_{11}K_1D^2 - r_{11}K_1^2$	$a_{12}D^4 + c_{12}K_1D^2 + r_{11}K_1^2$	$\vdots$	$a_{1i}D^4 + c_{1i}D^2 + r_{1i}K_1^2$	$\bar{c}_{11}K_1D^2 - r_{11}K_1^2$	$\bar{c}_{12}K_1D^2 - r_{12}K_1^2$	$\vdots$	$\bar{c}_{1i}K_1D^2 - r_{1i}K_1^2$	$-\frac{q_1}{E} - \frac{p_1}{E}$
2	•	•	$a_{22}D^4 + c_{22}K_1D^2 + r_{22}K_1^2 + s_{22}$	$\vdots$	$a_{2i}D^4 - c_{2i}D^2 - r_{2i}K_1^2$	$\bar{c}_{21}K_1D^2 - r_{21}K_1^2$	$\bar{c}_{22}K_1D^2 + r_{22}K_1^2 + s_{22}$	$\vdots$	$\bar{c}_{2i}K_1D^2 + r_{2i}K_1^2$	$-\frac{q_2}{E} - \frac{p_2}{E}$
...	...	...	• ...	...	...	...	...	...	...	...
$i$	•	•	•	$\vdots$	$a_{ji}D^4 + c_{ji}K_1D^2 - r_{ji}K_1^2 + s_{ji}$	$\bar{c}_{ji}K_1D^2 + r_{ji}K_1^2$	$\bar{c}_{j2}K_1D^2 + r_{j2}K_1^2$	$\vdots$	$\bar{c}_{ji}D^2 - r_{ji}K_1^2$	$-\frac{q_i}{E} - \frac{p_j}{E}$
1	•	•	•	•		$\frac{1}{\gamma} g_{11}D^2$	$-\frac{1}{\gamma} g_{12}D^2$	$\vdots$	$-\frac{1}{\gamma} g_{1i}D^2$	$-\frac{q_1}{E}$
2	•	•	•	•			$-\frac{1}{\gamma} g_{22}D^2 + r_{22}K_1^2 + s_{22}$	$\vdots$	$-\frac{1}{\gamma} g_{2i}D^2 + r_{2i}K_1^2$	$-\frac{q_2}{E}$
...	...	...	• ...	...	...	...	...	...	...	...
$j$	•	•	•	•				$\vdots$	$-\frac{1}{\gamma} g_{ji}D^2 - r_{ji}K_1^2 - s_{ji}$	$-\frac{q_j}{E}$

44

Примечание. Свободные члены—слева;  $\frac{1}{\gamma} = \frac{G}{E}$ ;  $D = \frac{d}{ds}$ .

Матрица дифференциальных уравнений для цилиндрических оболочек  
(по В. З. Власову)

$U_1$	$U_2$	:	$U_m$	$U_1$	$U_2$	:	$U_n$	Свободные члены
$\gamma a_{11} D^2 - b_{11}$	$\gamma a_{12} D^2 - b_{12}$	:	$\gamma a_{1m} D^2 - b_{1m}$	$-c_{11} D$	$-c_{12} D$	:	$-c_{1n} D$	$\frac{1}{G} P_1$
$\gamma a_{21} D^2 - b_{21}$	$\gamma a_{22} D^2 - b_{22}$	:	$\gamma a_{2m} D^2 - b_{2m}$	$-c_{21} D$	$-c_{22} D$	:	$-c_{2n} D$	$\frac{1}{G} P_2$
...	...	:	...	...	...	:	...	...
$\gamma a_{m1} D^2 - b_{m1}$	$\gamma a_{m2} D^2 - b_{m2}$	:	$\gamma a_{mm} D^2 - b_{mm}$	$-c_{m1} D$	$-c_{m2} D$	:	$-c_{mn} D$	$\frac{1}{G} P_m$
$c_{11} D$	$c_{12} D$	:	$c_{1m} D$	$r_{11} D^2 - \gamma S_{11}$	$r_{12} D^2 - \gamma S_{12}^2$	:	$r_{1n} D^2 - \gamma S_{1n}$	$\frac{1}{G} q_1$
$c_{21} D$	$c_{22} D$	:	$c_{2m} D$	$r_{21} D^2 - \gamma S_{21}$	$r_{22} D^2 - \gamma S_{22}$	:	$r_{2n} D^2 - \gamma S_{2n}$	$\frac{1}{G} q_2$
...	...	:	...	...	...	:	...	...
$c_{n1} D$	$c_{n2} D$	:	$c_{nm} D$	$r_{n1} D^2 - \gamma S_{n1}$	$r_{n2} D^2 - \gamma S_{n2}$	:	$r_{nn} D^2 - \gamma S_{nn}$	$\frac{1}{G} q_n$

Матрица дифференциальных уравнений для цилиндрических оболочек

$Z_i$	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$\vdots$	$Z_i$	$\bar{Z}_1$	$\bar{Z}_2$	$\vdots$	$\bar{Z}_i$	Свободные члены
0	$a_{00}D^4$	$a_{01}D^4$	$a_{02}D^4$	$\vdots$	$a_{0i}D^4$	0	0	$\vdots$	0	0
1	•	$a_{11}D^4$	$a_{12}D^4$	$\vdots$	$a_{1i}D^4$	0	0	$\vdots$	0	$-\frac{q_1}{E} - \frac{p_1}{E}$
2	•	•	$a_{22}D^4 + s_{22}$	$\vdots$	$a_{2i}D^4$	0	$s_{22}$	$\vdots$	0	$-\frac{q_2}{E} - \frac{p_2}{E}$
...	...	...	...	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	...	...
$j$	•	•	•	$\vdots$	$a_{ji}D^4 + s_{jj}$	0	0	$\vdots$	$s_{jj}$	$-\frac{q_j}{E} - \frac{p_j}{E}$
1	•	•	•	$\vdots$	•	$-\frac{1}{\gamma} g_{11}D^2$	$-\frac{1}{\gamma} g_{12}D^2$	$\vdots$	$-\frac{1}{\gamma} g_{1i}D^2$	$-\frac{q_1}{E}$
2	•	•	•	$\vdots$	•	•	$-\frac{1}{\gamma} g_{22}D^2 - s_{22}$	$\vdots$	$-\frac{1}{\gamma} g_{2i}D^2$	$-\frac{q_2}{E}$
...	...	...	...	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	...	...
$j$	•	•	•	$\vdots$	•	•	•	$\vdots$	$-\frac{1}{\gamma} g_{ji} + s_{jj}$	$-\frac{q_j}{E}$

Коэффициенты уравнений (13) характеризуют жесткость поперечного сечения цилиндрической оболочки и складки на растяжение изгиб и сдвиг;  $\gamma$  — постоянная величина, определяемая формулой  $\gamma = \frac{E}{G}$ .

Эта система дифференциальных уравнений может быть представлена в виде матрицы (табл. 2). Для сравнения запишем уравнение равновесия цилиндрических оболочек, положив в (11) члены с коэффициентами  $K_1 c_{ji}$  и  $K_1^2 r_{ji}$ , учитывающими продольную кривизну оболочки, равными нулю

$$\sum_i a_{ji} Z_i^{IV} + \sum_i s_{ji} Z_i + \sum_k s_{ji} \bar{Z}_k - \frac{p_j}{E} - \frac{q_j}{E} = 0;$$

$$\sum_i s_{ij} Z_i - \frac{1}{\gamma} \sum_k g_{ji} \bar{Z}_k + \sum_k s_{ji} \bar{Z}_k - \frac{q_j}{E} = 0. \quad (14)$$

Соответствующая матрица дифференциальных уравнений приведена в табл. 3. Побочные квадранты этой матрицы состоят лишь из членов с коэффициентами  $s_{ji}$ , учитывающих поперечные изгибающие моменты. В безмоментной оболочке вся система распадается на два независимых квадранта.

Для цилиндрических оболочек особенно наглядно преимущество выбора неизвестных функций в виде  $Z_i(s_i)$  и  $Z_k(s_i)$  (табл. 3). Это упрощение расчета вытекает из того положения, что при указанном выборе искомым функциям работа нормальных напряжений будет определяться только функциями  $Z_i(s_i)$ , а работа касательных напряжений — только функциями  $\bar{Z}_k(s_i)$ . При задании искомым функций в виде  $U_i$  и  $V_k$  по методу В. З. Власова нормальные и касательные напряжения будут одновременно выражаться через функцию  $U_i$ .

Однако способ выбора искомым обобщенных функций перемещений по В. З. Власову является более общим, так как не всегда возможно выразить эти функции в виде  $Z_i$  и  $\bar{Z}_k$  (например, для многосвязных призматических оболочек). В рассматриваемых системах — оболочках двойкой кривизны (и цилиндрических) открытого сечения — первый способ приводит задачу к более простому решению.

Значения для усилий и перемещений в любой точке  $K$  поперечного сечения оболочки в соответствии с принятой формой разложения искомым функций будут определяться следующими формулами: нормальные продольные напряжения

$$\sigma_k = E \left[ \sum_{i,m} Z_{im}^0 \xi_{ki} \lambda_m^2 - \sum_{i,m} K_1 (Z_{im}^0 - Z_{km}^0) f_{ki}^B \right] \sin \frac{m\pi s_1}{L_1}; \quad (15)$$

поперечные изгибающие моменты

$$M_k = \sum_{i,m} M_{ki} (Z_{im}^0 - Z_{km}^0) \sin \frac{m\pi s_1}{L_1}; \quad (16)$$

вертикальные и горизонтальные прогибы

$$W_k^B = \sum_{i,m} f_{ki}^B (Z_{im}^0 - Z_{km}^0) \sin \frac{m\pi s_1}{L_1}; \quad (17)$$

$$W_k^{is} = \sum_{i,m} f_{ki}^r (Z_{im}^0 + \bar{Z}_{km}^0) \sin \frac{m\pi s_1}{L_i} \quad (18)$$

Для определения влияния деформаций сдвига было проведено сравнение результатов расчета одной и той же оболочки с учетом и без учета деформаций сдвига (рис. 2). Разница заметна лишь в эпюрах вертикальных прогибов, что же касается нормальных напряжений, то их величины отличаются только в третьем знаке. В очень пологих в продольном направлении оболочках, у которых кривизна  $K_2$  существенно больше кривизны  $K_1$ , эта разница в значениях нормальных напряжений еще более уменьшается.

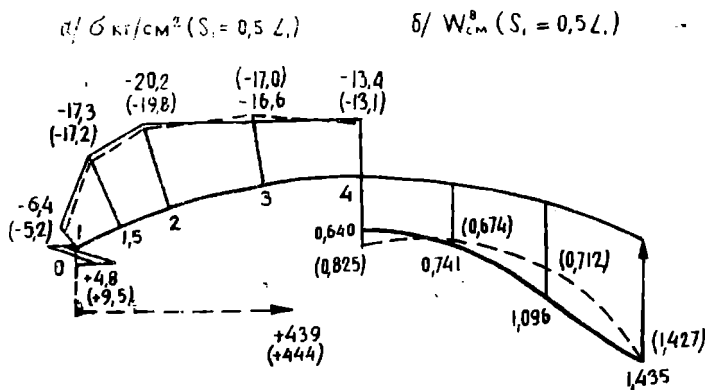


Рис. 2. Нормальные напряжения (а) и вертикальные прогибы (б) по среднему сечению оболочки, подсчитанные с учетом и без учета деформаций сдвига. — по данным расчета без учета деформаций сдвига; - - - по данным расчета с учетом деформаций сдвига (цифры в круглых скобках).

Интересно, что для пологих оболочек с недеформируемыми в горизонтальном направлении продольными бортовыми элементами и для цилиндрических оболочек зависимость между вертикальными прогибами, определяемыми с учетом и без учета сдвигов, носит более простой характер: значение  $W^0$ , определенное с учетом деформаций сдвига, обычно на 10—12% больше.

Так как деформации сдвига почти не влияют на величину нормальных напряжений независимо от длины оболочки, то может быть предложен следующий ход при решении дифференциальных уравнений, записанных в виде матриц табл. 1 и 2 относительно искомым функций  $Z_i(s_1)$  и  $\bar{Z}_k(s_1)$ . Вначале решается один первый квадрант матрицы со свободными членами первой группы уравнений. Далее решение первого квадранта подставляется в третий квадрант матрицы и суммируется со свободными членами второй группы уравнений. В результате решения четвертого квадранта определяется та часть деформации поперечного контура и изгибающих моментов, которая возникает от чистого сдвига.

Таким образом, решение  $(i+k)$  дифференциальных уравнений распадается на две независимых системы  $i$  и  $k$  уравнений, что сокращает объем математических выкладок. Кроме того, появляется возможность учесть деформации сдвига независимо от расчета с упрощающей гипотезой (7).

## Выводы

Получены дифференциальные уравнения вариационного метода перемещений для расчета оболочек положительной кривизны с учетом деформаций сдвига. Выведенные ранее в [1] дифференциальные уравнения равновесия пологих оболочек без учета деформаций сдвига входят составной частью в этот полный расчет.

Полученные результаты показывают, что при основной симметричной, равномерно распределенной нагрузке учет деформаций сдвига несколько увеличивает значения прогибов и поперечных изгибающих моментов и пренебрежимо мало влияет на величины нормальных усилий.

Туркменский государственный  
проектный институт

Поступило  
24 февраля 1968 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Милейковский И. Е. — Расчет оболочек и складок методом перемещений. Госстройиздат, М., 1960.
2. Милейковский И. Е., Кисин Б. С. — Строительное проектирование промышленных предприятий, № 5, 1965.
3. Власов В. З. — Тонкостенные пространственные системы. Госстройиздат, М., 1958.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ХЛАДАГЕНТА В КОНТАКТНОМ ИСПАРИТЕЛЕ ВЫМОРАЖИВАЮЩЕЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В настоящее время экспериментальные полупромышленные исследования, проведенные на теплообменных аппаратах контактного типа, доказали их высокую эффективность по сравнению с поверхностными теплообменниками. Например, в контактных испарителях опреснительных вымораживающих установок с использованием в качестве хладагента жидких углеводородных газов при получении льда из соленой воды могут достигнуты коэффициенты теплопередачи 120—150 квт/м<sup>3</sup>С. Однако ряд исследований выявил некоторые трудности осуществления продолжительных режимов льдогенерирования в контактных испарителях. Так, для получения кристаллов льда крупных размеров (0,7—1,5 мм в диаметре) отвод тепла кристаллизации должен происходить равномерно по всему объему зоны контакта, в то время как сейчас нет полной ясности, можно ли этого добиться эффективным распылением хладагента по всему объему испарителя или необходимо применение перемешивающего устройства.

Эффективность теплопередачи при контактном теплообмене находится в прямой зависимости от интенсивности распыления хладагента, так как при более мелком распылении возрастает поверхность контакта фаз, например, при распылении хладагента на капли диаметром 2 мм удельная поверхность теплообмена равна 3000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, а при диаметре капель 0,8 мм уже 7500 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что процесс распыления и испарения хладагента в воде происходит одновременно, что, естественно, затрудняет достижения эффективного распыла струи жидкого газа. Поэтому необходимо добиться таких режимов ввода жидкого хладагента в испаритель, при которых имеет место первоначальный распад струи на мелкие капли, а затем их последующее испарение. В противном случае экономичность использования аппаратов контактного типа резко снижается. Существует еще одно обстоятельство, которое может привести к нарушению нормальной работы контактного испарителя. Было обнаружено, что в режимах льдогенерирования на отверстиях истечения хладагента появляется наледь, которая со временем увеличивается в размерах и может привести к полному закупориванию распылителя, в результате истечение хладагента в испаритель прекратится.

В связи с тем, что отмеченные выше причины, отрицательно влияющие на эффективность работы контактного испарителя, мало изучены, нами предприняты исследования по изучению процессов распыления жидких углеводородов распылителями различного типа. Исследования производились на экспериментальном стенде, изготовленном в лаборатории опреснения минерализованных вод Института пустынь в лаборатории (рис. 1). В качестве хладагента использовалась углеводородная смесь с весовым содержанием бутан-бутиленовой фракции 90—92%.

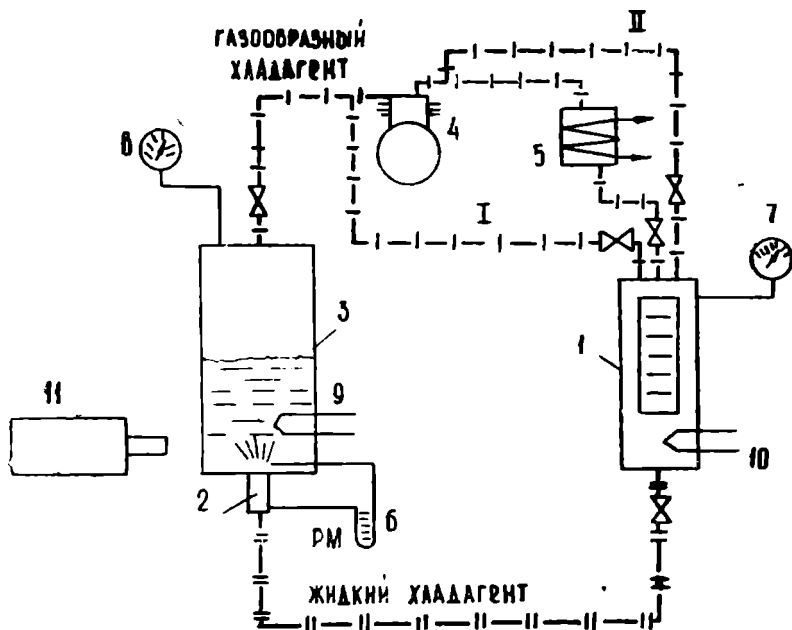


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда для изучения процессов истечения хладагента в контактный испаритель.

Жидкий хладагент из мерного сосуда 1 через распылительное устройство 2 поступает в контактный испаритель 3 с соленой водой, в котором происходит его испарение. Образующаяся газообразная углеводородная смесь отсасывается из испарителя компрессором 4 и сжижается в кожухотрубном конденсаторе 5. Количество хладагента, проходящего через распылительное устройство, определяется объемным способом, а перепад давлений, при котором происходит истечение, фиксируется ртутным манометром 6. Для измерения рабочих давлений и температур установлены контрольные манометры 8, 7 типа МК (класс точности 0,5) и медь-константановые термодпары 9, 10. Контактный испаритель изготовлен из стеклянных труб-секций, что позволило использовать для изучения процесса истечения хладагента из распылительного устройства скоростную кинокамеру 11. Для поддержания постоянного перепада давлений в мерном сосуде предусмотрены линии I и II.

При рассмотрении вопроса истечения жидкостей через насадки и распылители существенное значение имеет деление их на холодные и перегретые жидкости. К первым относятся жидкости, для которых упругость паров насыщения мала по сравнению с давлением среды, в которой происходит распыление. В этом случае коэффициенты расхода распылителей зависят от вязкости жидкости, и их величины для раз-

личных случаев можно определить из многочисленных эмпирических выражений, приводимых в специальной литературе

В случае истечения жидкости при температуре, когда упругость ее паров насыщения превышает давление среды, пользование эмпирическими управлениями невозможно, так как на опыте наблюдаются меньшие значения коэффициентов расхода по сравнению с расчетными. Такие жидкости называют перегретыми.

Для расчетов коэффициентов расхода перегретой жидкости К. Н. Ерастовым и Е. Г. Николаевой предложено поправочное уравнение [1]

$$\mu_{пер} = \mu_{хол} \cdot \sqrt{\frac{P_{ф} - P_{ж}}{P_{ф} - P_{с}}} \quad (1)$$

где  $\mu_{пер}$  — коэффициент расхода перегретой жидкости;  $\mu_{хол}$  — коэффициент расхода холодной жидкости (из эмпирических уравнений);  $P_{ф}$  — давление жидкости перед распылителем, кг/см<sup>2</sup>;  $P_{ж}$  — упругость паров жидкости при температуре истечения, кг/см<sup>2</sup>;  $P_{с}$  — давление среды, кг/см<sup>2</sup>.

Если предположить, что в технологической схеме опреснительного вымораживающего процесса жидкий хладагент вводится в вымораживатель при давлении насыщения паров, соответствующих температуре таяния льда, то пользование уравнением (1) для подсчета коэффициентов расхода распылителей станет невозможным, так как при  $P_{ф} = P_{ж}$  оно приводит к нулевому решению. Таким образом, в настоящее время нет расчетных формул, которые можно использовать для определения количеств хладагента, поступающих в контактный вымораживатель через распылительные устройства

В связи с этим нами изучались закономерности, имеющие место при истечении перегретой жидкости (хладагента). Было выбрано три типа распылителей хладагента: открытые цилиндрические сопла, центробежные форсунки и форсунки с винтовым завихрителем (форсунки Кергинга). Основные геометрические характеристики приведены в табл. 1. Всего было исследовано 13 распылителей.

Таблица 1

Основные геометрические характеристики распылителей хладагента

Геометрические характеристики	Цилиндрический тип			Центробежный тип				Центробежный тип с завихрителем					
	Номер по порядку												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Диаметр отверстия истечения, мм	0,87	1,43	1,58	1,89	2,19	1,38	1,56	2,14	2,24	0,87	1,38	1,98	2,20
Длина сопла, мм	2,5	4,2	4,5	4,8	6,4	1,0	1,2	1,4	1,6	0,7	1,0	1,1	1,5
Геометрическая характеристика, A						3,0	6,0	8,0	10,0				

Как видно из табл. 1, для открытых цилиндрических и центробежных с завихрителем распылителей диаметр отверстия истечения  $d_0$  изменяется от 0,8 до 2,20 мм, а интервал значений геометрической характеристики A исследуемых центробежных распылителей находится в пределах от 3 до 10.

Температурный интервал между точками испарения и конденсации хладагента в обычной схеме вымораживающего опреснительного про-

цесса составляет 5—6°C, что соответствует перепаду давлений упругости насыщенных паров  $\Delta P_{\text{нас}} = 0,20—0,25$  кг/см<sup>2</sup>. Поэтому нами выбраны перепады давлений на распылительном устройстве в пределах от 0,1 до 0,8—1,0 кг/см. Результаты в виде графиков представлены на рис. 2. По оси абсцисс отложены значения отношения  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$ , а по оси

ординат величины  $\Delta P_{\text{нас}}$ . Как видно из графиков, с увеличением перепада давлений для распылителей цилиндрического типа уменьшается

отношение  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$ . Уменьшение коэффициента расхода  $\mu_{\text{пер}}$  (при ус-

ловии неизменности  $\mu_{\text{хол}}$ ) можно объяснить эффектом дросселирования хладагента при истечении его через распылитель. В этом случае через сопла протекает не жидкий хладагент, а парожидкостная смесь. Это явление качественно подтверждается в работах других исследователей [2, 3]. Таким образом, изменение отношения  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$  косвенно характеризует степень дросселирования хладагента.

Отношение  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$  при увеличении  $\Delta P_{\text{нас}}$  для цилиндрических распылителей может изменяться довольно значительно. Например, при  $\Delta P_{\text{нас}} = 0,1$  ати для распылителя № 3 отношение  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}} = 0,927$ , а при  $\Delta P_{\text{нас}} = 0,8$  ати уже равно 0,583. Как видно из графиков, закономерность изменения  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$  от  $\Delta P_{\text{нас}}$  для всех цилиндрических распылителей независимо от диаметра отверстия истечения идентична. Все точки опытов удовлетворительно ложатся на прямую, однако из-за некоторого их разброса, который можно объяснить ошибкой опыта и качеством изготовления распылителей, не удалось получить аналитическую зависимость  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$  от величины  $\Delta P_{\text{нас}}$ .

В [2, 4] отмечается, что при применении конических сопел с отношением  $\frac{l_0}{d_0} \geq 2$  вскипание перегретой жидкости происходит после выхода из отверстия истечения. Однако этот вывод сделан при исследовании распыления перегретой воды с перепадом давлений от 90 до 150 кг/см<sup>2</sup>, то есть при условиях, резко отличающихся от наших.

На рис. 2 по опытным данным построены графики зависимости отношения  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$  от величины  $\Delta P_{\text{нас}}$  для центробежных распылителей. Так же, как и для цилиндрических распылителей, при увеличении  $\Delta P_{\text{нас}}$  уменьшается отношение  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}}$ , однако степень уменьшения зависит от величины геометрической характеристики центробежного распылителя  $A$ . Например, при  $\Delta P_{\text{нас}} = 0,6$  для распылителя № 6 с геометрической характеристикой  $A=3$  величина отношения  $\frac{\mu_{\text{пер}}}{\mu_{\text{хол}}} = 0,826$ , а для

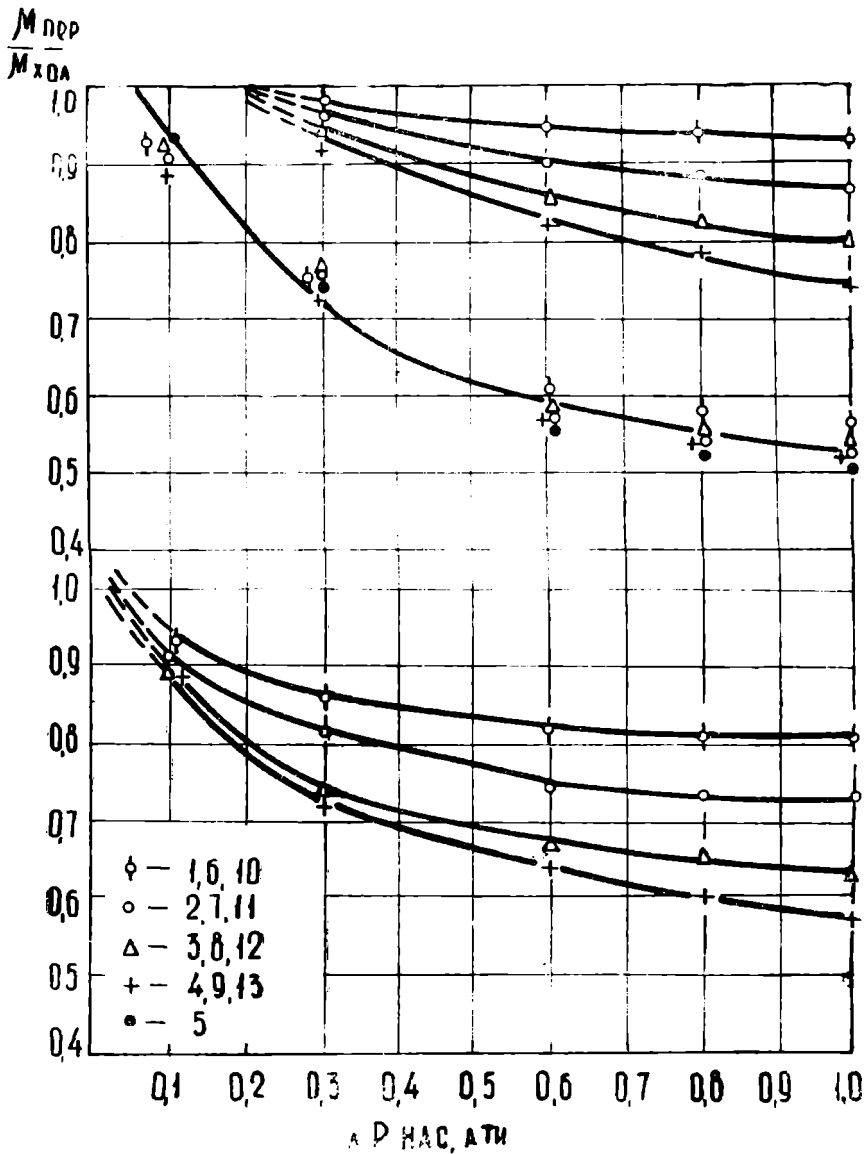


Рис. 2. Зависимость отношения  $\frac{\mu_{пер}}{\mu_{хол}}$  от величины  $\Delta P_{нас}$  (атм) для различных типов распылителей. 1, 2, 3, 4, 5 — Цилиндрические; 6, 7, 8, 9 — центробежные; 10, 11, 12, 13 — центробежные с завихрителем.

распылителя с  $A=10$  (распылитель № 9) равно 0,623. На основании экспериментальных данных получено эмпирическое уравнение для определения величины  $\mu_{пер}$  для центробежных распылителей

$$\eta_{пер} = 1,12 \cdot \mu_{хол} \cdot A^{-0,28} \cdot \Delta P_{нас}^{-0,019 \cdot A} \quad (2)$$

Сравнивая значения  $\mu_{пер}$  для распылителей с винтовым завихрителем и центробежным, можно заметить, что качественное описание закономерностей, имеющих место при истечении перегретой жидкости, в обоих случаях одинаково.

Рассматривая кривые, полученные для распылителей с винтовым завихрителем с диаметром отверстия истечения, меняющимся от 0,87 до 2,2 мм, можно заметить, что с возрастанием диаметра отверстия степень уменьшения отношения  $\frac{\mu_{пер}}{\mu_{хол}}$  при одинаковых значениях  $\Delta P_{нас}$

значительно меньше, чем для цилиндрических сопел и центробежных распылителей. При  $\Delta P_{нас} = 0,6$  для распылителя № 10 ( $d_0 = 0,87$  мм) значение  $\frac{\mu_{пер}}{\mu_{хол}} = 0,956$ , а для распылителя № 13 ( $d_0 = 2,2$  мм) при том

же перепаде давлений  $\frac{\mu_{пер}}{\mu_{хол}} = 0,819$ . Аналитическое выражение для нахождения значения  $\mu_{пер}$  для распылителей с винтовым завихрителем можно представить в виде уравнения

$$\mu_{пер} = 0,913 \cdot \mu_{хол} \cdot d_0^{-0,024} \cdot \Delta P_{нас}^{-[0,108 d_0^{-0,061}]} \quad (3)$$

Величина отклонения значений  $\mu_{пер}$ , полученных из эмпирических формул (2) и (3) от экспериментальных, не превышает 5--6%. Из рассмотрения графиков можно сделать заключение, что при истечении жидкого хладагента через любое распылительное устройство наблюдается явление дросселирования. Если перегретая жидкость истекает в среду другой жидкости при температурах испарения выше температурного уровня замерзания среды, то, очевидно, не существует качественных отличий от случая истечения перегретой жидкости в газовую среду, описанного в [2, 4]. Если же истечение хладагента (бутан--бутилен) в соленую воду происходит при температуре испарения ниже 0°C, над распылителем может появиться наледь, которая со временем нарастает и приводит к частичному или полному закупориванию отверстия истечения.

Появление наледи можно объяснить таким образом. При истечении через распылитель хладагент вскипает внутри объема распылителя. Если вскипает часть жидкого хладагента — понижается только его температура (но не ниже температуры соленой воды) и наледь не образуется. При вскипании большей части температуры хладагента становится ниже температурного уровня соленой воды. В этом случае происходит отдача тепла от соленой воды к поверхности распылителя и образуются кристаллы льда (соленая вода охлаждена до равновесной температуры кристаллизации). Если при перемешивании соленой воды практически все кристаллы льда будут отброшены от распылителя, то наледи на последнем не образуется.

Рассматривая рис. 2, можно сделать некоторые выводы при выборе распылительного устройства хладагента. Наиболее худшими свойствами, независимо от диаметра отверстия истечения и геометрических характеристик, обладают цилиндрические распылители и центробежные форсунки. При увеличении перепада давлений до 0,8 атм коэффициенты расхода для них  $\mu_{пер}$  понижаются в 1,5—2 раза по сравнению с  $\mu_{хол}$ , то есть резко возрастает степень дросселирования. В то же время для центробежных распылителей с завихрителем величина  $\frac{\mu_{пер}}{\mu_{хол}}$  не опускается ниже 0,75; для распылителей № 10 и 11 отношение  $\frac{\mu_{пер}}{\mu_{хол}}$  колеблется в пределах 0,90—0,92. Таким образом, наиболее подходя-

щими свойствами, позволяющими регулировать производительность распылителя в необходимых интервалах  $\Delta t'_{\text{нас}}$  при наименьшем дросселировании хладагента, обладают центробежные форсунки с завихрителем.

Изучение процессов распыления и испарения углеводородной смеси производилось с применением скоростной киносъемки (использовалась кинокамера СКС-1М, при скорости съемки 1000 кад/сек). Для определения вертикальных составляющих скоростей распыляемой струи по высоте испарителя произведена обработка фотоотпечатков, изготовленных через временные интервалы 0,02 сек.

Были исследованы процессы распыления струи хладагента без испарения (температурный перепад между точкой кипения хладагента и соленой водой  $\Delta t > 0$ ) и при испарении ( $\Delta t < 0$ ). Температурные перепады при испарении хладагента равны 1,2; 4,2; 5,9; 7,9°C. Исследования проводились на центробежном распылителе с завихрителем № 11 ( $d_0 = 1,38$  мм). Количество хладагента, поступающего в испаритель, во всех случаях поддерживалось строго постоянным, начальная скорость струи при  $\Delta t < 0$  была равна 350 см/сек, а при  $\Delta t > 0$  изменялась от 100 до 1000 см/сек.

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных данных.

По оси ординат отложены вертикальные составляющие скоростей  $V$  см/сек, а по оси абсцисс — расстояние от отверстия истечения распылителя по вертикали  $h$  см. Как видно из рис. 3, при  $\Delta t > 0$  скорость струи на расстояние 4—5 см от выходного отверстия уменьшается от первоначальных значений (100—1000 см/сек) до 15—20 см/сек. На расстоянии, большем 4—5 см, величина вертикальной составляющей возрастает до 25—28 см/сек и остается постоянной по всей высоте испарителя. Изменение скорости в 20—30 раз объясняется тем, что истечение хладагента происходит в среду высокой плотности и на элементы струи действуют силы вязкости и лобовое сопротивление, тормозящие их движение.

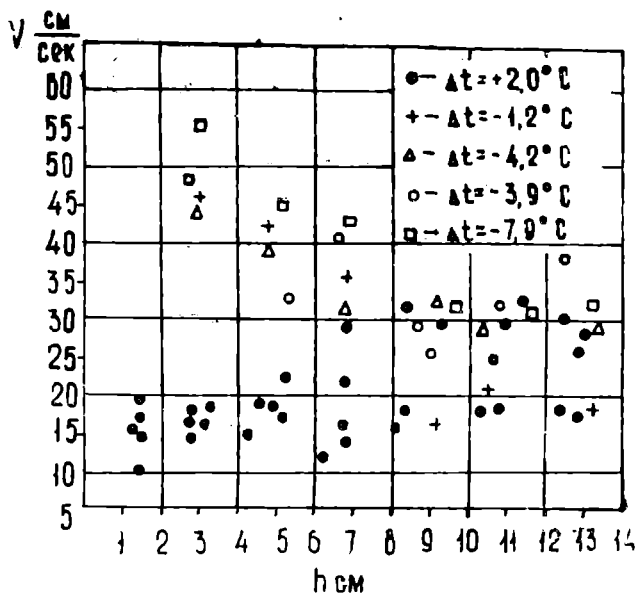


Рис. 3. Скорость струи хладагента  $V$  см/сек на расстояниях  $h$  см от отверстия истечения при различных температурных перепадах.

Очевидно, длина участка торможения и стабилизации скорости может меняться в зависимости от рода распыляемой жидкости и типа распылителя. Так, при исследовании процесса распыления дифенильной смеси в воду через открытые цилиндрические насадки ( $d_0 = 3,1$  мм) длина участка торможения составляет 1,5—1,8 см при первоначальных скоростях истечения от 200 до 20 000 см/сек [6].

Иная картина наблюдается при распылении хладагента в условиях его испарения ( $\Delta t < 0$ ). Из рис. 3 видно, что в этом случае скорость струи на участке распыления в 2,0—2,5 раза выше, чем в случае распада ее при  $\Delta t > 0$ . Численные значения вертикальных составляющих скоростей равны 40—55 см/сек. На расстоянии 6—7 см от выходного отверстия скорость уменьшается до 30—35 см/сек, и это значение сохраняется по всей длине испарителя.

Установление закономерности изменения скорости струи в зависимости от величины температурного перепада крайне затруднительно из-за сильного разброса экспериментальных точек. Резкое отличие скоростей струи на участке распыления при  $\Delta t > 0$  и  $\Delta t < 0$  объясняется тем, что в последнем случае испарение хладагента происходит одновременно с распадом струи. Вокруг сечения струи появляется газовая пленка, которая с большой скоростью всплывает вверх. На некотором расстоянии (6—7 см) газовая пленка дробится на пузыри, скорость которых снижается вследствие действия сил торможения. Если рассматривать пузыри газа, находящиеся на большом расстоянии друг от друга, то теоретическая их скорость должна равняться 35—40 см/сек [5], что действительно подтверждается многочисленными экспериментами. Однако при распылении струи хладагента и ее испарении мы имеем дело с колонной газовых пузырей, находящихся на близком расстоянии друг от друга, и поэтому имеет место их взаимодействие. Средняя вертикальная скорость в этом случае меньше и составляет, как видно из рис. 3, 25—30 см/сек. Необходимо отметить, что сильный разброс экспериментальных точек объясняется интенсивным перемешиванием воды в испарителе. Величина перемешивания зависит от размера газовых пузырей.

При истечении парожидкостной смеси угол факела распыления уменьшается, что действительно подтверждается экспериментальными данными, приведенными в табл. 2. Для распылителя № 11 при  $\Delta P = 0,3$  ати угол факела распыления  $2\alpha$  с изменением  $\Delta t$  от +2,0 до  $-7,9^\circ\text{C}$  уменьшался от 48 до  $26^\circ$ . Высота распада струи изменялась от 8 до 3,5 см.

Таблица 2

Изменение угла факела распыления и высоты распада струи хладагента при различных  $\Delta t$  (распылитель № 11)

Номер опыта	$\Delta P$ , ати	$^\circ\text{C}$	$2\alpha^\circ$	$h$ , см
7	0,3	-2,0	48	8
34	0,3	-1,2	38	6,5
35	0,3	-4,2	34	5,5
36	0,3	-5,9	31	4,0
37	0,3	-7,9	26	3,5

Из анализа экспериментальных данных можно сделать вывод, что при распылении хладагента в условиях отрицательного температурного перепада между точкой его испарения и температурой соленой воды ( $\Delta t < 0$ ) нельзя добиться эффективного процесса теплопередачи в контактном испарителе. Необходимо применение специальных устройств, позволяющих добиться первоначального распыления струи жидкого хладагента на капли и равномерного распределения их по сечению колонны испарителя. Это позволит достигнуть эффективной теплопередачи в процессе кристаллизации и получения крупных кристаллов льда.

## В ы в о д ы

1. Найдены зависимости коэффициентов расхода от величины перепада давлений при истечении хладагента через различные типы распылителей.

2. Установлены причины, вызывающие появления наледи на распылителе при истечении хладагента в контактном испарителе.

3. Определены величины вертикальных составляющих скоростей распыляемой струи хладагента в испарителе.

Институт пустынь  
АН Туркменской ССР

Поступило  
30 мая 1968 г.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бородин В. А., Дигяткин В. Ф., Клячко Л. А., Ягодкин В. И. — Распыливание жидкостей. Изд. Машиностроение, 1967.

2. Лебедев П. Д., Верба М. И., Леончик Б. И. — Известия вузов, сер. энергетика, № 10, 1959.

3. Махин В. А., Присняков В. Ф. — Известия вузов, сер. техника, № 3, 1962.

4. Лыков М. В., Леончик Б. И. — Распылительные сушилки. Машиздат, 1966.

5. Левич В. Г. — Физико-техническая гидродинамика. Физматгиз, 1959.

6. Мальцев Е. П. — Опреснение соленых вод. Атомиздат, 1965.

### НОЧНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ИОНИЗАЦИИ $F$ -ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ НА ПЕРЕХОДНЫХ ШИРОТАХ

На переходных и высоких широтах электронная концентрация ( $N$ )  $F$ -области ионосферы с заходом Солнца не только не уменьшается, но в ряде случаев, наоборот, аномально увеличивается. Например, летом в годы минимума солнечной активности вечерние значения  $N$  иногда достигают несколько больших величин, чем дневные [1]. Наблюдается также ряд ночных максимумов, которые появляются во все сезоны, как в годы высокой, так и низкой активности Солнца. В первом случае они выражены более резко и наблюдаются почти регулярно. Выяснение механизмов образования этих аномальных максимумов значительно может облегчить решение вопроса, какой источник является ответственным за поддержание самой ночной ионизации  $F$ -области. В данной работе мы анализируем возможное влияние диффузии в образовании этих максимумов.

Для более подробного изучения ночного изменения ионизации на различных фиксированных уровнях  $F$ -области мы рассчитали  $N(h)$ -профили ручным интегральным методом [2] для каждого 15-минутного замера.  $N(h)$ -профили рассчитаны приблизительно для 10-ти международных магнитно-спокойных дней каждого сезона для года максимума солнечной активности. Расчет выполнен с учетом нижележащей ионизации. Для этого критическую частоту слоя  $E$  в течение всей ночи принимаем равной 0,6 Мгц. Такое значение  $f_oE$  дают результаты исследования ночного слоя  $E$  [3—5], основанные на данных низкочастотного зондирования и ракетных измерений. Действующие высоты  $h'$  в диапазоне частот 0,1—0,6 Мгц принимались равными 100 км. От 0,6 до 1,0 Мгц (нижний предел аппаратуры) действующую высоту ( $h'$ ) интерполировали линейно.

Из всех расчетов мы получили  $N(t)$ -кривые для ночных часов. Примеры таких кривых приведены на рис. 1а (17—18 июня 1958 г.). Пунктирная линия характеризует ночной ход максимального значения электронной концентрации ( $N_m$ ). Из рисунка видно, что электронная концентрация для постоянных уровней в интервале 280—340 км меняется в 1,5—2 раза от минимума в полуночные часы до максимума в предполночные (22.00—23.00) и послеполночные (01.00—03.00) часы. Проведенный анализ для всех дней показал, что количество, время появле-

ния и величина максимумов существенно меняются ото дня ко дню, однако второй максимум почти всегда сохраняется. При этом в зимний сезон чаще всего он приходится на предутренние часы (04.00–05.00). Попутно отметим, что для анализа мы выбрали дни, находящиеся в одной декаде, чтобы изменение ночной ионизации в слое  $E$  не было существенным. Это дает основание утверждать, что при принятой нами методике учета нижележащей ионизации, последняя при расчете  $N(h)$ -профилей не может влиять на получаемые выводы относительно изменения ночной ионизации  $F$ -области ото дня ко дню.

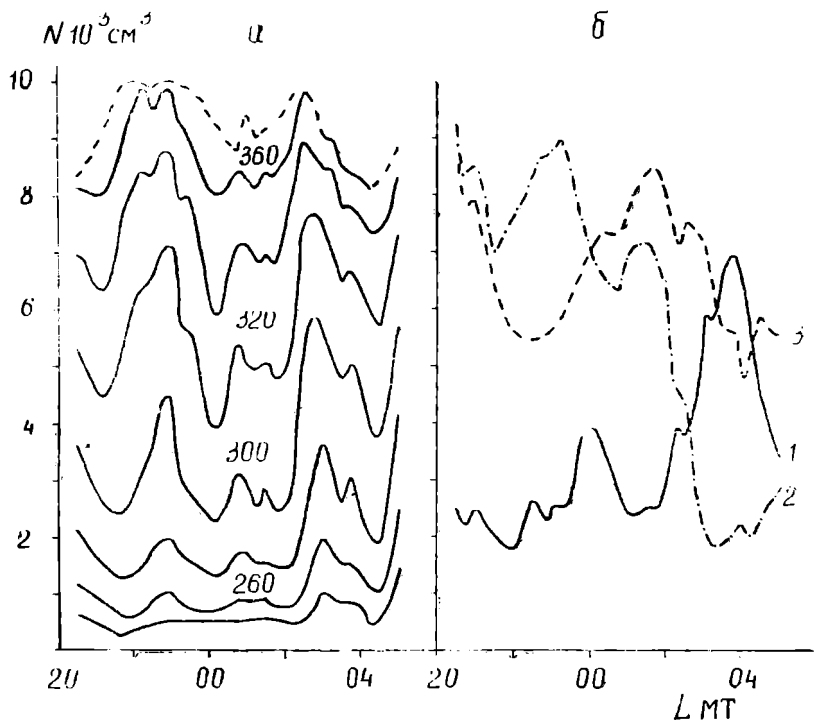


Рис. 1. Ночной ход ионизации для различных фиксированных высот  $F$ -области (а—лето, б—равноденствие).

На рис. 1б приведены  $N(t)$ -кривые, построенные для равноденственного сезона для 300 км. Кривые 1, 2 и 3 принадлежат соответственно 7–8, 10–11 и 11–12 апреля 1958 г. Для всех кривых отмечаются резкие максимумы и минимумы, которые, однако, приходятся на совершенно разные часы и существенно отличаются по величине. 7–8 апреля электронная концентрация от минимума в 01.00 к максимуму в 03.15 изменяется более чем в три раза. После максимума в 03.15 ионизация уменьшается, и это уменьшение продолжается до наступления роста ионизации вследствие освещения ионосферы лучами Солнца. В другие два дня наибольшие значения электронной концентрации приходятся соответственно на 23.15 и 01.45 и изменение электронной концентрации от минимумов к максимумам — не более чем в 1,5 раза.

На рис. 2 приведено ночное изменение высоты для постоянных значений электронной концентрации, то есть так называемая  $h_N(t)$ -кривая для 17–18 июня 1958 г. Из сравнения этого графика с предыдущим (рис. 1а), характеризующим ночное изменение электронной концентрации для постоянных высот  $F$ -области, хорошо видно, что резкое уве-

лишение электронной концентрации в предполуночные и послеполуночные часы сопровождается соответствующим резким понижением высоты для постоянных значений электронной концентрации. Причиной этих явлений могут служить только процессы рекомбинации и диффузии, поскольку поведение ночной ионизации  $F$ -области ионосферы контролируется этими процессами. Однако трудно ожидать присутствия такой регулярной внутренней или внешней причины, которая бы при-

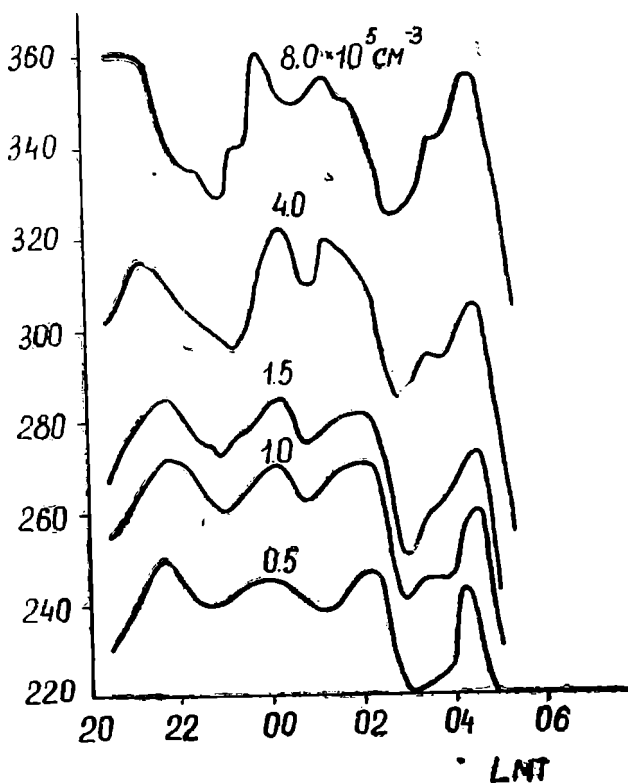


Рис. 2. Ночное изменение высоты для постоянных значений электронной концентрации.

вела к резкому уменьшению скорости рекомбинации только в определенном интервале ночного времени. Поэтому очевидно, что указанные ночные максимумы ионизации будут образовываться только потоком диффузии в нижнем направлении. Диффузия и приводит к резкому понижению высоты постоянных значений электронной концентрации.

Вертикальная скорость дрейфа не оказывает сколько-нибудь существенного влияния на образование ночных максимумов. Та часть скорости дрейфа, которая вызывается движением нейтральной атмосферы, в ночные часы на переходных широтах направлена вверх, и если ее влияние было бы ощутимым, то увеличение электронной концентрации сопровождалось бы повышением высоты постоянных значений электронной концентрации. Другая часть скорости вертикального дрейфа, которая вызывается электромагнитными силами, в ночные часы направлена вниз. Однако трудно ожидать, чтобы влияние дрейфа было существенным только в небольшом интервале ночных часов и изменялось ото дня ко дню в магнитно-спокойных условиях. Тем не менее

нельзя отрицать роль этой скорости дрейфа в тех случаях, когда время ее максимальной фазы совпадает с периодом интенсивной диффузии в нижнем направлении. В таком случае ночные максимумы могут не образовываться, так как переносимые под общим действием дрейфа и диффузии на низкие уровни электроны и ионы будут быстро нейтрализоваться из-за роста скорости рекомбинации на данных высотах.

Относительно летнего вечернего максимума ионизации, появляющегося в годы минимума солнечной активности, можно заключить, что в образовании его основную роль также играет диффузия электронно-ионного газа в нижнем направлении, так как образование вечернего максимума сопровождается резким понижением высоты  $h_m F$  в это время, что может быть вызвано только действием диффузии.

Воспользуясь методом, предложенным в [6], определим коэффициент диффузии для высоты 300 км ночной  $F$ -области. Напишем уравнение баланса ионизации в следующем виде

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\beta_0 N \exp \left\{ -(2 + \Gamma) z + D \left[ \frac{\partial^2 N}{\partial h^2} + \frac{1}{H_m} \left( \frac{3}{2} + \frac{5}{2} \Gamma \right) \frac{\partial N}{\partial h} + \frac{1}{H_m^2} \left( \frac{1}{2} + \Gamma \right) \left( 1 + \frac{1}{2} \Gamma \right) N \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $\beta_0$  — линейный коэффициент рекомбинации на высоте 300 км, величину которого принимаем равной  $\beta_0 = 10^{-4} \text{сек}^{-1}$ ;  $z$  — приведенная высота;  $\Gamma$  — градиент шкалы высот.

$$H_m = H_{m0} + \Gamma (h - h_0),$$

$H_{m0}$  — значение  $H$  при  $\Gamma = 0$ . При расчете примем, что  $H_{m0} = 60$  км. Коэффициент диффузии  $D$  выражается формулой

$$D = D_0 \exp \left( 1 + \frac{3}{2} \Gamma \right) z \cdot \sin^2 I, \quad (2)$$

где  $D_0$  — значение  $D$  на высоте 300 км. Подставляя выражение (2) в уравнение (1), перепишем его сокращенно в следующем виде

$$\frac{dN}{dt} = -\beta_0 \left[ \beta(z) - \frac{D_0}{\beta_0} D(z) \right].$$

С помощью этого уравнения, используя данные  $N(h)$ -профилей, можно рассчитать  $dN/dt$  при различных значениях  $D_0/\beta_0$ . На рис. 3 приведено сравнение высотного изменения рассчитанных по формуле (3) значений  $dN/dt$  (сплошная линия) с высотным изменением  $dN/dt$ , полученным непосредственно из  $N(t)$ -кривых (пунктирная линия) для 01.00 21 июня 1958 г. Верхний график получен для  $\Gamma = 0,2$ , а нижний для  $\Gamma = 0$ .

Из рисунка видно, что рассчитанные и экспериментальные значения  $dN/dt$  наиболее хорошо совпадают между собой при  $D_0/\beta_0 = 4 \cdot 10^{13} \text{см}^2$ . Отсюда, при значении  $\beta_0 = 10^{-4} \text{сек}^{-1}$  (это значение является несколько заниженным для года максимума солнечной активности) получим для  $D_0$  величину  $4 \cdot 10^9 \text{см}^2 \text{сек}^{-1}$ . Если же принять для линейного коэффициента рекомбинации величину  $3 \cdot 10^{-4} \text{сек}^{-1}$ , то  $D_0$  будет равен  $8 \cdot 10^8 \text{см}^2 \text{сек}^{-1}$ , что более хорошо согласуется с общепринятыми значениями коэффициента диффузии.

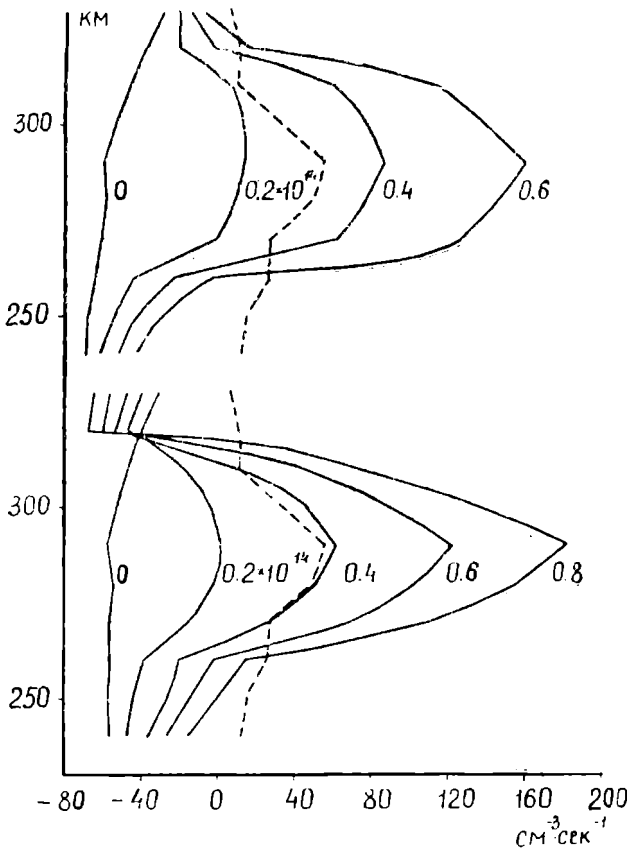


Рис. 3. Высотные изменения  $dN/dt$ . ————— Рас-  
считанная, - - - - - экспериментальная.

### Выводы

Ночной ход ионизации  $F$ -области на переходных широтах показывает значительные аномальные максимумы. Эти максимумы могут образовываться под действием диффузии в нижнем направлении. Коэффициент диффузии на высоте 300 км равен около  $8 \cdot 10^9$  сек $^{-1}$ .

Институт физики Земли и атмосферы  
АН Туркменской ССР

Поступило  
4 июня 1968 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Беркелиев М., Дубровская Е. К.—Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 6, 1966.
2. Schmerling E. R., Ventrice C. A. — J. Atmosph. Terr. Phys., vol. 14, № 3/4, 249, 1959.
3. Дискуссия об электронной концентрации в слое  $E$ . Распределение электронной концентрации в ионосфере и экзосфере. Изд-во «Мир», 1964.
4. Piggot W. R., Rawer K. — URSI Handbook Ionogram Interpretation and Reduction of the World Wide Soundings Committee, 1961.
5. Wright J. W. — J. Research NBS—Radio Science, vol. 68D, № 5, 589, 1964.
6. Shimazaki T. — J. Geophys. Res., vol. 69, № 13, 2781, 1964.

УДК 665—592 (575.4—574.12)

С. Р. СЕРГИЕНКО  
В. Д. МЕДВЕДЕВА

## СВОЙСТВА И ГРУППОВОЙ УГЛЕВОДОРОДНЫЙ СОСТАВ КЕРОСИНОВЫХ ФРАКЦИЙ НЕФТЕЙ ПРИКАСПИЙСКИХ И БУХАРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сопоставительное исследование нефтей соседствующих месторождений или близких по геологическому возрасту представляет научный интерес с точки зрения геохимической истории нефтей. Данные, получаемые при подобных исследованиях, имеют и большое практическое значение для правильного решения вопросов транспорта и переработки нефтей и нефтепродуктов.

В настоящем исследовании приводятся данные по групповому углеводородному составу керосиновой фракции (200—300°C) нефтей 6 месторождений: Котур-Тепе и Барса-Гельмес (Западная Туркмения); Узень и Жетыбай (Мангышлак), Шур-Тепе и Карак-Тай (Фергана). Общая характеристика этих нефтей, а также состав и свойства бензиновых фракций (и. к. —200°C) даны в предыдущих наших сообщениях [1, 2].

### Экспериментальная часть

Для исследования были взяты фракции, выкипающие в пределах 200—300°. Методом адсорбционной хроматографии на крупнопористом силикагеле (АСК) фракции были разделены на предельные (парафиноциклопарафиновые) и ароматические углеводороды. Было также определено содержание в фракциях неразветвленных и слаборазветвленных структур парафиновых углеводородов, образующих кристаллический комплекс с карбамидом. Данные о содержании в керосиновых фракциях ароматических и предельных (в том числе образующих кристаллический комплекс с карбамидом) углеводородов и их свойствах суммированы в табл. 1.

Для определения содержания в фракциях гексаметиленовых углеводородов предельная часть их подвергалась избирательному каталитическому дегидрированию на катализаторе  $Pt/C$  с добавкой железа в проточной системе при температуре 308—310° и объемной скорости подачи сырья 0,2 час<sup>-1</sup>. Дегидрирование велось в две стадии. Активность катализатора проверялась по циклогексану. Результаты дегидрирования представлены в табл. 2.

Групповой углеводородный состав фракций, выкипающих в пределах 200—300°

Фракция 200—300° углеводороды	Котур-Тепе скважина № 229			Барса-Гельмес скважина № 10			Узень скважина № 50			Жетыбай скважина № 36			Шур-Тепе скважина № 25			Карак-Тай скважина № 10		
	%	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	%	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	%	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	%	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	%	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	%	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$
Содержание фракции на нефть, %	18,1			14,9			12,0			9,9			20,1			15,9		
Неразделенная фракция	100,0	1,4517	0,8307	100,0	1,4599	0,8294	100,0	1,4438	0,7968	100,0	1,4457	0,7969	100,0	1,4578	0,8147	100,0	1,4686	0,8314
Ароматические углево- дороды	9,0	—	—	12,0	—	—	5,0	—	—	7,0	—	—	21,0	—	—	30,0	—	—
Предельные углеводо- роды из них:	91,0	1,4428	0,8187	88,0	1,4457	0,8054	95,0	1,4388	0,7879	93,0	1,4398	0,7894	79,0	1,4409	0,7903	70,0	1,4413	0,7973
Образующие комплекс с карбамидом	49,4	1,4306	—	15,7	1,4091	—	32,4	1,4175	—	57,5	1,4124	—	26,1	1,4195	—	3,8	1,4296	—
Не образующие комп- лекс с карбамидом	41,6	1,4498	—	72,3	1,4478	—	62,6	1,4438	—	35,5	1,4460	—	52,9	1,4458	—	66,2	1,4438	—

Результаты дегидрирования предельной части керосиновых фракций

Предельная часть нефти	Выход жидкого катализата, %		Выход газа, %		Свойства катализаторов				Ароматические углеводороды катализата				
	I стадия	II стадия	I стадия	II стадия	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	%	%	суммарный выход, %	свойства	
					I стадия		II стадия		I стадия	II стадия		$n_D^{20}$	$d_4^{20}$
	Котур-Тепе скважина № 229	98,7	99,0	0,30	0,15	1,4468	0,8122	1,4429	0,8072	14,5	5,0	19,5	1,5512
Барса-Гельмес скважина № 10	98,3	99,2	0,25	0,15	1,4507	0,8188	1,4432	0,8068	12,0	5,0	17,0	1,5496	—
Узень скважина № 50	98,0	98,9	0,22	0,15	1,4397	0,7970	1,4398	1,7982	8,0	5,0	13,0	1,5505	—
Жетыбай скважина № 36	98,5	99,2	0,24	0,10	1,4437	0,7939	1,4380	0,7884	9,0	3,0	12,0	1,5500	—
Шур-Тепе скважина № 25	98,4	99,3	0,28	0,10	1,4453	0,7940	1,4369	0,7844	13,5	3,0	16,5	1,5510	—
Карак-Тай скважина № 10	98,2	99,0	0,25	0,15	1,4443	0,7990	1,4418	0,7936	12,0	5,5	17,5	1,5508	—

Таблица 3

Свойства предельной части керосиновых фракций до и после дегидрирования

Фракция 200—300°	До дегидрирования		После дегидрирования I стадии		После дегидрирования II стадии	
	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$
Котур-Тепе скважина № 229	1,4428	0,8187	1,4368	0,7996	1,4321	—
Барса-Гельмес скважина № 10	1,4457	0,8054	1,4414	0,8008	1,4368	—
Узень скважина № 50	1,4388	0,7879	1,4362	0,7868	1,4350	—
Жетыбай скважина № 36	1,4398	0,7894	1,4367	0,7836	1,4337	—
Шур-Тепе скважина № 25	1,4409	0,7903	1,4354	0,7808	1,4322	—
Карак-Тай скважина № 10	1,4413	0,7973	1,4380	0,7882	1,4370	—

В табл. 3 приведены сравнительные данные о свойствах парафиноциклопарафиновых углеводородов до и после дегидрирования. На основе полученных экспериментальных данных произведен расчет группового углеводородного состава фракций (табл. 4 и рис. 1). По групповому углеводородному составу керосиновые фракции исследованных нефтей характеризуются следующим образом: наименьшее количество ароматических углеводородов содержится во фракциях нефтей месторождений Узень и Жетыбай (5,0 и 7,0% соответственно), наибольшее — во фракции нефти месторождения Карак-Тай (30,0%), фракция нефти месторождения Шур-Тепе содержит 21,0% ароматических углеводородов, а во фракциях нефтей месторождений Котур-Тепе и Барса-Гельмес содержится ароматических углеводородов 9,0 и 12,0% соответственно.

По содержанию неразветвленных парафиновых структур (углеводороды, образующие комплекс с карбамидом) отличается фракция нефти месторождения Жетыбай, в которой содержится 57,5% н. парафинов. Около 50% н. парафинов находится во фракции нефти место-

рождения Котур-Тепе. Самое минимальное количество н. парафинов содержится во фракции нефти месторождения Карак-Тай (3,8%). В керосиновых фракциях нефтей месторождений Узень, Шур-Тепе и Барса-Гельмес содержание н. парафинов постепенно убывает (32,4; 26,1 и 15,7%).

Таблица 4

Углеводороды фракций 200—300°

Фракция 200—300° нефти	Содержание групп углеводородов, %						
	Ароматические	Циклогексановые		Неразветвленные парафиновые		Изопарафиновые + циклопентановые	
		на фракцию	на предельную часть	на фракцию	на предельную часть	на предельную часть	на фракцию
Котур-Тепе скважина № 229	9,0	19,5	17,7	54,3	49,4	45,7	41,6
Барса-Гельмес скважина № 10	12,0	17,0	14,9	17,9	15,7	82,1	62,3
Узень скважина № 50	5,0	13,0	12,3	34,1	32,4	65,9	62,6
Жетыбай скважина № 36	7,0	12,0	11,2	61,8	57,5	38,2	35,5
Шур-Тепе скважина № 25	21,0	16,5	13,0	33,1	26,1	66,9	52,9
Карак-Тай скважина № 10	30,0	17,5	12,2	5,5	3,8	94,5	66,2

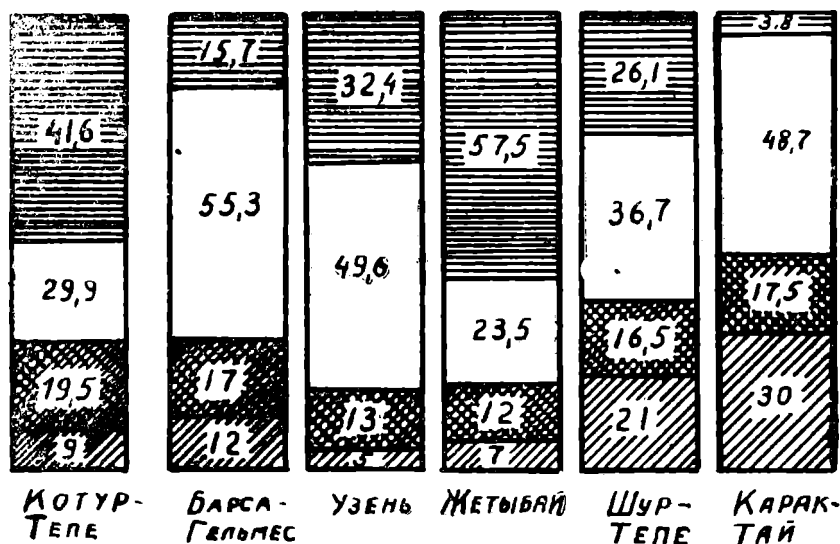


Рис. 1. Групповой углеводородный состав фракций, выкипающих в пределах 200—300°, нефтей Прикаспийских и Бухарских месторождений.

Выводы

Детальное исследование группового углеводородного состава керосиновых фракций нефтей 6 месторождений (Прикаспийских и Ферганских) показало полное согласие полученных результатов с ранее полученными данными при характеристике этих нефтей и их бензиновых фракций.

1. По групповому углеводородному составу исследованные керосиновые фракции нефтей отчетливо делятся на две группы: а) нефти

Прикаспийских месторождений (Западная Туркмения и п-ов Мангыш-лак); б) нефти Бухарских месторождений.

2. Керосины первой группы характеризуются высоким содержанием предельных (парафино-циклопарафиновых углеводородов) — 88—95%, в том числе неразветвленных парафиновых структур 32—58% и низким содержанием ароматических углеводородов — 5—12%.

Из этой группы наиболее близки по групповому углеводородному составу керосиновых фракций нефти месторождений Котур-Тепе и Жетыбай; нефти Узень и Барса-Гельмес несколько отклоняются, особенно Барса-Гельмес по содержанию н. парафинов и изопарафино-циклопентановых углеводородов.

3. Керосины второй группы нефтей (Бухарских месторождений) характеризуются высоким содержанием ароматических углеводородов (21—30%) и сравнительно низким содержанием неразветвленных форм парафинов, особенно месторождения Карак-Тай (3,8%).

4. Содержание циклогексановых углеводородов в керосиновых фракциях всех 6 исследованных нефтей колеблется в сравнительно узких пределах—от 11 до 18%.

Институт химии  
АН Туркменской ССР

Поступило  
3 сентября 1968 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сергиенко С. Р., Айдогдыев А., Таимова Б. А., Челпанова М. П. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 5, 1968.
2. Сергиенко С. Р., Атамередова К. Р., Медведева В. Д., Кульджаев Б. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 6, 1968.

С. Р. СЕРГИЕНКО

## ПРОБЛЕМА ПРЕДВИДЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ (Итоги работы IV Международного конгресса по катализу)

Последние три десятилетия ознаменовались необычайно бурным развитием многоотраслевой химической промышленности и глубоким проникновением химии во все отрасли народного хозяйства. Успехи синтетической химии и химического аппаратуростроения создали благоприятные объективные условия для сравнительно быстрой промышленной реализации выдающихся достижений химической науки. Огромная роль в развитии химической промышленности принадлежит катализу. Более 70% всех современных промышленных химических процессов осуществляется с использованием катализаторов. Еще более высокой удельный вес каталитических процессов (более 85%) в новых химико-технологических производствах. Создана новая ветвь химической промышленности — производство катализаторов для различных технологических процессов и организованы специальные научно-исследовательские институты, занимающиеся разработкой теории каталитического действия и обобщением опыта работы каталитических химических процессов с целью установления общих закономерностей.

Вопросы, связанные с производством промышленных катализаторов, отличающихся высоким качеством, хорошей механической прочностью, большой продолжительностью жизни и выдерживающих многократную регенерацию, приобрели большую актуальность для химической промышленности, так как от них в решающей степени зависят не только технология производства, степень использования и качество выпускаемой продукции, но и все основные технико-экономические показатели химических производств, основанных на использовании гетерогенно-каталитических процессов.

Чтобы составить себе представление о народнохозяйственном значении катализа и катализаторов в жизни современного общества, напомним, что каталитические реакции лежат в основе таких решающих отраслей химической промышленности, как производство азотной и серной кислот, синтез аммиака, каучука, волокон и других важных продуктов; быстрое развитие нефтеперерабатывающей промышленности и промышленности нефтехимического синтеза стало возможным только благодаря широкому использованию в них каталитических реакций и процессов.

Неудивительно поэтому, что так широко развернулись за последние десятилетия научные исследования в области катализа во всех промышленно развитых странах. Ежедневно публикуются десятки и сотни специальных работ по различным вопросам сложной проблемы катализа.

Для обеспечения постоянного контакта исследователей и работников промышленности, работающих в области катализа, и улучшения взаимной информации о научных и технических достижениях по катализу и катализаторам, начиная с 1956 г., созываются через каждые 4 года Международные конгрессы по катализу.

Первый Международный конгресс по катализу, созданный по инициативе американских химиков, открылся 10 сентября 1956 г. в Филадельфии (США). Параллельно работало 4 симпозиума по следующим проблемам: физика и химия твердых катализаторов; гомогенный катализ; химия поверхностных явлений, техника и технология катализа. Советский Союз был представлен на этом конгрессе 4 делегатами.

Второй конгресс состоялся в июне 1960 г. (4—9) в Париже (Франция). На нем было заслушано 11 обзорных докладов, а все основные доклады обсуждались на трех тематических секциях: кинетика и механизм каталитических реакций; физико-химические свойства катализаторов; прикладной катализ. На этом конгрессе Советский Союз был представлен группой делегатов в количестве более 20 ученых. Ученые нашей страны активно участвовали в работе всех секций. Был зачитан один обзорный доклад и значительное число докладов было доложено на секциях. Советские делегаты приняли участие в экскурсиях по стране, которые были организованы после закрытия конгресса. В частности, мы посетили молодой Французский институт катализа в Лионе, возглавляемый крупным ученым, проф. М. Претером.

Третий конгресс собрался в июне (20—25) 1964 г. в Амстердаме (Голландия). Генеральной проблемой, обсуждавшейся на этом конгрессе, была: механизм гетерогенного катализа. Было заслушано 6 обзорных лекций по основным разделам катализа и обсуждено на секциях 98 докладов. Советская делегация ученых была значительной и участвовала активно как в работе руководства конгресса, так и в научных дискуссиях на секциях.

Четвертый Международный конгресс по катализу проводил свою работу в Москве (СССР) 23—29 июня 1968 г. Основной темой этого конгресса была проблема предвидения каталитического действия.

Краткие сведения о числе стран участниц и делегатов, принимавших участие во всех четырех Международных конгрессах, приведены в таблице.

Из приведенных данных видно, что IV Международный конгресс, проводивший свою работу в нашей стране, был самым многочисленным. Важно также отметить, что число стран участниц во всех прошедших конгрессах по катализу, за исключением первого учредительного, остается практически постоянным, около 30. Это значит, что в работе этого Международного конгресса принимают участие все страны, в которых в той или иной мере ведутся исследовательские работы по катализу и каталитические процессы получили промышленное применение.

Торжественный акт открытия IV Международного конгресса по катализу состоялся в 16 часов 23 июня 1968 г. в актовом зале Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова на Ленинских горах в столице нашей Родины—Москве.



Таблица

Наименование конгресса	Дата его работы	Место работы конгресса	Число стран участниц	Число делегатов конгресса
I Международный конгресс по катализу	10—14 сентября 1956 г.	Филадельфия (США)	22	700
II Международный конгресс по катализу	4—9 июня 1960 г.	Париж (Франция)	31	846
III Международный конгресс по катализу	20—25 июня 1964 г.	Амстердам (Голландия)	31	800
IV Международный конгресс по катализу	23—29 июня 1968 г.	Москва (СССР)	28	1500, из них: иностранных—480, советских—1020

Во вступительной речи председатель организационного комитета IV Международного конгресса по катализу (МКК) академик Б. А. Казанский подчеркнул, что конгресс посвящен проблеме предвидения каталитического действия, так как эта проблема имеет фундамен-

тальное значение для теории и практики гетерогенного катализа. В настоящее время накоплен обширный экспериментальный материал и разработаны прецизионные физические и химические методы, позволяющие с высокой точностью измерить количественные параметры катализаторов и каталитических реакций, что создает благоприятные объективные предпосылки для постановки в порядок дня вопроса о подходе к практическому решению крайне важной теоретической проблемы и первостепенной практической актуальности технической задачи для химической промышленности — возможности предвидения каталитического действия.

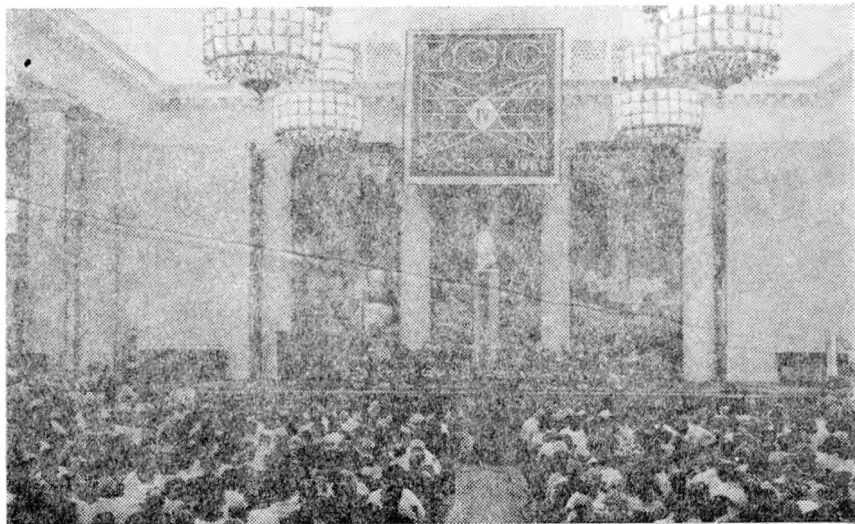


Рис. 2. Открытие IV Международного конгресса по катализу в актовом зале МГУ.

Академик Б. А. Казанский особо подчеркнул огромный научный вклад, внесенный покойным академиком Алексеем Александровичем Баландиным (1898—1967 гг., 22 мая) в решение проблемы предвидения каталитического действия. Особое значение в этом смысле имеют глубоко разработанные и математически обоснованные им и его обширной научной школой принципы геометрического и энергетического соответствия катализаторов и катализируемых ими молекул реагирующих веществ. Именно на этих фундаментальных положениях базируется выдвинутая в 1929 г. А. А. Баландиным мультиплетная теория катализа, получившая с тех пор широкое распространение и признание среди химиков. На торжественном акте делегатов IV Международного конгресса по катализу приветствовали: вице-президент Академии наук СССР академик Н. Н. Семенов, министр химической промышленности СССР Л. А. Костандов, председатель постоянного комитета Международного конгресса по катализу проф. Я. Х. де Бур (Нидерланды), председатель Международного Союза по чистой и прикладной химии академик В. Н. Кондратьев, заместитель председателя Государственного Комитета Совета Министров СССР по науке и технике тов. Егоров, председатель научного совета по катализу и его промышленному применению академик Г. К. Боресков, заместитель

председателя исполкома Московского Совета депутатов трудящихся тов. Исаев.

Работа IV Международного конгресса по катализу состояла из двух разделов: 1. Пленарные заседания конгресса, 2. Работа трех симпозиумов.

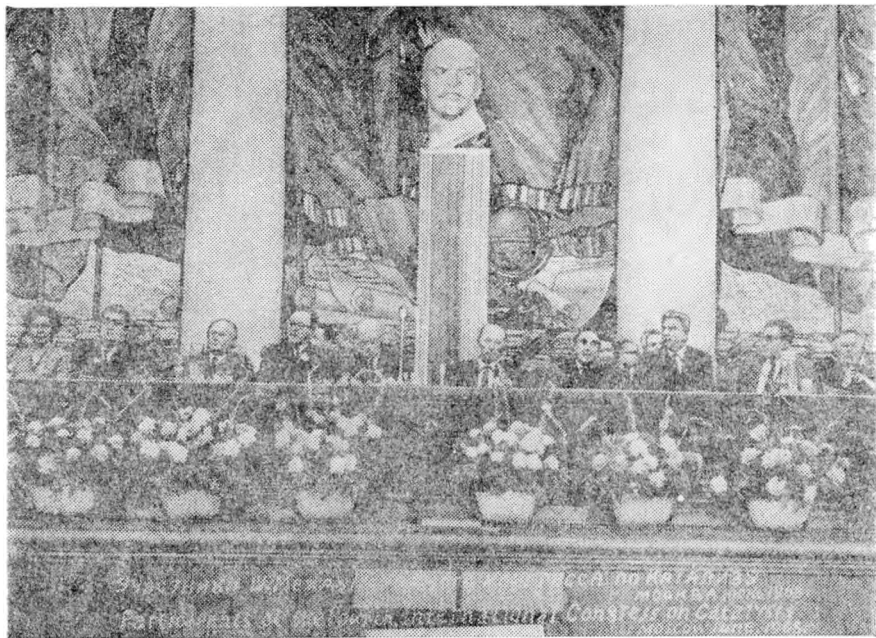


Рис. 3. На открытии IV Международного конгресса по катализу 23 июня 1968 г. В президиуме (слева направо): проф. К. В. Топчиева, министр химической промышленности СССР Л. А. Костанов, академик Г. К. Боресков, ученый секретарь конгресса Полковников, президент конгресса академик Б. А. Казанский, председатель постоянного комитета конгресса по катализу проф. Я. Х. де Бур (Голландия), академик Н. Н. Семенов, академик Н. М. Жаворонков, проф. А. М. Рубинштейн, проф. Ч. Кемболл (Англия).

Пленарные заседания конгресса проходили с 24 по 29 июня 1968 г. На них было заслушано 7 лекций выдающихся ученых в области катализа и 85 докладов по результатам экспериментальных и теоретических исследований. Так как препринты всех докладов были разосланы делегатам конгресса задолго до начала работы конгресса, то докладчикам предоставлялось только 5 минут для краткого реферативного изложения основных положений докладов. Лекции, продолжительностью 45 минут каждая, представляли собой обзоры по основным разделам катализа. Все утренние заседания конгресса начинались лекциями. На конгрессе были заслушаны следующие лекции: «Диффузия в пористых системах, в особенности в связи с проблемой селективности», Я. Х. де Бур (Нидерланды); «Значение электронных факторов и внутренней кибернетики процессов в предвидении каталитических свойств», С. З. Рогинский (СССР); «Модели твердых катализаторов с точки зрения теории кристаллического поля и теории поля лигандов», Д. А. Дауден (Великобритания); «Структура и устойчивость углеводородных промежуточных соединений на поверхности катализаторов», Ч. Кемболл (Великобритания); «Катализ металлами», Г. Ринеккер (ГДР); «Линейное соотношение свободной энергии в гетерогенном ка-

таллизе — термодинамический и квантово-химический подход», Ю. Ионедэ (Япония).

Так как рабочими языками конгресса были английский и русский, то это сделало возможным участие в обсуждении большого числа советских специалистов по катализу, не владеющих иностранными языками, что способствовало более активному развертыванию дискуссий почти по всем заслушанным докладам. Одна треть заслушанных на конгрессе докладов (28 из 85) представлены делегатами Советского Союза.

IV Международный конгресс по катализу закончил свою работу 29 июня 1968 г. Научные итоги его подвел в заключительной речи заместитель председателя Оргкомитета академик Г. К. Боресков, подчеркнувший, что предвидение каталитической активности не только является основной целью развития теории катализа, но и главным критерием ее зрелости. В настоящее время прогнозирование при поисках новых катализаторов базируется на обобщениях обширных экспериментальных данных по катализаторам и каталитическим реакциям, накопленных за последние десятилетия.

В последнее время делаются попытки более глубокого и полного использования этих экспериментальных данных на основе использования методов статистики и вычислительной техники. Несколько докладов на конгрессе было посвящено этим вопросам.

Г. К. Боресков обратил особое внимание на важность для предвидения каталитического действия правильной оценки и учета данных о химическом составе и структуре катализаторов, включая данные по физике и химии твердого тела, закономерностей механизма и кинетики химических реакций. Он особо подчеркнул, что полноценная теория предвидения каталитического действия может быть построена лишь на основе глубокого изучения механизма действия катализаторов. Поэтому надо в первую очередь выяснить, на каких общих принципиальных положениях теории гетерогенного катализа может и должно базироваться предвидение каталитического действия.

Найти и установить связь каталитического действия с фундаментальными физическими и химическими свойствами и составом гетерогенных катализаторов — вот важнейшая задача, на решении которой может прочно опираться теория предвидения каталитического действия.

С этой точки зрения особую важность представляет знание химического и фазового состава, его кристаллической структуры на разных стадиях его жизни (приготовление, активация, работа, регенерация). Весьма важно поэтому применять комплекс физических и физико-химических методов, позволяющих количественно оценить характер изменения химического и фазового состава катализатора на разных стадиях его жизни и установить связь каталитической активности с этими изменениями состава и физических свойств его.

В этой связи необходимо снова подчеркнуть принципиальное научное значение для решения предвидения каталитической активности принципов пространственного и энергетического соответствия катализаторов и молекул реагирующих веществ, разработанных академиком А. А. Баладиным и его школой и лежащих в основе мультиплетной теории.

В этой теории изложены и принципы классификации каталитиче-

ских органических реакций, что, несомненно, имеет большое значение для построения общей теории гетерогенного катализа.

Г. К. Боресков обратил внимание на важность правильной количественной оценки энергии промежуточного взаимодействия реагирующих молекул с катализатором, которая зависит от всей совокупности химических свойств катализатора и реагирующего вещества. Поэтому важно развить работы как по общим методам оценки энергии промежуточного взаимодействия, так и для отдельных групп катализаторов.

Значительное внимание в докладах и дискуссиях на конгрессе было уделено кристаллическим цеолитам, прежде всего активным центрам и механизму реакций, протекающих на них. Исследования, проведенные на различных типах цеолитов, показали, что кислые протонные группы различного химического состава являются активными центрами в отношении основных гетеролитических (кислотно-основных) реакций. В докладах на конгрессе было показано, что нет принципиального различия в реакциях, протекающих на кислых центрах кристаллических и аморфных цеолитов. Более же высокая каталитическая активность кристаллических цеолитов, по сравнению с аморфными, объясняется наличием у кристаллических форм большего числа активных центров, доступных для реагирующих веществ, приходящихся на единицу объема катализатора. Важно подчеркнуть, что каталитические реакции гетеролитического, то есть кислотно-основного типа, играют особенно важную практическую роль в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Многомиллионная по тоннажу товарная продукция, выпускаемая этими отраслями промышленности, базируется на использовании каталитических процессов гетеролитического типа. Конгресс показал, что хотя уже в настоящее время ясна в общих чертах качественная сторона природы каталитического действия гетерогенных катализаторов, потребуется еще провести много теоретических, экспериментальных и расчетных исследований, чтобы получить достаточное количество надежных объективных данных для построения общей теории предвидения каталитического действия, позволяющей прогнозировать активность и избирательность новых катализаторов, основываясь на строго количественных данных. Потребуется не только значительно расширить и интенсифицировать научные исследования в области гетерогенного катализа в разных странах мира, но и значительно усилить международное сотрудничество ученых разных стран, работающих в этой области, и улучшить взаимную информацию по результатам научных исследований.

IV Международный конгресс по катализу может служить хорошим примером дружной совместной работы ученых разных стран над решением важной для химической науки и большой практической актуальности для многоотраслевой химической промышленности научно-технической проблемы — предвидение каталитического действия.

\* \* \*

После официального закрытия IV Международного конгресса по катализу участники конгресса продолжили свою работу в трех Международных симпозиумах по важнейшим проблемам катализа.

Симпозиум № 1, который проходил в Москве под руководством члена-корр. АН СССР С. З. Рогинского, был посвящен проблеме «Механизм и кинетика сложных каталитических реакций». В течение 3 дней (1—3 июля) на симпозиуме было заслушано и обсуждено 8 лекций и 24 доклада. Принцип работы этого симпозиума был такой же, как и на конгрессе: в начале заседания читалась одна или две

обзорных лекции ведущих ученых по проблеме, затем краткие пяти-минутные сообщения по группе специальных докладов и в заключение вопросы и дискуссии по ним.

Были заслушаны следующие обзорные лекции: «Механизм и кинетика некоторых реакций на алюмосиликатных катализаторах», Я. Х. де Бур (Нидерланды); «Некоторые вопросы гомогенного катализа», Н. Н. Семенов и А. Е. Шилов (СССР); «Кинетика стационарных сложных реакций», М. И. Темкин (СССР); «Каталитическое окисление непредельных углеводородов», В. Захтлер (Нидерланды); «Радиоизотопы и хроматография в исследовании механизма сложных каталитических реакций», Г. В. Исагулянц и М. И. Яновский (СССР); «Статистическая интерпретация стереорегулярной полимеризации», Ю. Фурукава (Япония), «Стереоспецифический катализ при полимеризации диенов под влиянием  $\pi$ -алкильных комплексов», Б. А. Долгоплюс (СССР).

Работа этого симпозиума прошла при активном ведущем участии советских специалистов. Достаточно сказать, что из 8 лекций, 4 (50%) лекции прочитаны советскими учеными, а из 24 докладов советскими учеными прочитано 9 (38%). Следует особо отметить большой интерес, который вызвал на симпозиуме доклад Я. Т. Эйдуса и Н. И. Ершова, «Инициированный гетерогенный катализ», в котором авторы на основании своих экспериментальных данных развивают представление об астехиометрических инициаторах катализа.

Симпозиум № 2. «Электронные явления в хемосорбции и катализе на полупроводниках» проходил в Москве (МГУ) под руководством проф. Ф. Ф. Волькенштейна 2—4 июля. По своей программе и принципу организации работы он отличался от симпозиумов № 1 и 3. На нем обсуждалось 6 крупных разделов проблемы: I. «Теория полупроводникового катализа» (2 доклада); II. «Механизм хемосорбционного акта» (3 доклада); III. «Механизм каталитического акта» (3 доклада); IV. «Влияние примесей на каталитические и электронные свойства полупроводников» (4 доклада); V. «Фотоэффекты в хемосорбции и катализе» (4 доклада); VI. «Действие ионизирующей радиации на каталитические и электронные свойства полупроводников и изоляторов» (3 доклада). На симпозиуме зачитывались доклады в полном объеме (от 25 до 45 минут) и затем проводилась дискуссия по каждому разделу. Всего было заслушано и обсуждено 19 докладов, из них 6 докладов (32%) представлено советскими учеными. В работе этого симпозиума приняла активное участие большая группа крупных советских ученых (В. И. Спицын, С. З. Рогинский, Ф. Ф. Волькенштейн, И. А. Мясников, В. Ф. Киселев, Г. М. Жаброва и др.); из социалистических стран — М. Томашек и Я. Коутецкий (Чехословакия), О. Пенчев (Болгария), А. Белянский и Г. Дерень (Польша); из США — Дж. Бенсон, А. Б. Уолтерс, М. Будар, Г. Парравано; из стран Западной Европы — Р. Кунельбергс и Н. Крюк (Бельгия), Р. И. Биклей и Ф. С. Стоун (Великобритания), Х. Ф. Гарсия де ля Банда (Испания), Е. Молинари (Италия), Г. Эль Шобаки, Р. Гравель и С. Тэшнер (Франция), К. Хауффе, Р. Штехемессер и Ф. Штейнбах (ФРГ), а также из Японии, Г. Кван.

Симпозиум № 3 проходил 5 и 6 июля в Академгородке Новосибирска под руководством академика Г. К. Борескова. Он был посвящен проблеме «Пористая структура катализаторов и роль процессов переноса в гетерогенном катализе». В работе этого симпозиума приняли участие более 500 ученых, в том числе более 100 иностранных уче-

ных и инженеров. Всего было заслушано 26 докладов, которые были сгруппированы по тематической близости по трем разделам:

1. Общие закономерности протекания реакции и процессов переноса в пористых катализаторах (8 докладов); 2. Методы исследования пористой структуры и измерения коэффициентов массопереноса (11 докладов) и 3. Влияние пористой структуры и коэффициентов массопереноса на скорость и направление химического превращения (7 докладов). Работу симпозиума открыл кратким вступительным словом его руководитель, академик Г. К. Боресков. На долю советских исследователей, главным образом сотрудников Института катализа Сибирского Отделения Академии наук СССР, приходится 25% всех докладов, основная же часть докладов была сделана иностранными учеными (США, Чехословакия, ГДР, ФРГ, Венгрия, Италия, Польша, Канада, Япония). Работа симпозиума протекала в обстановке необычайно активной творческой дискуссии.

На заключительном заседании симпозиума в субботу 6 июля с приветствием к участникам симпозиума выступил председатель Сибирского отделения АН СССР, вице-президент Академии наук СССР академик М. А. Лаврентьев. Он ознакомил участников симпозиума с историей организации и развития Сибирского отделения АН СССР.

Итоги работы Новосибирского симпозиума IV Международного конгресса по катализу подвел академик Г. К. Боресков в заключительной речи при его закрытии. Участники симпозиума имели возможность ознакомиться с работой Институтов физического и химического профиля Сибирского отделения АН СССР.

IV Международный конгресс по катализу явился крупнейшим научным событием нынешнего года.

Широкие круги химиков Советского Союза получили возможность ознакомиться с последними достижениями и успехами одной из важнейших ветвей химической науки — катализом в изложении крупнейших представителей химии катализа.

Институт химии  
АН Туркменской ССР

Поступило  
25 июля 1968 г.

УДК 665—592 (575.4+574.12)

С. Р. СЕРГИЕНКО  
А. АЙДОГДЫЕВ  
Б. А. ТАИМОВА  
М. П. ЧЕЛПАНОВА

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ И СВОЙСТВ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ НЕФТЕЙ ПРИКАСПИЙСКИХ И БУХАРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В ранее опубликованных работах [1, 2, 3] были охарактеризованы состав и свойства ряда нефтей западно-туркменских месторождений (Западный Котур-Тепе, п-ов Челекен, морская).

Исследование высокомолекулярной части этих нефтей показало, что они характеризуются низким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ, практически полным отсутствием серы в углеводородной части, выкипающей до 400°C. Среди высокомолекулярных углеводородов преобладают предельные углеводороды — гибридные парафиноциклопарафиновые и парафиновые структуры.

Представлялось крайне интересным в научном и важном в практическом отношении сопоставить состав и свойства нефтей крупнейших месторождений Средней Азии. С этой целью были исследованы 6 образцов эксплуатируемых площадей: 2 нефти Прикаспийской низменности Туркменистана (Восточный Котур-Тепе и Барса-Гельмес), 2 нефти Казахстана (п-ов Мангышлак — Узень, Жетыбай) и 2 нефти месторождений Узбекистана (Бухара — Шур-Тепе, Карак-Тай). Все 6 образцов нефтей были отобраны из отдельных скважин практически одновременно (октябрь — декабрь 1967 г), разогнаны и исследованы по единой схеме. Основные результаты сравнительной характеристики химической природы и свойств 6 исследованных образцов индивидуальных нефтей и приводятся в настоящем сообщении.

### Экспериментальная часть

Фракционирование обезвоженных и освобожденных от механических примесей нефтей проводилось с отбором суммарной бензиновой (н. к.—200°), керосиновой (200—300°) и пятидесятиградусных высокомолекулярных (300—350°, 350—400°, 400—450°) фракций и остатков выше 350 и 450°C.

Фракционный состав и кривая разгонки нефтей приводятся соответственно на рисунках 1 и 2. Характеристика свойств нефтей, предварительно обезвоженных и отделенных от механических примесей, приведена в табл. 1.

Бензиновые фракции нефтей (н. к.—200°) были затем расфракционированы на стандартные бензиновые фракции и их свойства, а также

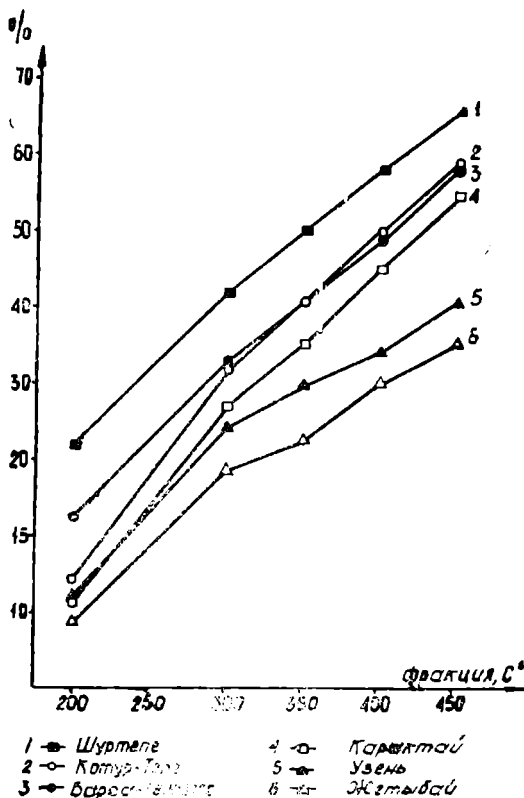


Рис. 1. Кривые разгонки нефтей.

фракционный и групповой углеводородные составы детально охарактеризованы [4].

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что исследованные нефти весьма существенно различаются по своему фракционному и компонентному составу, а также по содержанию серы. Несмотря на близость начальной температуры кипения (23—31°), они сильно различаются по фракционному составу. Наиболее легкой является бухарская нефть месторождения Шур-Тепе (н. к.—25°, бензиновая фракция — 22%, керосиновая — 20%, до 450° выкипает 66%), наиболее тяжелые нефти мангышлакские (бензиновая часть 9—13%, керосиновая — 10—12%, до 450° выкипает 36—41%). Нефти Прикаспийской низменности Туркмении занимают промежуточное положение по фракционному составу (бензиновая фракция 14—18%, керосиновая — 15—18%, до 450° выкипает 59—60%). К последней группе

примыкает и бухарская нефть месторождения Карак-Тай, отличающаяся лишь более низким выходом бензиновой фракции, 12%.

По основным показателям состава и свойств исследованные нефти отчетливо распадаются на три группы, каждая из которых характеризуется географической близостью месторождений.

В табл. 2 приведены сравнительные данные, характеризующие эти группы нефтей.

Однако и в пределах каждой из этих групп нефтей наблюдаются существенные различия. Так, нефти месторождений Котур-Тепе и Барсагельмес весьма близки по фракционному составу, но резко различаются по содержанию парафина (8,5 и 3,2% соответственно), смолисто-асфальтеновых веществ (7,2 и 18,1% соответственно) и по температуре застывания (+21 и —21°С, то есть разница 42°).

Еще больше различаются между собой нефти Бухарских месторождений (Шур-Тепе и Карак-Тай) как по фракционному составу (бензиновая фракция 22 и 12, керосиновая 20 и 16, остаток выше 450° — 66 и 55% соответственно), так и по содержанию в них серы (1,46 и 2,30%). Это самые высокосернистые из исследованных нефтей. Интересно отметить особенности состава смолисто-асфальтеновых веществ в этих нефтях. По суммарному содержанию смолисто-асфальтеновых веществ (9,4 и 10,4% соответственно) нефти весьма близки, но

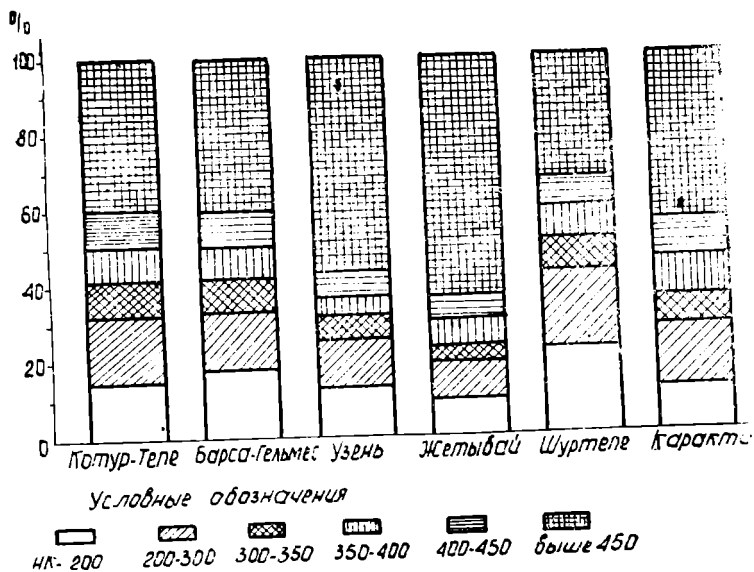


Рис. 2. Фракционный состав нефтей.

Таблица 1

Общая характеристика нефтей

Состав и свойства нефти	Месторождения нефти					
	Восточный Котур-Тепе, скважина № 229	Барса-Гельмес, скважина № 10	Узень, скважина № 50	Жетыбай, скважина № 36	Шур-Тепе, скважина № 25	Карак-Тай, скважина № 10
Удельный вес	0,8552	0,8664*	0,8453**	0,8454***	0,8516	0,8887
Температура застывания, °С	+21	-21	+25	+33	-11	-3
Нефть содержит, %:						
Парафин (по Гольде)	8,5	3,2	15,2	15,6	2,6	3,1
Смолы	6,6	17,2	17,0	15,5	6,8	9,9
Асфальтены	0,6	0,9	2,6	2,7	2,6	0,5
Серу	0,27	0,46	0,10	0,10	1,46	2,30

Фракционный состав нефтей

	26	36	23	30	25	29
Начало кипения, °С	26	36	23	30	25	29
до 200° выкипает, %	14,2	17,8	12,7	9,1	22,2	11,7
"  300°	32,3	32,7	24,7	19,0	42,3	27,6
"  350°	(18,1)	(14,9)	(12,0)	(9,9)	(20,1)	(15,9)
"  400°	41,2	41,2	30,1	23,0	50,3	35,3
"  450°	(8,9)	(8,5)	(5,4)	(4,0)	(8,0)	(7,7)
"  выше 450°	50,4	49,5	34,8	30,2	58,7	45,4
	(9,2)	(8,3)	(4,7)	(7,2)	(8,4)	(10,1)
	59,7	59,0	41,3	36,1	66,3	55,2
	(9,3)	(9,5)	(6,5)	(5,9)	(7,6)	(9,8)
	37,7	41,8	56,7	59,3	27,6	41,8

\* При 30; \*\* при 50; \*\*\* при 40°С.

## Характеристика групп нефтей

Характеристика	Группа нефтей		
	Прикаспийской низменности	п-ова Мангышлак	Бухары
Фракционный состав, %:			
н. к.—200°	14—18	9—13	12—22
н. к.—300°	32—33	19—24	28—42
н. к.—450°	59—60	36—41	55—66
Содержание смолисто-асфальтеновых веществ, %	7,2 — 18,1	18,2—19,6	9,4—10,4
Доля асфальтенов в них, %	8,3 — 5,0	14,8—13,3	27,7— 4,8
Содержание серы, %	0,27— 0,46	0,10	1,46—2,30

резко различаются по удельной доле асфальтенов (27,7 и 4,8 соответственно). Отсюда следует, что нефти месторождений Шур-Тепе и Карак-Тай резко различаются по своим химико-технологическим свойствам. Как видно из приведенных в таблицах 1 и 2 данных, наиболее близки между собой по фракционному и компонентному составу мангышлакские нефти. По всем своим основным показателям нефти месторождений Узень и Жетыбай практически не различаются между со-

## Физические свойства и групповой углеводородный

Нефть	Котур-Тепе				Барса-Гельмес				Жетыбай				
	Группы углеводородов	Выход, % на		$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	Выход, % на		$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	Выход, % на		$d_4^{20}$	$n_D^{20}$
		нефть	фракцию			нефть	фракцию			нефть	фракцию		
300—350	Суммарная	8,9	100,0	0,8297	1,4626	8,5	100,0	0,8344	1,4706	4,6	100,0	0,8123	1,4548
	ПЦП	7,4	83,3	0,8110	1,4510	6,9	80,7	0,8213	1,4540	4,0	87,0	0,7994	1,4464
	МЦА	—	3,4	0,9076	1,5064	—	8,1	0,8989	1,5122	—	3,8	—	1,5162
	БЦА	—	4,6	0,9779	1,5623	—	7,3	0,9731	1,5587	—	3,3	0,9149	1,5720
	КПЦА	—	2,4	—	1,5920	—	0,6	—	1,5826	—	—	—	—
350—400	Суммарная	9,2	100,0	0,8482	1,4711	8,3	100,0	0,8634	1,4796	6,6	100,0	0,8291	1,4630
	ПЦП	7,5	81,7	0,8245	1,4570	6,2	74,2	0,8345	1,4611	5,5	84,2	0,8113	1,4544
	МЦА	—	8,3	0,9274	1,5087	—	9,8	0,9129	1,5098	—	1,0	—	1,5204
	БЦА	—	3,7	0,9964	1,5690	—	2,8	0,9820	1,5666	—	8,8	0,9583	1,5488
	КПЦА	—	4,5	1,0169	1,5957	—	8,3	1,0100	1,5855	—	—	—	—
400—450	Суммарная	9,3	100,0	0,8415*	1,4815	9,5	100,0	0,8517*	1,4904	5,9	100,0	0,8194*	1,4696
	ПЦП	6,9	73,9	0,8181*	1,4532*	6,5	68,7	0,8511	1,4686	5,2	87,0	0,8022*	1,4469*
	МЦА	—	9,0	0,9177	1,5102	—	10,1	0,9095	1,5060	—	2,6	—	1,5358
	БЦА	—	2,1	—	1,5410	—	10,4	0,9777	1,5566	—	7,2	0,9557	1,5446
	КПЦА	—	7,1	—	1,5966	—	4,9	1,0037	—	—	—	—	—

\* При 50°C

бой. Это тяжелые, высокопарафинистые и высокосмолистые нефти с низким содержанием серы (0,1%). Целесообразность их совместной переработки не вызывает сомнений.

Для определения группового углеводородного состава пятидесятиградусных высокомолекулярных фракций нефтей и углеводородов остатков, выкипающих выше 350°C, применялся адсорбционно-хроматографический метод разделения на силикагеле АСК [5].

Как видно из табл. 3, по групповому углеводородному составу нефти Прикаспийских месторождений близки между собой. Высокомолекулярная часть всех четырех нефтей в основном состоит из предельных парафино-циклопарафиновых углеводородов (69—87%), содержание которых постепенно снижается с повышением температуры кипения фракций.

Закономерности распределения моно- и бициклической ароматики по фракциям у этой группы нефтей также близки (суммарное содержание ароматических углеводородов в пределах 10—25%). В нефтях Мангышлакских месторождений практически отсутствует конденсированная полициклическая ароматика, в нефтях же месторождений Западной Туркмении (Котур-Тепе и Барса Гельмес) она содержится во всех фракциях в пределах от 1—8%. В нефтях Бухарских месторождений содержание предельных углеводородов значительно ниже, чем в нефтях Прикаспийских месторождений, и оно заметно снижается с повышением температуры кипения фракций. Так, например, в фракции 300—350° содержание парафино-циклопарафиновых углеводородов составляет 63—70%, а в фракции 400—450° — 52—62%. Среди ароматических углеводородов, содержание которых в отдельных фракциях нефти Карак-Тай достигает 50%, преобладают конденсированные (ди- и полициклические).

Таблица 3

состав высокомолекулярных фракций нефтей

Узень		Шур-Тепе				Карак-Тай					
Выход, % на		$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	Выход, % на		$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	Выход, % на		$d_4^{20}$	$n_D^{20}$
нефть	фракцию			нефть	фракцию			нефть	фракцию		
5,4	100,0	0,8184	1,4561	8,0	100,0	0,8357	1,4696	7,7	100,0	0,8585	1,4826
4,5	82,7	0,8024	1,4471	5,6	70,0	0,8024	1,4465	4,8	62,7	0,8103	1,4516
—	2,2	0,9223	1,5202	—	7,9	0,8876	1,5000	—	11,6	0,8876	1,5012
—	7,5	0,9571	1,5483	—	16,0	0,9784	1,5749	—	19,9	0,9937	1,5716
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,7	100,0	0,8301	1,4637	8,1	100,0	0,8588	1,4816	10,1	100,0	0,8741	1,4916
3,9	83,0	0,8129	1,4525	5,7	70,0	0,8155	1,4541	5,9	58,5	0,8164	1,4534
—	2,4	—	1,5356	—	2,7	0,8795	1,4949	—	14,6	0,9122	1,5109
—	8,4	0,9618	1,5476	—	17,9	0,9904	1,5688	—	2,9	0,9986	1,5744
—	—	—	—	—	—	—	—	—	20,0	1,0303	1,5928
6,5	100,0	0,8224*	1,4705	7,9	100,0	0,8558*	1,4906	9,8	100,0	0,8928	1,5001
5,5	84,2	0,8096*	1,4470*	4,9	62,2	0,8102	1,4617	5,1	51,8	0,8093	1,4620
—	5,5	0,9185	1,5137	—	13,8	0,9007	1,5055	—	15,7	0,9111	1,5106
—	8,8	0,9809	1,5704	—	3,2	1,0002	1,5692	—	7,3	1,0037	1,5750
—	—	—	—	—	18,3	1,0347	1,5995	—	21,5	1,0276	1,5893

## Выводы

На основании исследования химической природы и свойств 6 представительных нефтей крупнейших месторождений Прикаспия (Западно-Каспийская впадина Туркменистана и Мангышлак) и Бухары и их фракций сделаны следующие основные выводы:

1. Все 4 нефти Прикаспийских месторождений имеют много общего в своем составе: в них преобладают предельные углеводороды, содержание которых в высококипящих фракциях составляет 69—87%, невысокое содержание сернистых соединений (содержание серы колеблется в пределах 0,1—0,5%) и среди ароматических углеводородов преобладают гомологи бензола, при почти полном отсутствии полициклических ароматических углеводородов.

2. Нефти Бухарских месторождений (Шур-Тепе и Карак-Тай) по своей химической природе резко отличаются от нефтей Прикаспийских месторождений. Они характеризуются высокой сернистостью (содержание серы 1,5—2,3%), более низким содержанием предельных (52—70%) и более высоким (до 50%) содержанием ароматических углеводородов, причем среди ароматических углеводородов преобладают ди- и полициклические структуры. Они отличаются более легким фракционным составом, до 450° выкипает 55—66%.

3. Наиболее близки между собой по групповому углеводородному составу и по общим технологическим свойствам исследованные нефти Мангышлака. Использование и переработка этих двух нефтей должны вестись по единой схеме.

4. Нефти Прикаспийской низменности месторождений Туркмении (Котур-Тепе и Барса Гельмес) близки по фракционному составу и по групповому углеводородному составу высококипящих фракций, но сильно различаются по ряду свойств (температура застывания и др.), что обусловлено разным содержанием в них парафина (8,5 и 3,2%) и смолисто-асфальтеновых веществ (7,2 и 18,1%).

5. Общей закономерностью для всех 6 исследованных нефтей является снижение в высокомолекулярных фракциях содержания предельных и увеличение содержания ароматических углеводородов по мере повышения их температуры кипения.

Институт химии  
АН Туркменской ССР

Поступило  
5 сентября 1968 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сергиенко С. Р., Гарбалинский В. А., Таимова Б. А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 2, 1963.
2. Сергиенко С. Р., Таимова Б. А., Халлыева Д. П., Гарбалинский В. А., Гукасова Р. Г. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 4, 1964.
3. Сергиенко С. Р., Овезова А. П., Таимова Б. А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 3, 1966.
4. Сергиенко С. Р., Атамередова К. Р., Медведева В. Д., Кульджасов Б. А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 5, 1968.
5. Сергиенко С. Р., Михновская А. А. — Тр. комиссии по аналитической химии, т. VI (IX), 1955.

УДК 550.848:553.981/553.982 (575.4)

А. КУРБАНМУРАДОВ

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АПШЕРОНСКИХ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОГО ТУРКМЕНИСТАНА В СВЯЗИ С ЕГО НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬЮ

Апшеронские отложения имеют широкое распространение в Юго-Западном Туркменистане. Они обнажаются на Челекене, Небит-Даге, Монжуклы, Боя-Даге и Сыртланли. Выходы апшерона известны в Западном Копет-Даге (Даната, Ала-Даг, Зирик и др.), протягиваются почти сплошной полосой на южном склоне Малого Балхана, встречаются на Красноводском п-ове.

Апшеронский ярус вскрыт скважинами глубокого бурения на всех нефтеносных и разведочных складках Западно-Туркменской низменности. Наблюдается общее увеличение мощностей отложений к центру низменности. Наиболее полную мощность, превышающую 700—1000 м, имеет апшеронский ярус в разрезах Котур-Тепе, Небит-Дага и Монжуклы. В направлении горных хребтов мощность постепенно уменьшается, часто выклинивается (Ялма-Куи) или обнажается на гипсометрически пониженных участках подножий гор. Поэтому водоносные горизонты апшерона характеризуются неблагоприятными условиями в отношении питания атмосферными осадками в районах его выходов. Естественные выходы подземных вод (источники), связанные с отложениями апшерона, в пределах низменности отсутствуют, вследствие чего подземные воды находятся в весьма затрудненных условиях водообмена.

Апшерон представлен в основном глинами, глинистыми песками и песками. Песчаные слои содержат подземные воды. Водоносные горизонты являются хорошимместилищем нефтегазовых скоплений в Южно-Каспийском бассейне. Существующий весьма затрудненный водообмен способствует сохранению в них залежей нефти и газа.

В Западно-Туркменской низменности с апшеронскими отложениями связаны большие залежи нефти и газа в Небитдагской, Кумдагской и Котуртепинской складках. Во многих складках (Адам-Кудук, Окарем, Камышлджа и др.) встречены скопления углеводородного газа. Однако гидрогеологические условия водонефтегазоносных горизонтов апшерона изучены очень слабо. Нет ни одной работы, посвященной особенностям распространения вод нефтегазоносных апшеронских отложений этого района.

Апшеронские воды получены в основном из разведочных и эксплуа-

тационных скважин Кум-Дага, Небит-Дага и Котур-Тепе. В Окареме, Камышлджэ, Урунджике, Адам-Кудуке и Барса-Гельмесе они вскрыты единичными скважинами. В складках Адам-Кудук, Окарем и Камышлджа воды апшерона сопровождаются свободным и растворенным в воде углеводородным газом. В ряде складок (Кум-Даг, Небит-Даг, Котур-Тепе и Барса-Гельмес) подземные воды контактируются с залежами нефтей.

Апшерон по сравнению с нижележащими отложениями верхнего и среднего плиоцена характеризуется слабой водообильностью. Однако скважины, вскрывающие водоносные пласты апшеронского яруса, при опробовании обычно фонтанируют нефтью, газом и подземной водой, насыщенной углеводородным газом. Это, по-видимому, объясняется тем, что в условиях небольшого гидродинамического напора после освобождения от значительного влияния газового фактора давление в пласте быстро падает и скважина перестает фонтанировать и переходит к компрессорному или насосному способу эксплуатации. Поэтому пластовые давления водонефтеносных пластов в эксплуатируемых месторождениях Небит-Даг и Кум-Даг во всех случаях ниже гидростатического.

Температура воды изменяется в зависимости от глубины залегания водоносных горизонтов. Ни более высокая температура (30—37°) наблюдается в пределах Западного Небит-Дага, Юго-Западного Кум-Дага, Восточного Котур-Тепе и Камышлджа, где апшеронские водоносные горизонты залегают на значительной глубине (500—800 м и более).

Окислительно-восстановительный потенциал (ЕН) характеризуется знаком минус, что показывает восстановительную обстановку пластовых вод. Концентрация водородных ионов свидетельствует о наличии слабокислой среды (РН-7, 2—8).

Характерной чертой пластовых вод апшерона является отсутствие или весьма незначительное содержание в них иона-сульфата (от 0,0 до 0,5% в солевом составе воды). Бессульфатные воды апшерона лишены также сероводородного газа.

Закрытость в гидрогеологическом отношении водоносных горизонтов, наличие слабокислой среды, бессульфатность вод и существование восстановительной обстановки — все это делает апшеронские отложения весьма благоприятными для сохранения нефтяных и газовых залежей.

В отношении изменения минерализации и химического состава вод по какому-либо направлению, пересекающему весь исследуемый район, отчетливо выраженной закономерности не наблюдается. Воды Окарема, Камышлджа, Адам-Кудука и Урунджука характеризуются, в целом, высокой общей минерализацией и относятся к хлоркальциевому типу. Минерализация воды Окарема составляет в среднем 113, Адам-Кудука — 139, Урунджука — 114, Боя-Дага — 127 г/л. Величина отношения  $\frac{Na}{Cl}$

обычно менее 1,  $\frac{Ca}{Mg}$  составляет 1, 2—3, 6; значения  $\frac{Cl - Na}{Mg}$  колеблются в пределах 1,5—5,0 и более. Основными компонентами вод указанных площадей являются ионы хлора и натрия, составляющие соответственно 98,5 (по аниону) и 78% и более (по катиону).

Несколько сложную гидрохимическую обстановку имеют нефтяные месторождения Небит-Даг, Котур-Тепе и Кум-Даг, где минерализация, химический состав, соотношения отдельных химических элементов и типы вод изменяются в больших пределах.

Особенно наглядна в этом отношении складка Небит-Даг. По место-

рождению Небит-Даг обрабатаны и проанализированы свыше 300 аналитических данных, составлена карта минерализации. Из карты (рис. 1) видно, что воды апшеронских отложений Небит-Дага имеют различный химический состав и гидрогеологические типы. Особенно характерно изменение отдельных параметров вод на площади складки. В пределах нефтегазоносной части месторождения выделяется четыре гидрохимических поля, отличающихся между собой величиной минерализации и содержанием отдельных химических компонентов. Воды пониженной минерализации (25—50 г/л) залегают в западной погруженной части складки, вдоль зоны региональных нарушений (скважины № 205—203). Величина отношения  $\frac{Na}{Cl}$  в этих водах составляет 0,96—1,03. Воды относятся к хлормагниево- и гидрокарбонатнонатриевому типам.

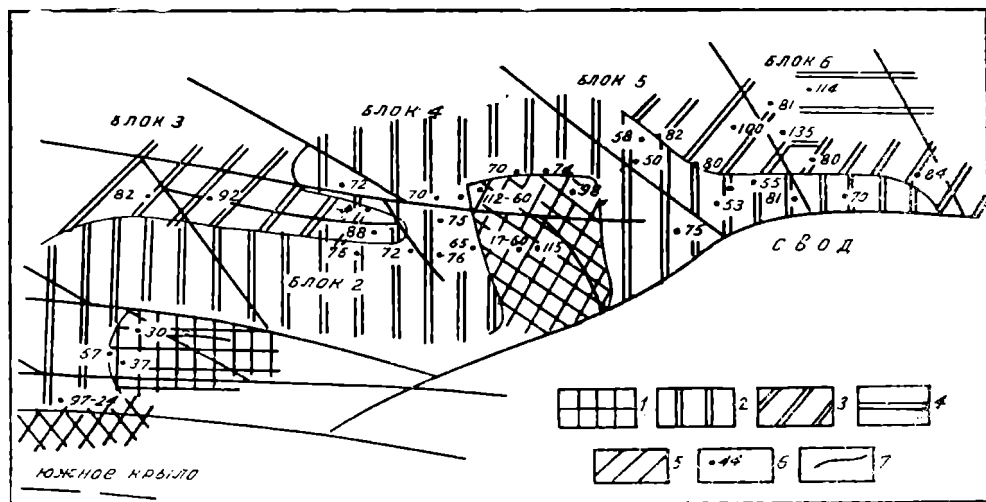


Рис. 1. Небит-Даг. Карта минерализации вод апшеронских отложений, 1967 г. Минерализация воды, г/л: 1 — от 25 до 50; 2 — от 50 до 75; 3 — от 75 до 100; 4 — от 100 до 150; 5 — от 17 до 120; 6 — место расположения скважины (цифра — минерализация воды, г/л); 7 — разрывы.

Весьма интересные данные получены в скважине № 83, расположенной в зоне региональных нарушений, проходящей между Западным Небит-Дагом и южным крылом складки. Из двух интервалов глубин (461 и 606 м) в пределах апшеронских отложений скважина дала две разновидности воды, отличающиеся друг от друга как по минерализации и химическому составу, так и по гидрохимическому типу. В 1954 г. из глубин 606 м скважина дала аномально маломинерализованные (24,3 г/л) бессульфатные воды гидрокарбонатнонатриевого типа. Содержание гидрокарбонатного иона в воде достигает 1 500 мг/л (17% экв).

Несколько позже опробование произведено по вышележащему водо-нефтеносному пласту, из интервала 461—492 м. Спустя 11 лет, в 1966 г. из апшеронских отложений получены минерализованные (97,8 г/л) хлоркальциевые воды, содержащие в незначительном количестве гидрокарбонат-ион (0,1% экв).

Весьма пестрый характер по минерализации, содержанию отдельных гидрохимических компонентов и по их соотношениям воды дали скважины, расположенные в зоне пересечения двух больших нарушений, отделяющих блок 2 от блока 4. В этом небольшом участке на расстоя-

нии не более 700—800 м из шести скважин получены разные воды хлоркальциевого, хлормagneиевого и гидрокарбонатнонатриевого типов. Минерализация вод изменяется от 17 до 120 г/л. Величина отношения  $\frac{\text{Na}}{\text{Cl}}$  —

$$0,77—1,03; \frac{\text{Cl}-\text{Na}}{\text{Mg}} \quad \text{—} \quad 1—1,2.$$

В связи с наличием различно минерализованных трех гидрохимических типов вод содержание отдельных микрокомпонентов колеблется в широких пределах. Количество брома изменяется от 12 до 270 мг/л, иода — 8—24 мг/л. Сульфат-ион (в количестве 1,8%) отмечен в скважине № 271 (глубина 272—275 м); во всех остальных случаях отсутствует или имеется в небольшом количестве. Содержание гидрокарбонатного иона изменяется от 0,1 до 3—4 %.

Наличие описанных весьма разнообразных вод в пределах отдельных небольших участков объясняется приуроченностью их к зоне крупных разрывных нарушений, по которым в пределах нефтегазоносных районов происходит разгрузка вод из более глубоких водоносных горизонтов [1—2]. Несколько минерализованные (50—75 г/л) хлоркальциевые воды получены из апшеронских отложений блока 4 и небольших участков 2, 5 и 6 блоков.

На Центральном Небит-Даге и северо-западной части Западного Небит-Дага минерализация воды увеличивается до 100 г/л. На крайнем востоке и северо-востоке Центрального Небит-Дага концентрация солей еще более увеличивается и достигает 135 г/л. Состав воды однообразный и относится к хлоркальциевому типу. Величина отношения  $\frac{\text{Na}}{\text{Cl}}$  во всех

случаях менее 1, значение  $\frac{\text{Cl}-\text{Na}}{\text{Mg}}$  изменяется от 1,9 до 4—5. Воды бессульфатные. Гидрокарбонат-ион встречается в весьма незначительном количестве (до 0,5% экв.).

Таким образом, наблюдается закономерное увеличение минерализации воды и уменьшение гидрокарбонатного иона от зоны скрытой разгрузки вод в северном, северо-западном, восточном и северо-восточном направлениях. В этом же направлении увеличивается значение соотношения  $\frac{\text{Cl}}{\text{Mg}}$  и содержание брома (до 350 мг/л). Величина отношения

$\frac{\text{Na}}{\text{Cl}}$  уменьшается до 0,76.

Заслуживает внимания то обстоятельство, что разгрузка вод по разрывным нарушениям из более глубоких горизонтов в плиоценовые отложения и образование здесь отдельных гидрохимических аномалий ранее считались происходящими в пределах только красноцветной толщи и акчагыльского яруса. Однако тщательный анализ и обработка большого гидрохимического материала по апшерону показали, что верхняя граница разгружающихся маломинерализованных гидрокарбонатнонатриевых вод в отдельных участках Небит-Дага доходит до акчагыла и даже апшерона. При этом, если в красноцветной толще Небит-Дага, Челекена и Котур-Тепе аномально маломинерализованные воды занимают сравнительно большие площади, то в пределах апшерона они ограничиваются незначительными участками. Причем, подобные аномалии проявляются в апшероне не сплошным залеганием однородных гидрокарбонатнонатриевых вод, а появлением их в единичных скважинах

с весьма пестрой минерализацией и содержащих смеси различных гидрохимических типов. В верхнем апшероне маломинерализованные гидрокарбонатнатриевые воды уже полностью отсутствуют. Это свидетельствует о том, что тектонические разрывы, служащие весьма удобными каналами для движения и перераспределения жидких и газообразных веществ в красноватой толще и нижележащих отложениях [2], в пределах апшеронских отложений не имеют существенного значения. Многочисленные крупные тектонические нарушения, уходящие своими корнями в более глубокие горизонты, в пределах апшерона в основном затухают или сцементированы различными минералами и солями, находящимися в составе пород и водных растворов. Поэтому разрывные нарушения в пределах верхнего плиоцена и четвертичных отложений не имеют такого большого значения, как в красноватой толще, в распределении подземных вод в складке. И все же наблюдается ясная картина разгрузки жидких и газообразных веществ в апшеронских отложениях, о чем свидетельствуют не только разнообразие и «аномальные воды», но и большая нефтенасыщенность этих участков. Ознакомление с нефтенасыщенностью апшерона показало, что наибольшая нефтегазоносность падает в основном на участки, где нам приходилось обследовать подобные воды.

Подземные воды апшеронских отложений в Котур-Тепинской складке изучены слабо. Всодоносные горизонты опробованы единичными скважинами. По данным нефтяных промыслов Котур-Тепе глубины поступления этих вод недостаточно ясны. Опробованные воды имеют сравнительно небольшую минерализацию и относятся к хлоркальциевому и гидрокарбонатнатриевому типам.

Маломинерализованные гидрокарбонатнатриевые воды получены из скважины № 21, пробуренной на участке, где большое распространение имеют продукты погребенных грязевых вулканов (обломки пород). Последние, как обычно, приурочены к зоне разрывных нарушений.

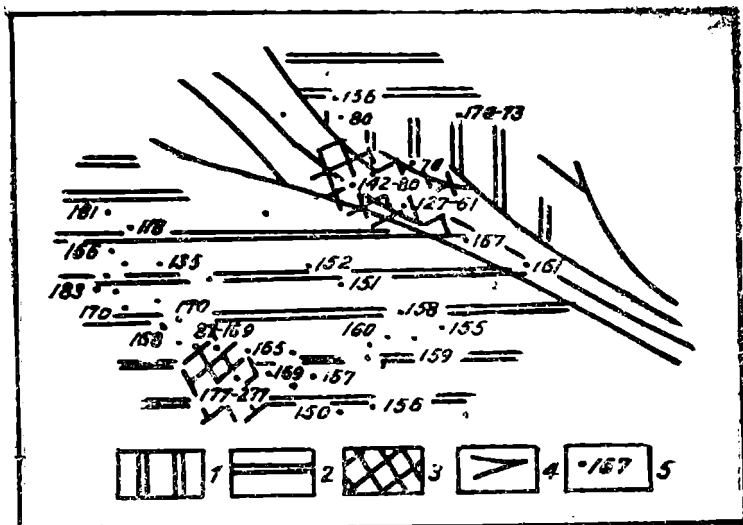


Рис. 2. Кум-Даг. Карта минерализации вод апшеронских отложений, 1967 г. Минерализация воды, г/л. 1 — от 50 до 100; 2 — от 150 до 200; 3 — от 50 до 150 и более; 4 — тектонические разрывы; 5 — место расположения скважин (цифра — величина минерализации вод).

Интересно отметить, что районы расположения скважин, давших маломинерализованные гидрокарбонатнатриевые воды в апшероне,

почти во всех случаях, как и в Небит-Даге, сказались нефтегазоносными. Подземные воды апшеронских отложений Кум-Дага характеризуются однотипным хлоркальциевым составом. Минерализация колеблется в больших пределах (рис. 2). Здесь главным образом распространены три разновидности воды, отличающиеся по величине минерализации и содержанию отдельных химических компонентов. Северо-восточная часть складки характеризуется распространением хлоркальциевых вод сравнительно небольшой минерализации (70—80 г/л).

Подземные воды апшеронских отложений Юго-Западного Кум-Дага в основном имеют высокую минерализацию (150—200 г/л), достигающую местами 277 г/л (скважина № 165).

Воды, имеющие весьма различную минерализацию (61—142 г/л), получены в зоне тектонических нарушений, отделяющей Юго-Западный Кум-Даг от его северо-восточной части (рис. 2).

Таким образом, апшеронские воды в зоне тектонических нарушений в Кум-Даге, как в Небит-Даге и Котур-Тепе, отличаются пестротой минерализации. Однако в пределах Кум-Дага они характеризуются в целом высокой общей минерализацией, однородным химическим составом и хлоркальциевым типом.

### В ы в о д ы

1. По наиболее важным гидрогеологическим показателям апшеронские отложения в Западно-Туркменской низменности весьма благоприятны для сохранения в них больших скоплений нефти и газа.

2. Подземные воды апшерона, имеющие высокую общую минерализацию и однообразный химический состав в складках Адам-Кудук, Окарем и Камышджа, сопровождаются свободным и растворенным углеводородным газом.

3. С водами апшерона в пределах Котур-Тепе и Небит-Дага связаны крупные залежи нефти и газа.

4. Не установлено между гидрохимией и нефтегазоносностью апшеронских отложений определенной связи.

5. В изменении минерализации и химического состава вод в складках, имеющих весьма сложное тектоническое строение, большую роль играют, по-видимому, разрывные нарушения, по которым в пределах Западно-Туркменской низменности происходит скрытая разгрузка маломинерализованных в большей части гидрокарбонатнонатриевых вод.

Институт геологии  
УГ СМ Туркменской ССР

Поступило  
5 февраля 1968 г.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Добров Ю. В. — Известия АН ТССР, № 5, 1960.
2. Курбанмуратов А. — Глубокие воды Юго-Западного Туркменистана и перспективы нефтегазоносности. Изд. АН ТССР, Ашхабад, 1963.

УДК 551.782.12(575.4)

Л. Д. ЯТЧЕНКО

### СТРОЕНИЕ ЧОКРАКСКОГО ГОРИЗОНТА ЗАПАДНОГО КОПЕТ-ДАГА

Во время геологической съемки автором впервые в Копет-Даге установлено, что верхний чокрак отделяется от нижнего несогласием осадконакопления, вследствие чего мощность нижнего чокрака подвержена значительным изменениям, в отдельных случаях нижний чокрак размыт полностью, и на палеоген налегает верхний чокрак. Рассмотрит это на примере хребтов Каплар, Кызыл-Койшек, г. Сирим и др.

В восточном окончании хр. Каплар в 0,5 км от дороги Кызыл-Арват—Уйля-Кушлюк над черными глинами верхнего майкопа обнажается (снизу вверх) нижний чокрак. ① Конгломерат, состоящий в нижней части из гальки ниже- и верхнемеловых песчаников, мергелей, кальцита, кварца и окатанных обломков раковин *Ostrea gryphoides* Schloth. (тархан) и *Ostrea plicata* Sol. (торымбеурская свита палеогена). Сортировка конгломерата плохая, ориентировка обломков раковин беспорядочная. Цементирующая масса представлена косослоистым песчаником с линзами гипса и переотложенных темных глин майкопа. Ближе к кровле наблюдается чередование желто-серых крупнозернистых песчаников и гравийно-галечниковых отложений—5 м. ② Переслаивание темно-серых алевролитистых и жирных глин с багровым элювием и глинистых светло-серых алевролитов; встречаются прослой гальки — 3 м. ③ Песчаник желтовато-серый, рыхлый, огипсованный — 8 м. ④ Глины жирные, темно-серые, с поверхности выветривания красные; содержат чокракские остракоды *Trachyleberis dromas* Schn. и фораминиферы *Streblus beccarii* Linne.

Верхний чокрак. ⑤ Гравийный конгломерат с мелкими окатанными обломками раковин *Ostrea gryphoides* Schloth. ⑥ Гипс песчанистый с галькой — 1,2 м. ⑦ Песчаник светло-зеленый — 1,5 м. ⑧ Глины красновато-бурые, песчанистые — 2,5 м. ⑨ Глина зеленая, известкобистая, переполненная раковинами *Lutetia intermedia* (Andrus.) и *Eryilia praepodolica* Andrus. — 0,5 м. ⑩ Мергели тонкослоистые, белые, с прослоями зеленых глин с *Lutetia intermedia* (Andrus.) — 5 м.

Выше по неровному контакту налегают оболочковые известняки карагана с *Spaniodontella gentilii* Eichw. и *Mohrensternia barboti* Andrus.

\* Макрофауна определялась О. Узиковым и А. В. Дмитриевым, микрофауна — Т. Р. Розыевой. Нижний чокрак (слой с *Chlamys pertinax* и *Arca turonica*) и верхний чокрак (слой с *Lutetia intermedia*) выделены О. Узиковым.

Западнее, на расстоянии нескольких десятков метров пестроцветные отложения нижнего чокрака срезаются и на черные глины верхнего майкопа налегает верхний чокрак (слои № 6, 7, 8, 9, 10); подстилаемый пластом гипса с галькой. Трансгрессивный контакт верхнего майкопа и верхнего чокрака прослеживается на расстоянии 60—70 м, после чего в разрезе появляется нижний чокрак, мощность которого быстро достигает прежнего значения. В 1,5 км к западу зеленые глины, обнажающиеся в кровле нижнего чокрака, содержат *Modiola* sp., *Bornea* sp., *Ervilia praepodolica* Andrus., *Solen* sp.

Резкое срезание нижнего чокрака наблюдается также в средней части хребта (ущ. Боелгоси), где от предверхнечокракского размыва сохранились базальные конгломераты (слой № 1), мощностью 3 м, с галькой и окатанными раковинами *Ostrea gryphoides* Schloth.

Около западного окончания хребта нижний чокрак (8 м), в отличие от восточного разреза, сложен в основном жирными темно-серыми глинами с багровым элювием; в основании залегают желтые рыхлые алевролиты с тонкими пластинками лимонита и линзами гипсов и мергелей.

Верхний чокрак (6 м) начинается косослоистым крупнозернистым огипсованным песчаником (0,8 м) с галькой песчаников и глин, желваками пирита и ходами червей на контакте с нижним чокраком. Выше залегают красно-бурые алевролитистые и зеленые известковистые глины, содержащие *Lutetia intermedia* (Andrus.), *Ervilia praepodolica* Andrus. и др. Выше по неровному контакту налегает акчагыл.

В хр. Кизыл-Койшек нижний чокрак (3—4 м) представлен такими же отложениями, что и в западном окончании хр. Каплар. Из глин определены чокракские фораминиферы *Streblus beccarii* (Linne). Верхний чокрак (14—15 м) сложен алевролитистыми глинами с прослоями глинистых алевролитов и венчающими разрез розоватыми и зелеными песчаниками с прослоями мергелей, содержащих *Lutetia intermedia* (Andrus.). В основании верхнего чокрака залегают конгломерат (0,2 м) из гальки и гравия. Около восточного окончания хребта нижний чокрак срезан и на черные глины верхнего майкопа налегает верхний чокрак; мощность верхнечокракского базального конгломерата здесь превышает 1,0 м. Конгломерат содержит помимо гальки и валунов большое количество окатанных обломков палеогеновых, тарханских и чокракских устриц (*Ostrea plicata* Sol., *O. gryphoides* Schloth., *O. digitalina* Dub.).

Наибольшая амплитуда предверхнечокракского размыва установлена в районе г. Сирим. Здесь верхнечокракские песчаники (12 м) с прослоями зеленых глин и пластом мергеля с *Lutetia intermedia* (Andrus.) и *Ervilia praepodolica* Andrus. налегают на зеленые глины торымбеурской свиты. В основании верхнего чокрака залегают конгломерат мощностью до 20 м из гальки миоценовых и меловых пород. В гальке определены нижнечокракские *Donax tarchanensis* (Andrus.) Bajar., *Chlamys* sp., *Ervilia praepodolica* Andrus., в конгломерате встречаются также окатанные раковины *Ostrea gryphoides* Schloth.

В хр. Большой Кулмач чокракские отложения описаны в его средней части и на границе с хр. Малый Кулмач. В первом случае нижний чокрак (12—13 м) представлен светло-серыми до белых, а сверху — красноватыми глинистыми алевролитами с прослоями рыхлых алевролитов; в основании обнажается желтый песчаник с линзами гипса и пластинками лимонита. Верхний чокрак (7—8 м), налегающий с размывом, начинается маломощным конгломератом, над которым залегают пласт мергеля (1 м) с *Lutetia intermedia*; выше обнажаются зеленые глины и розоватые песчаники с прослоями мергелей.

Ближе к восточной оконечности хребта разрез нижнего чокрака становится более глинистым, и в поперечной долине, разделяющей хребты Большой и Малый Кулмач, нижний чокрак (6 м) сложен частым переслаиванием рыхлых белых алевролитов и серых жирных глин с красным пятнистым элювием; в подошве залегают косослоистые крупнозернистые песчаники; из глин определена среднемиоценовая микрофауна. Верхний чокрак начинается горизонтом гравелита (0,2 м); выше обнажаются зеленые глины и песчаники с прослоями мергелей, с *Lutetia intermedia* (Andrus.).

На южном склоне хр. Малый Кулмач в наиболее западном разрезе нижний чокрак (6—7 м) литологически близок к предыдущему разрезу. Он представлен переслаиванием светлых рыхлых алевролитов и светло-серых глин, а сверху — темно-серыми глинами с красноватым элювием. В основании нижнего чокрака, так же, как и в большинстве разрезов (хр. Каплар, хр. Б. Кулмач), залегают рыхлые алевролиты с листиками лимонита и тонкими линзами гипса. Верхний чокрак (2,5 м) представлен песчанистыми зелеными глинами с тонкими прослоями песчаников. Выше, по неровному контакту, налегает карагаи.

Ближе к восточному окончанию хребта мощность нижнего чокрака увеличивается и одновременно разрез становится более алевролитистым. В средней части хребта нижний чокрак (10—12 м) представлен переслаиванием рыхлых светлых алевролитов с алевролитистыми серыми глинами; в основании залегают серые алевролитистые глины с листиками лимонита. Верхний чокрак размыт полностью, и на нижний чокрак по неровному контакту налегают караганские косослоистые песчаники (4 м) с галькой и окатанными раковинами, в том числе и *Ostrea gryphoides* Schloth. Песчаники вверх сменяются алевролитами с прослоями зеленых и красных глин и голубых мергелей с *Spaniodontella gentilis* Eichw. и *Varnea* aff. *iraticum* (Andrus.) Osip.

В наиболее восточном разрезе Малого Кулмача нижний чокрак (14 м) литологически схож с разрезами Большого Кулмача; он представлен рыхлыми светлыми алевролитами с прослоями серых алевролитистых глин с красным пятнистым элювием. Верхний чокрак (3—4 м) представлен так же, как и на западе Малого Кулмача, алевролитистыми глинами с прослоями песчаников.

## Выводы

1. Отложения чокрацкого горизонта представлены преимущественно мелководными терригенными фациями. карбонатные фации встречаются значительно реже в верхнем чокраке. Пестрота и резкая смена литологии говорят о беспокойных прибрежных условиях осадконакопления. Перед отложением верхнего чокрака в результате поднятия морского дна нижний чокрак в ряде участков был размыт.

2. Наличие переотложенных тарханских устриц в конгломератах чокрацкого и караганского горизонтов позволяет предполагать, что во внутренних районах Западного Копет-Дага мелководные отложения тархана распространялись до хр. Каплар, г. Сирим и хр. Малый Кулмач.

УДК 551.782.22 (575.4)

Ч. САПАРОВ  
О. Д. ЯКУБСОН

## ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КРАСНОЦВЕТНОЙ ТОЛЩИ БАНКИ ЖДАНОВА

Разведочная площадь банки Жданова расположена в акватории, прилегающей к западному берегу п-ова Челекен в 22 км от берега. Изученная часть геологического разреза сложена отложениями красноцветной толщи, акчагыльского и апшеронского ярусов, и четвертичными отложениями. На площади банки Жданова вскрыты также подстилающие красноцветную толщу отложения.

Наиболее перспективны в отношении нефтегазоносности отложения красноцветной толщи, кровля которой вскрывается на глубинах 1050—1150 м, а подошва на глубинах 3450—3900 м.

### Красноцветная толща

Постановка минералого-петрографического исследования этих отложений на площади банки Жданова была необходима для целей расчленения и корреляции, так как красноцветная толща не содержит руководящей фауны, а сложена однотипными песчано-алевролитовыми, глинистыми, литологически изменчивыми породами. Разрез красноцветной толщи здесь состоит из чередования глины с глинистыми алевролитами и алевролитами, изредка присутствуют маломощные пропластки песчаника. Данные гранулометрического анализа показывают, что преобладающими породами разреза являются алевролиты, на их долю приходится 60%, глины в разрезе составляют 30%, песчаные породы — около 10%.

Исследование минералогического состава пород показало, что среди тяжелых минералов главную роль играют роговые обманки, пироксен, эпидот, цоизит, гранат, циркон, турмалин, дистен, мусковит, барит, пирит. Как уже отмечено, при расчленении разрезов красноцветной толщи Челекена, Котур-Тепе и других структур Прибалханского района указанные минералы имеют неравномерное распределение по вертикали. Например, пироксены, роговые обманки и дистен встречаются в основном в верхнем отделе красноцветной толщи, а эпидот, цоизит, гранат, циркон, турмалин, мусковит, барит, пирит и другие распространяются во всех разрезах.



Таким образом, по минералогическому составу в разрезе можно выделить четыре зоны, каждая из которых делится в свою очередь на минералогические горизонты (рис. 1). Из них три зоны и шесть горизонтов относятся к верхнему отделу красноцветной толщи, а одна зона и три горизонта — к нижнему отделу.

Ниже приводим описание выделенных зон и горизонтов (снизу вверх).

**Пирито-мусковито-баритовая зона** (нижний красноцвет) литологически сложена в основном из алевролитов, алевритов и глин. Алевролиты и алевриты составляют 80, глины — 20% мощности зоны. Общая мощность зоны 700 м. Для верхов зоны характерно увеличение содержания глинистых пород. Пористость песчано-алевролитовых пород нижнего красноцвета банки Жданова колеблется в пределах от 12 до 16%, а проницаемость пород от 20 до 40 мд.

Минералогический состав пород в данной зоне резко отличается от вышележащей зоны высоким содержанием мусковита (13,0—81,5%), барита (13,4—57,0%) и почти полным отсутствием граната, пироксенов и значительным сокращением процентного содержания эпидота, цоизита и роговой обманки. По изменению минералогического состава зона делится на три горизонта.

**Нижний пирито-баритовый горизонт** по минералогическому составу включает гранат, циркон и т. д. Среди них преобладающее значение имеет барит (от 14,0 до 91,5%) и пирит (от 4,1 до 33,0%). Следует отметить, что минералогический состав пород этого горизонта имеет определенные отличия от вышележащих горизонтов нижнего красноцвета. Основное отличие — отсутствие мусковита и значительное увеличение содержания барита и пирита. Кроме указанного, главное отличие горизонта от остальных частей разреза — присутствие тонких пропластков ангидрита.

Ангидритовые пропластки здесь чередуются с темно-серыми глинистыми алевролитами. Ангидриты в основном серого, иногда темно-серого цвета. В шлифе в проходящем свете серые, а в скрещенных николях имеют пестрые интерференционные окраски, спайность совершенная по (0,01) и (0,01). Мощность ангидритсодержащих пачек около 150 м.

По kernovому материалу и сопоставлению с разрезами челекенских скважин эти отложения следует считать аналогом гидрохимической пачки пород нижнего красноцвета на Челекене.

Общая пористость песчано-алевролитовых пород 12—14%, проницаемость 15—25 мд.

**Средний мусковито-баритовый горизонт** выражен чередованием алевролитов и алевритов. Глинистые и песчаные породы в этом горизонте, как показали результаты гранулометрического анализа, отсутствуют. Алевролиты и алевриты представлены темно-серыми и буровато-серыми разностями. Гранулометрический состав выражается фракциями: 0,1—0,01 м — 72%, глинистая — 26, песчаная — 2%. Породы горизонта более или менее карбонатные, процент карбонатности колеблется в пределах 18,8—26,6.

Минералогический состав тяжелой фракции представлен мусковитом (69,9—81,5%) и баритом (14,8—30,01%). В этом горизонте характерно отсутствие пирита, граната, циркона, турмалина, эпидота, цоизита, появляющихся в разрезе выше.

**Верхний пирито-мусковито-баритовый горизонт.** Его верхняя половина мощностью 100 м сложена чередующимися алев-

ритистыми и глинистыми образованиями, а нижняя, мощностью 150 м, представлена исключительно алевритистыми породами.

Глины темные, темно-серые, иногда коричневые, алевритистые, процентное содержание в них глинистой фракции не превышает 58%, а содержание алевритистой фракции часто доходит до 40%, содержание песчаной фракции колеблется от 0,5 до 1,0%. Карбонатность — 16—18%. Алевролиты и алевриты окрашены темными, темно-серыми цветами. Результаты гранулометрического анализа показывают, что они в основном глинистые. Содержание фракции 0,01 мм — 15,96—29%, фракции 0,1 мм—0,4—0,76%, а содержание фракции 0,1—0,01 мм—70—84%. Горизонт отличается от нижележащего присутствием в составе тяжелой фракции пирита, граната, циркона, турмалина, содержание которых в нижнем горизонте в анализе не отмечено.

В целом, минералогический состав пород горизонта в тяжелой фракции представлен гранатом (5—3%), цирконом (1,7—9,13%), турмалином (0,4—4,45%), рутилом (0,47%), эпидот с цоизитом (8,68—26,8%), амфиболом (8,95—19,7%), мусковитом (13,7—70,49%), баритом (13,4—57,0%) и пиритом (26,0—17,8%).

Зона слюд и других устойчивых минералов. Литологически представлена преимущественно алевролитами и алевритами и небольшими прослоями глин. Мощность 460 м. В пределах зоны гранулометрический состав пород в большинстве анализов характерен для алевритистых пород (до 83% и больше фракции 0,1—0,01 мм) и только в двух образцах в нижних частях зоны отмечено содержание фракции, меньше 0,01 мм, до 55%. В зоне наблюдается увеличение пористости пород от 17 до 20%, проницаемость пород меняется от 50 до 75 мд. Минералогическая зона характеризуется резким увеличением содержания граната, циркона, турмалина и постоянным присутствием мусковита, полным отсутствием пироксена, дистена, ставролита, появляющихся в разрезе выше. По изменениям процентных содержаний перечисленных минералов рассматриваемая зона в свою очередь делится на два горизонта.

Нижний слюдисто-гранато-цирконо-эпидотовый горизонт выделен в самых низах верхнего отдела красноцветной толщи. Литологически выражен алевритами, алевролитами в верхней части и чередованием алевролитов и глин в нижней части. Суммарная мощность глинистых пластов около 50 м, а мощность алевритовых и алевролитовых пластов около 150 м. Общая мощность горизонта около 200 м.

Глины плохо отмучены, в виде примеси в них в довольно большом количестве присутствуют алевритовые частицы. Процентное содержание фракции 0,01 мм не превышает 55%, а фракции 0,01—0,1 мм—43,10—43,51%, фракции 0,1 мм полностью отсутствуют.

Алевриты и алевролиты являются преобладающими породами горизонта. Они в основном глинистые, содержание в них фракции 0,1—0,01 мм колеблется от 55 до 79%, фракции, меньше 0,01 мм — 16,49—42—94%, больше 0,1 мм—0,40—0,77%. Карбонатность варьирует от 14,25 до 18,5%. Минералогический состав пород в тяжелых фракциях: гранат (2,1—8,5%), циркон (5,05—25,4%), мусковит (2,0—24,0%), барит (13,9—71,0%) и эпидот с цоизитом (11—25%). Другие минералы, как магнетит с ильменитом, лейкоксен, турмалин, рутил, титанит, анатаз и брукит и некоторые другие встречаются в отдельных образцах. Горизонт характеризуется увеличенным количеством соотношений ряда минералов. В некоторых анализах сильно повышается содержание

циркона (до 25,4%) и турмалина (3—5%), чего не было отмечено в нижеописанном горизонте.

Верхний слюдисто-гранато-цирконо-турмалиновый горизонт резко выделяется от ниже и вышележащих горизонтов полным отсутствием глинистых пород. Все изученные образцы пород по гранулометрическому составу оказались алевролитами и алевритами.

Алевролиты и алевриты глинистые, карбонатные, содержание карбонатов в них колеблется от 15,50 до 24,6%. По данным гранулометрического анализа горизонт характеризуется высоким содержанием фракции 0,1—0,01 мм (57,10—83,81%), фракции 0,01 мм (13,25—41,80%), а фракции 0,1 мм встречаются в виде примеси (0,25—0,52%). Минералогический анализ тяжелой фракции показал повсеместное распространение граната, циркона, турмалина, амфибола, мусковита, барита. По минералогическому составу этот горизонт отличается от вышележащих зон присутствием в разрезе лимонита и полным отсутствием пироксена.

Пироксено-роговообманково-эпидотовая зона представлена темно-серыми, коричневыми алевролитами, алевритами, переслаивающимися с плотно сцементированными неотсортированными породами и алевритистыми глинами. Пористость алевритистых пород в пределах зоны меняется от 25 до 29%, проницаемость пород 75—125 мд.

Минералогический состав пород тяжелой фракции в пределах зоны представлен гранатом, цирконом, турмалином, эпидото-цоизитом, амфиболом, пироксеном, мусковитом, баритом, пиритом и другими. Данная зона отличается от вышележащей низким содержанием пироксена (0,9—13,4%) и роговой обманки (0,0—25,2%), полным отсутствием лимонита. По изменению литологического состава пород и колебаниям процентного содержания корреляционных минералов зона разделяется на два минералогических горизонта: нижний — роговообманково-эпидотово-гранато-цирконовый и верхний — пироксено-роговообманково-эпидотовый.

Нижний роговообманково-эпидотово-гранато-цирконовый горизонт состоит, главным образом, из чередования алевролитов и алевритов. Алевриты и алевролиты в основном серого, темно-серого цвета, плохо отсортированы, содержание в них фракций 0,1—0,01 мм. Колеблется в пределах от 63 до 81%, а фракции 0,01 мм от 9,32 до 36,13%, фракции 0,1 мм — 0,34—3,48%. Карбонатность пород в горизонте находится в интервалах от 15,5 до 21,7%.

Минералогически этот горизонт характеризуется постоянным присутствием граната (0,5—7,2%), циркона (0,5—7,3%), турмалина (0,75—2,7%), эпидота с цоизитом (5,55—25,2%), роговой обманки (15,2—49,4%), мусковита (0,75—21,0%), барита (10,8—72,1%) и пирита (13,75—16,7%). За исключением отдельных случаев в горизонте полностью отсутствуют пироксены, дистен, ставролит, которые встречаются в значительном количестве в вышележащем горизонте.

Верхний пироксено-роговообманково-эпидотовый горизонт. Нижняя часть горизонта алевритистая, с редкими прослоями глин, верхняя — более глинистая, сложена, в основном, темно-серыми глинами с редкими прослоями глинистого алевролита. Мощность горизонта около 270 м.

Результаты гранулометрического анализа показывают, что процентное содержание в породах фракции меньше 0,01 мм колеблется от 50,47 до 71,94%, содержание фракции 0,1—0,01 мм—28,48%. Песчаные фракции почти полностью отсутствуют. Алевролиты в основном глини-

стые; содержание глинистой фракции в алевролитах варьирует от 20,5 до 27,56%, а фракции, больше 0,1 мм, в анализах отсутствуют.

Минералогический состав пород этого горизонта имеет лишь незначительные отличия от нижнего горизонта. Отличием в минералогическом составе является значительное увеличение содержания эпидота с цоизитом (24,0—29,4%), амфибола (14,7—20,3%), пироксена (12,2—13,4%), в верхней части горизонта, а ниже они полностью исчезают, остальные минералы, как мусковит, барит, пирит и другие минералы тяжелой фракции, представлены здесь в таких же количествах, как и в нижележающем горизонте. Содержание карбонатов в породе по всему разрезу почти равномерно колеблется от 13,0 до 25,29%.

Пироксено-роговообманково-дистеновая зона литологически представлена чередованием алевролитов, алевритов и глин с пропластками песчаников и песков. Для верхов и низов зоны характерно увеличение содержания глинистой фракции (меньше 0,01 мм), а для средней части разреза — алевритовой фракции (0,1—0,01 мм). Мощность зоны 620 м.

Результаты изучения физических свойств пород показывают, что наибольшую пористость имеют песчано-алевоитовые отложения верхнего красноватого цвета, где пористость пород колеблется от 26 до 29%, а проницаемость пород меняется от 150 до 200 мд.

Минералогически зона отличается от всех нижележащих зон и горизонта с максимальным содержанием пироксена (5,0—28,0%), постоянным содержанием амфибола (9,0—49,4%), эпидота с цоизитом (0,0—37,3%) и появлением в анализах дистена и ставролита.

Распределение по вертикали и процентное содержание некоторых минералов в пределах зоны претерпевают определенные изменения. Учитывая это, внутри зоны можно выделить два минералогических горизонта: пироксено-роговообманково-слюдистый и пироксено-роговообманково-эпидотово-дистенистый. Характеристика указанных горизонтов дается ниже.

Нижний пироксено-роговообманково-слюдистый горизонт сложен буровато-серыми, иногда серыми алевролитами, тонкозернистыми песчаниками и алевритистыми глинами. Мощность горизонта 200 м. Глины в основном алевритистые, содержание в них глинистой фракции колеблется от 62,3 до 70,51%, алевритовой фракции в глинах 22,0—38,0%, а фракции, больше 0,1 мм, отсутствуют. Содержание карбонатов в глинах находится в интервалах от 50,50 до 19,15%. Алевролиты в основном глинистые, изредка глинисто-песчаные, содержание алевритовых фракций в породах варьирует в пределах от 54,77 до 90,0%. Глинистые фракции от 9,32 до 44,69%, песчаной фракции 0,15—2,09%. Содержание карбонатов в алевролитах доходит до 26%.

Минералогический состав пород горизонта по анализу тяжелой фракции: гранат (0,00—11,20%), циркон (0,00—11,2%), турмалин (0,0—1,12%), рутил (0,0—1,8%), эпидот с цоизитом (11,5—37,2%), амфиболы (4,7—46,0%), пироксены (6,5—22,3%), мусковит (8,6—82,4%) и пирит (0,0—21,0%).

Так как многие моменты, присущие этому горизонту, характерны и для вышележащих горизонтов, то при выделении его мы используем только отдельные признаки. Такие особенности, как отсутствие лимонита, который появляется в следующем горизонте, значительно более повышенное содержание мусковита (доходит до 82,4%), низкое содержание дистена, которое несколько увеличивается в верхнем горизонте.

Верхний пироксено-роговообманково-эпидотово-дистенистый горизонт является верхним горизонтом верхнего красно-

цвета. Он сложен чередующимися алевритистыми и глинистыми образованиями с преобладанием глин. Мощность 430 м.

Глины темно-серые, серовато-бурого, иногда коричневого цвета, плохо отмученные, карбонатные. Содержание карбонатов в глинах колеблется от 16,20 до 20,50%. Процентное содержание глинистой фракции в них находится в интервалах от 65,46 до 80,62%, алевритовой фракции в глинах—19,38—34,26%, песчаной фракции в глинистых породах ни в одном образце не составляет даже 1%. Алевролиты в основном серого, темнo-серого цвета, известковистые, глинистые. Процентное содержание алевритовой фракции в породе варьирует в пределах от 58 до 82%, глинистые фракции — 7,30—30,38%, а содержание песчаной фракции в составе алевролита около 0,7—11,57%.

В минералогическом составе тяжелой фракции пород сохраняются все те же группы минералов и отдельные минералы, что и в нижнем горизонте. Однако в горизонте меняются количественные соотношения ряда минералов. В отдельных анализах сильно повышается содержание пироксена (28%, роговых обманок до 49,4% и больше), содержание указанных минералов не было в анализах пород нижних горизонтов.

Этот горизонт отличается от нижележащего появлением лимонита (8,35—13,6%) и уменьшением содержания циркона (0,0—5,6%), эпидота с цоизитом (0,0—16,2%) и несколько увеличенным содержанием пирита (0,0—24,3%), барита (0,0—83,4%).

При расчленении разреза красноцветной толщи нами всегда учитывается и комплекс литолого-петрографических особенностей разреза, и характеристики мощностей разрезов; для выделения нефтеносных горизонтов использованы электрокаротажные диаграммы по отдельным скважинам. Таким образом, выделенные минералогические зоны горизонта обоснованы большим фактическим материалом и прослеживаются по всему Прибалханскому району (Челекен, Котур-Тепе, Барса-Гельмес и др.) и хорошо сопоставляются между собой.

Сравнение литолого-петрографических характеристик разреза красноцветной толщи банки Жданова и Челекена показывает, что ухудшение коллекторских свойств пород в западном направлении не отмечается (от Челекена к банке Жданова). В целом песчанистость разреза в западном направлении несколько увеличивается. Это лишний раз подтверждает, что снос материала для образования регионально нефтесодержащей красноцветной толщи шел не только с востока, но и с севера, с Куба-Дага, который протягивался ранее далеко в море. Это значит, что литологические предпосылки благоприятны для образования в разрезе красноцветной толщи рассматриваемой площади высокопродуктивных залежей нефти и газа. Первые результаты глубокого разведочного бурения на банке Жданова подтверждают такой вывод.

В 1967 г. из отложений нижнего красноцвета при производстве аварийных работ на скважине № 3 получен открытый фонтан нефти и газа с начальным свободным дебитом в переводе на чистый 2,5 млн. м<sup>3</sup>/сут. При проводке скважины № 4 признаки нефтеносности по кернам, электрокаротажу, газовому каротажу и механическому каротажу отмечаются в верхнем и нижнем отделах красноцветной толщи, начиная с глубины 1800 до 3000 м (забой скважины на 1 февраля 1968 г. 3070 м), причем по имеющимся данным геологогеофизическая характеристика горизонтов с предполагаемой нефтегазоносностью с глубиной улучшается.

Обобщение данных по первым разведочным скважинам показывает сложное тектоническое строение структуры и позволяет устано-

вить ряд закономерностей в распределении залежей нефти и газа и направления дальнейших поисковых работ.

Еще при бурении скважин № 1 и 2 нами установлено несоответствие структурных планов для верхнего и нижнего красноцвета и наличия двух структурных этажей и высказано мнение, что наиболее перспективными направлениями для разведочных работ являются северное и северо-западное от пробуренных скважин (№ 1, 2). Это предположение подтвердилось бурением скважин № 3 и 4 (характеристика нефтенасыщенности этих скважин приведена выше).

Если по отложениям верхнего красноцвета скважина № 3 находится в условиях северного крыла складки, то по отложениям нижнего отдела красноцветной толщи скважина оказывается в присводовой части южного крыла. Скважина № 4 по кровле красноцвета в гипсометрическом отношении ниже ранее пробуренных скважин, а по отложениям нижнего красноцвета занимает самое высокое структурное положение. Это значит, что свод складки по нижним горизонтам смещается к северу и к северо-западу, что с учетом данных бурения скважин № 3 и 4 позволяет считать эти направления весьма перспективными в отношении нефтегазоносности.

Отмеченное несоответствие структурных планов необходимо учитывать при продолжении разведочных работ на банке Жданова и при постановке глубокого бурения на других морских структурах.

В целом по данным бурения тектонический облик структуры гораздо более сложен, чем это можно было представить по геофизическим данным, что несомненно накладывает свой отпечаток на распределение залежей нефти и газа. Структура имеет несомненно блоковое строение и нефтегазонасыщенность в отдельных блоках может приурочиваться к различным частям разреза красноцветной толщи.

Несомненно, важен и литологический фактор. При опробовании горизонтов нижнего красноцвета в скважине № 1 притока не было получено даже при опорожении ствола скважины до глубины 1300 м, а из сопоставимого разреза нижнего красноцвета скважины № 3, как указывалось выше, был получен мощный газонефтяной фонтан.

## В ы в о д ы

1. Учитывая результаты бурения скважины № 2 и по аналогии с Челекеном, основные перспективы нефтегазоносности разреза красноцветной толщи следует связывать с северными крыльями морских структур.

2. Литолого-петрографическая характеристика и анализ геолого-геофизического материала по первым разведочным скважинам позволяют исключительно высоко оценивать перспективы нефтегазоносности красноцветной толщи на структурах в акватории Западного Челекена.

Институт геологии  
УГ СМ Туркменской ССР

Поступило  
14 марта 1968 г.

УДК 551.782.1 (584.1)

М. М. СУДО

## СООТНОШЕНИЕ АНАЛОГОВ БАЙГУБЕКСКОГО ГОРИЗОНТА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ТУРКМЕНИИ И НИЖНЕГО МИОЦЕНА ЦЕНТРАЛЬНОГО И ГЯУРСКОГО КОПЕТ-ДАГА

Вопрос о стратиграфическом положении и возрасте байгубекского горизонта и его аналогов приобрел в последние годы исключительно большое теоретическое и практическое значение. От его решения зависит, в частности, определение объема нижнего миоцена и положения границы между палеогеном и неогеном в разрезах Закаспия. В отношении возраста байгубекского горизонта существуют две принципиально различные точки зрения. Автор выделения байгубекского горизонта Р. Л. Мерклин [1] относит его к верхнему олигоцену. Палеогеновая комиссия Межведомственного стратиграфического комитета СССР на Пленумах 1964 и 1966 гг. пришла к выводу о нижнемиоценовом возрасте байгубекского горизонта. Но это разделяется не всеми исследователями [2].

В последние годы аналоги байгубекского горизонта выделены в скважинах Юго-Восточной Туркмении [3] и в разрезе Гяурс-Дага [4]. Возраст их определялся как верхнеолигоценый. Однако новые данные по стратиграфии нижнего миоцена Копет-Дага и Юго-Восточной Туркмении указывают на то, что отложения, выделенные в качестве «аналогов байгубекского горизонта», залегают внутри нижнемиоценовых отложений. В этом отношении очень показательным является разрез мелководных аналогов майкопа (сакараульского горизонта), прослеженный вдоль Центрального и Гяурского Копет-Дага до Юго-Восточных Кара-Кумов.

Так, в западной части Арчманской гряды над зелеными глинами верхнего эоцена залегают (описание Т. М. Лаптевой, М. М. Судо, А. П. Шавелевой):

1. Толща переслаивания серых и буроватых алевролитов и темно-серых (до черных) тонколистоватых осколчатых глин. В средней части прослой (0,15 м) белого кварцевого песчаника и прослой (0,3 м) бурокоричневого алевролита. Толщу венчает прослой (0,05 м) желтовато-бурого песчаника, содержащего многочисленные остатки моллюсков: *Rzehakia ex gr. socialis* Rz., *Siliqua* sp., *Cardium ex gr. kartlicum* David., *C. ex gr. grakalense* Kval., *Melanopsis* (?) sp. Мощность около 32 м.

2. Глины желтовато-зеленовато-коричневые, оливковые, огипсован-

ные, тонколистоватые, с тонкими линзовидными прослойками (0,01—0,1 м) буровато-желтовато-серых алевролитов. Мощность 0,55 м.

3. Алевролиты и песчаники светло- и темно-серые, с буровато-зеленоватым оттенком, в основании желтоватые и красноватые. Мощность 2,4 м.

4. Глины в нижней части темно-серые (до черных) с зеленоватым оттенком, тонколистоватые, в основании с ярозитом. В верхней части розовато-сиреневые, с лиловым оттенком, с тонкими прослойками (0,02—0,03 м) светло-серых и желтоватых алевролитов. Мощность 3,5 м.

Выше залегают красноцветные конгломераты карагауданской свиты, содержащие остатки крупных среднемиоценовых устриц из группы *Ostrea gryphoides* Schloth.

Видовой состав моллюсков, присутствующих в верхней части слоя 1, свидетельствует о том, что содержащиеся их отложения (а также слои 2—3—4) являются мелководными аналогами коцахурского горизонта, выделяемого в верхней части майкопской свиты Западного Копет-Дага. Нижняя часть слоя 1 по стратиграфическому положению соответствует актепинским слоям, выделяемым восточнее в разрезе Актепинской и Келятинской гряд [5]. Возраст последних в настоящее время установлен как нижнемиоценовый [6]. К востоку описанный выше разрез становится еще более опесчаненным. И в Актепинской и Келятинской грядах глинистые разности почти совершенно выпадают из разреза. Здесь актепинские слои, соответствующие сакараульскому и коцахурскому горизонтам нижнего миоцена Грузии, сложены в нижней части пачкой (46,5 м) голубовато-серых полимиктовых алевролитов. Верхняя часть разреза представлена белыми кварцевыми песками (43,5 м). Но к востоку от Келятинской гряды, в Гяурс-Даге, мощность аналогов актепинских слоев сокращается почти вдвое. Так, в разрезе левого борта долины Кельты-Чинар (район пос. Калининский) на зеленых и голубоватых глинах верхнего эоцена залегают (описание М. М. Судо и А. П. Шавелевой):

1. Песчаники голубовато-желтовато- и светло-серые, белые кварцевые, мелко- и среднезернистые, с примесью гравия. Мощность около 20 м.

2. Известняк-ракушечник белый, интенсивно огипсованный, с многочисленными ядрами моллюсков: *Corbula* cf. *sokolovi* Karl., *Cardium* cf. *helterseni* Il., *Tellina nusti* Desh. etc. Мощность 0,3 м.

3. Песчаники и алевролиты зеленовато-голубовато, желтовато- и светло-серые, в средней части с прослоем известковой глины (2,8 м). В нижней части с примесью гравия и мелкой известковой гальки. Мощность 17,8 м.

4. Глины голубовато-зеленовато-серые, с коричневатыми пятнами. Мощность 8,5 м. Выше залегают красно-бурые гравийно-галечниковые алевролиты карагауданской свиты.

По стратиграфическому положению и общему литологическому сходству с актепинскими слоями Центрального Копет-Дага описанные отложения сопоставлялись с последними. О. С. Вялов [7], впервые опиравший эти отложения, отнес их к нижнему олигоцену. Но позднее Р. Л. Мерклин и В. В. Джабарова на основании присутствия в слое 2 раковин *Cardium laevinae* Merkl. (= *C. helterseni* Il.) сопоставили указанные отложения с байгубекским горизонтом Приаралья [4], возраст которого определялся Р. Л. Мерклиным [1] как верхнеолигоценный. Таким образом, получается следующее. Описанные отложения, как аналоги актепинских слоев Центрального Копет-Дага, в целом относятся к нижнему миоцену. Но внутри них выделяются «аналоги бай-

губекского горизонта» Приаралья и это дает основание датировать их верхним олигоценом.

Еще более наглядный материал дает следующий пример. В 12—13 км к востоку от пос. Калининского светлые кварцевые разности нижнего миоцена частично замещаются красноцветными фациями. Так, в районе поселка Куру-Гаудан на зеленых верхнеэоценовых глинах залегают (описание Т. М. Лаптевой, М. М. Судо, А. П. Щавелевой):

1. Глины красно-коричневые, пластичные, с редкими остатками моллюсков (*Nucula* sp.). В нижней части с примесью офосфоритизированных зерен гравия. Мощность 30 м.

2. Глины серые, с зеленоватым оттенком, с многочисленными остатками моллюсков: *Cardium* ex gr. *helmerseni* JI., *C.* cf. *abundans* Liv., *Corbula gibba* Ol., *Tellina* ex gr. *nysti* Desh., *Nucula* cf. *aralensis* Luk., *N.* cf. *kalmikensis* Liv., *N.* cf. *compta* Goldf., *Cyprina* (?) sp. ind. и фораминифер (здесь и ниже определения Л. Е. Невмирич): *Porosonopion dendridicus* (Chal.), *P. martkobi* (Bogd.), *Elphidium operosum* Bogd. Мощность 1,5 м.

3. Глины коричневые, оскольчатые, в основании (0,05 м) красные, с остатками фораминифер: *Porosonopion dendridicus* (Chal.), *P. martkobi* (Bogd.), *P. ipatovcevi* Bogd., *P. granosus* (Orb.), *Elphidium operosum* Bogd. Мощность 1,0 м.

4. Глины темно-серые, с зеленоватым и коричневатым оттенками, жирные; в верхней части с прослоями алевролита, с остатками фораминифер: *Porosonopion dendridicus* (Chal.), *P. martkobi* (Bogd.), *P. ipatovcevi* Bogd. Мощность 2,5 м.

5. Алевролит серый, тонкоплитчатый, косослоистый. Мощность 0,5 м.

6. Песчаники буровато- и светло-серые, в средней части белые (кварцевые), в верхней части с прослоями зеленоватых глин. Мощность 11,0 м.

Выше залегают красно-бурые алевролиты карагауданской свиты с гравием и галькой в основании.

Принадлежность описанных отложений к нижнему миоцену не вызывает сомнений. Здесь уже в нижней части появляются такие миоценовые моллюски как *Cardium* cf. *abundans* Liv., *Nucula* cf. *kalmikensis* Liv., *Corbula gibba* Ol. Первые два вида являются руководящими для ольгинской свиты верхнего майкопа Северного Кавказа. Последняя издавна относится к нижнему миоцену. О нижнемиоценовом возрасте свидетельствуют и такие виды фораминифер: *Porosonopion* ~~и другие моллюски как *Cardium* cf. *abundans* Liv., *Nucula* cf. *kalmikensis*~~ (*Bogd.*), *Elphidium operosum* Bogd. На Кавказе они так же характеризуют нижнемиоценовые отложения [8]. Но с другой стороны, на основании присутствия в слое 2 таких моллюсков, как *Cardium* ex gr. *helmerseni* JI., *Tellina nysti* Desh., эти отложения по аналогии со слоем 2 разреза у пос. Калининского могут параллелизоваться с байгубекским горизонтом. То есть и в данном случае «аналоги байгубекского горизонта» имеют нижнемиоценовый возраст.

В Юго-Восточных Кара-Кумах скважинами вскрыты стратиграфические и возрастные аналоги описанных выше нижнемиоценовых отложений. Наиболее характерным является разрез скважины № 339, расположенной в районе г. Мары. Здесь в интервале 570,5—444,0 м залегает пестроцветно-красноцветная толща переслаивания глин, алевролитов и песчаников в основании с гравелитом. В интервале 557—520 м в красноцветных глинах обнаружены остатки моллюсков, характерных по заключению В. В. Джабаровоу и Р. Л. Мерклина [3] для байгубек-

ского горизонта. Среди них указывается руководящий для данного горизонта вид *Cardium laevis* Merkl. (= *C. helmertseni* JI.). На этом основании описанные отложения в скважине № 339 были отнесены к верхнему олигоцену [3]. Но в настоящее время установлено, что в Юго-Восточной Туркмении они содержат остатки моллюсков и фораминифер, характерных для нижнего миоцена. Среди них присутствуют виды, указанные для разреза Куру-Гаудан. Таким образом, и в Юго-Восточной Туркмении «аналоги байгубекского горизонта» входят в состав нижнемиоценовых отложений.

Обращает внимание, что в нижнемиоценовых отложениях Юго-Восточной Туркмении, справедливо сопоставляемых с байгубекским горизонтом Приаралья, присутствуют такие виды, как *Cardium helmertseni* JI. и *Corbula helmertseni* Mikh. Первый является руководящим для байгубекского горизонта, второй — для залегающей в разрезе Приаралья над ним аральской свиты. Ряд исследователей [2] датирует оба подразделения поздним олигоценом. Однако этому противоречит принадлежность к нижнему миоцену аналогов байгубекского горизонта в Юго-Восточной Туркмении и Гаурс-Даге.

### В ы в о д ы

1. Аналоги байгубекского горизонта в Юго-Восточной Туркмении и Гаурс-Даге составляют по объему лишь часть отложений, относимых на основании заключенных в них органических остатков к нижнему миоцену.

2. Возраст байгубекского горизонта и его стратиграфических аналогов является раннемиоценовым.

Опытно-методическая экспедиция  
УГ СМ Туркменской ССР

Поступило  
15 июля 1967 г.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мерклин Р. Л. — Палеонтологический журнал, № 1, 1960.
2. Бронева В. А., Жилин С. Г., Кирюхин Л. Г., Мерклин Р. Л. — Советская геология, № 3, 1967.
3. Джабарова В. В., Лапшин О. Н., Мерклин Р. Л., Ткачук М. А. — Новые данные по геологии Туркм. ССР. Гостоптехиздат, М., 1963.
4. Дмитриев А. В., Кожевникова Г. Е. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 5, 1962.
5. Данов А. В. — Геология СССР, т. 22. Туркменская ССР, 1957.
6. Судо М. М. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 2, 1967.
7. Вялов О. С. — ДАН СССР, нов. сер. т. 56, № 4, 1947.
8. Богданович А. К. — Фауна, стратиграфия и литология мезозойских и кайнозойских отложений Краснодарского края. Изд-во «Недра», 1965.

УДК 666.86

Д. Д. ДЖИГИРИС  
В. А. АВАКОВ

### ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ГИПСА НА ПРОЦЕССЫ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ КАРАКУМСКОГО БАРХАННОГО ПЕСКА

Положительное влияние небольших добавок гипса на рост прочности известково-кремнеземистых бетонов автоклавного твердения на основе песчано-глинистого сырья (лессы, суглинки, полевошпатовые пески, глинистые пески), горелых пород и шлаков отмечено рядом исследователей [1, 2, 3, 4, 5, 6].

В технологии производства ячеистого силикатного бетона на основе каракумского барханного песка гипсовая добавка первоначально рекомендовалась лишь с целью замедления процесса гидратации извести. Однако в результате дальнейших исследований [6] установлено, что присутствие гипса в известково-песчаных смесях как на природном, так и обожженном барханном песке способствует не только замедлению процесса гидратации извести, но и значительному росту прочностных показателей газосиликата.

Для изучения влияния добавки гипса на процессы автоклавного твердения ячеистого силикатного бетона на основе природного и предварительно обожженного при температуре 900—950°C барханного песка была изготовлена опытная партия образцов с различным содержанием строительного гипса (от 1 до 5%).

Минералогический состав барханного песка состоит из 40—45% кварца и кремнистых обломков, 16—20% карбоната кальция, 15—20% полевых шпатов (микроклин, ортоклаз, плагиоклазы), 6—10% обломков глинистых и песчано-алевритовых пород, 1—3% слюд (биотит, мусковит), 6—8% глинистых минералов (иллит, каолинит) и гидроокислов железа.

Химический состав природного и обожженного барханного песка представлен в табл. 1.

В качестве вяжущего использовалась известь-кипелка Ашхабадского комбината строительных материалов, предварительно размолотая до удельной поверхности 5500—6000 см<sup>2</sup>/г (по прибору ПСХ-2).

В лабораторных условиях образцы были изготовлены следующим образом. Природный и обожженный барханный пески предварительно измельчались на вибромельнице до удельной поверхности 2500—3000 см<sup>2</sup>/г; после дозировки молотого песка, извести и гипса по весу производилось их совместное сухое перемешивание в течение трех минут в

лабораторной шаровой мельнице с последующим тщательным перемешиванием после затворения сухой смеси водой. Парафинированная алюминиевая пудра и жидкое стекло, которое употребляется в качестве поверхностно активного вещества, тщательно перемешивались с водой и вводились в исходную известково-песчаную массу. Вся масса снова перемешивалась в течение двух-трех минут, после чего разливалась в лабораторные формы размером 10×10×10 см.

Таблица 1

Результаты химического анализа природного и обожженного барханного песка Ашхабадского месторождения

Характеристика песка	Содержание, %							п. п. п.
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	
Природный	63,91	10,46	2,34	10,12	0,43	0,31	2,98	9,45
Обожженный при 950°C	70,38	11,40	2,76	11,25	0,57	0,23	3,41	—

Содержание активной окиси кальция в исходных смесях для одной партии образцов составляло 15, для другой — 20%. Запаривание образцов производилось в лабораторном автоклаве при 8 атм в течение 8 часов.

Таблица 2

Влияние добавки гипса на прочность газосиликата  
объемного веса 800 кг/м<sup>3</sup>

Характеристика исходной смеси			Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>
кремнеземистый компонент	содержание активной CaO, %	содержание гипса от веса сухой смеси, %	
Природный барханный песок	15	—	—
То же	15	1	64
•	15	2	56
•	20	—	52
•	20	1	65
•	20	2	66
Обожженный барханный песок	15	—	46
То же	15	1	67
•	15	2	63
•	15	3	50
•	15	5	52
•	20	—	47
•	20	1	84
•	20	2	68
•	20	3	56
•	20	5	53

В целях сопоставления аналогичным методом была также изготовлена партия образцов ячеистого бетона без добавки гипса. После запаривания образцы высушивались до постоянного веса, а затем определялся их предел прочности на сжатие. Результаты определений представлены в табл. 2, из которой видно, что при прочих равных условиях предел прочности на сжатие для ячеистого бетона с 1—2%-ной добав-

кой гипса по сравнению с образцами без гипса на 20—30% выше для образцов на природном барханном песке и более чем в 1,5 раза выше для образцов на обожженном песке. При этом, как показали ранее проведенные исследования, наибольший эффект достигается при вводе в исходные известково-песчаные смеси 1—2% гипса от веса сухой массы. Дальнейшее увеличение гипсовой добавки приводит лишь к чрезмерному увеличению объемного веса ячеистого бетона, хотя роста прочности при этом практически и не наблюдается.

В целях изучения механизма действия гипсовой добавки при гидротермальном твердении ячеистого бетона на основе полиминерального барханного песка, наряду с определением предела прочности на сжатие, определялся и фазовый состав цементирующего вещества. Для этих целей был применен комплексный метод исследования с использованием рационального химического анализа, оптического, термографического и рентгеновского методов исследований. Данные рационального химического анализа представлены в табл. 3.

Таблица 3

Рациональный химический анализ газосиликата на барханном песке с добавкой и без добавки гипса (содержание активной CaO—20%)

Характеристика исходной смеси		Содержание, %									
Кремнеземистый компонент	гипсовая добавка (в % к весу сухой массы)	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		CaO					Сумма SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и CaO, связанных в новообразовании
		общее	связанное в новообразовании	общее	растворенное в HCl	общее	свободное	связанное в CaCO <sub>3</sub>	связанное в CaSO <sub>4</sub>	связанное в новообразовании	
Природный барханный песок	—	45,87	7,87	7,90	1,21	29,30	2,80	14,98	0,89	9,63	18,71
	1	44,31	13,44	8,12	1,30	28,80	0,44	14,47	1,01	12,88	27,62
	2	46,73	12,01	7,66	1,47	29,03	1,23	13,46	1,33	13,01	26,49
Обожженный барханный песок	—	50,40	8,86	8,30	1,74	22,68	2,10	10,12	0,22	10,24	20,84
	1	50,27	13,64	8,40	2,51	22,73	0,21	8,69	0,42	13,41	29,26
	2	50,52	12,28	8,27	2,73	22,13	0,82	7,50	0,63	13,18	28,29

Как видно из данных, представленных в таблицах 2 и 3, при прочих равных условиях более высокими прочностными показателями характеризуются образцы, содержащие в своем составе наибольшее количество цементирующего вещества, то есть изделия с гипсовой добавкой.

На рис. 1 приведены дифференциальные термические кривые образцов газосиликата на основе природного и обожженного барханного песка, полученные на установке ФПК-59 при скорости нагрева печи  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  в минуту.

Термограммы газосиликата без гипсовой добавки (рис. 1, кривые I и IV) имеют сходный характер. На них в основном присутствуют эндотермические эффекты. Большая эндотермическая петля с максимумом при  $170\text{—}210^\circ\text{C}$  на кривых I и IV отражает процесс удаления слабосвязанной воды из гелевидных (субмикрористаллических) гидросиликатов кальция. Площадь этой петли на термической кривой I значительная, что, несомненно, связано со значительным содержанием в составе ячеистого бетона на природном барханном песке гелевидных новообразований. Об этом, в частности, свидетельствует и экзотермический

эффект (кривая I) с максимумом при 360°C, связанный с рекристаллизацией обезвоженных гелевидных новообразований. Раздвоение петли на два эффекта (при 170 и 210°C) на термической кривой IV, по всей вероятности, связано с образованием тоберморитовой фазы [7].

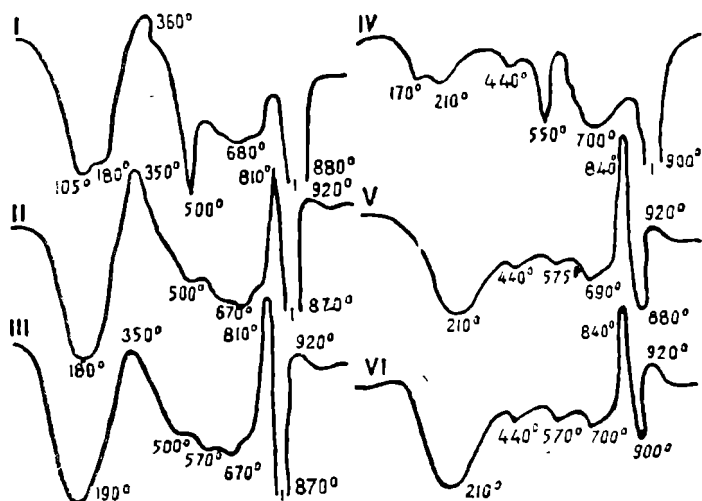


Рис. 1. Термограммы образцов ячеистого бетона (активное CaO—20%).

На природном барханном песке: I — без добавки гипса; II — 1% гипса; III — 2% гипса. На обожженном барханном песке: IV — без добавки гипса; V — 1% гипса; VI — 2% гипса.

Присутствие на дифференциальных термических кривых I и IV весьма интенсивного эндотермического эффекта с максимумом при 500—550°C и вместе с тем низкое содержание  $Al_2O_3$ , растворенного в HCl (табл. 3), указывают на весьма слабую реакционную способность с известью алюмосиликатных компонентов как природного, так и обожженного барханного песка при отсутствии в исходных смесях гипса.

В данном случае результаты дифференциального термического анализа хорошо совпадают с данными химического анализа (табл. 3), согласно которым в газосиликате без гипсовой добавки содержится от 2 до 2,8% несвязанной (свободной) извести. И, наконец, эндотермические эффекты с максимумами при 680—700 и 870—880°C, обнаруженные на кривых I и IV (рис. 1), обусловлены диссоциацией кальцита первичного (природного) и вторичного происхождения. Отсутствие на кривых I и IV экзотермических эффектов в интервале температур 800—900°C указывает на невысокое содержание в газосиликате на барханном песке (без добавки гипса) низкоосновных волокнистых гидросиликатов кальция типа CSH (B). Это косвенно подтверждается и сравнительно невысокой прочностью образцов на сжатие.

На рис. 1 приведены также дифференциальные термические кривые образцов ячеистого бетона с гипсовой добавкой.

При сопоставлении термограмм, представленных на рис. 1, становится очевидным существенное влияние гипса на процессы автоклавного твердения ячеистого бетона на основе полиминерального барханного песка. В частности, на дифференциальных кривых II, III, V и VI практически отсутствует эндотермический эффект дегидратации свободного гидрата окиси кальция, для которого характерна эндотермическая остановка в интервале температур 500—550°C.

С другой стороны, на этих термограммах присутствуют весьма четкие экзотермические эффекты с максимумами при 810—840 и 920°C, что несомненно связано с присутствием в образцах газосиликата с гипсовой добавкой значительного количества низкоосновных волокнистых гидросиликатов кальция типа CSH(B) и тоберморита.

По данным Ю. М. Бутта и Л. Н. Рашковича [7], экзотермический эффект с максимумом при температурах 800—850°C свойствен для низкоосновных волокнистых гидросиликатов кальция вида  $C_1SH_n$  и  $C_{0,8}SH_n$ . Рентгенографически эти фазы неотличимы, но на дифференциальных кривых интенсивность экзотермического эффекта волокнистого гидросиликата вида  $CSH_n$  проявляется вдвое сильнее, чем у гидросиликата кальция вида  $C_{0,8}SH_n$ . Исходя из этого, имеются все основания считать, что низкоосновные волокнистые гидросиликаты кальция в ячеистых бетонах как на природном, так и обожженном барханном песке с добавкой гипса представлены в основном гидросиликатом кальция вида  $CSH_n$ . Экзотермический эффект с максимумом при 920°C, судя по литературным данным [7], связан с присутствием в рассматриваемых образцах (рис. 1, кривые II, III, V и VI) волокнистого гидросиликата кальция вида  $C_{1,25}SH_n$ . Некоторое смещение этого эффекта в область высоких температур, по всей вероятности, связано с проявлением в интервале температур 850—900°C довольно интенсивного эндотермического эффекта диссоциации кальцита.

Кроме рассмотренных выше эффектов, остальные эффекты на кривых II, III, V и VI по своей природе идентичны с эффектами, присутствующими на дифференциальных термических кривых газосиликата, не содержащего в своем составе гипса (рис. 1, кривые I и IV).

Результаты рентгенографического анализа, представленные на рис. 2, в общем хорошо совпадают с данными химического и термического анализов. На рентгенограммах газосиликата как с добавкой, так и без добавки гипса помимо дифракционных пиков, характерных для исходных компонентов природного и обожженного барханного песка — кварца, полевых шпатов, кальцита—присутствуют также дифракционные максимумы с  $\frac{d}{n} = 3,04—3,07; 2,96, 2,80$  и  $1,83\text{Å}$ , свойственные для

низкоосновных гидросиликатов кальция типа CSH(B) и тоберморита. Между тем, на рентгенограммах ячеистого автоклавного бетона, не содержащего в своем составе гипса, присутствуют довольно четкие дифракционные пики с  $\frac{d}{n} = 2,62—2,63$  и  $1,92—1,93\text{Å}$ , характерные для

гидрата окиси кальция, что опять-таки указывает на довольно слабую реакционную способность аллюмосиликатных компонентов как природного, так и обожженного барханного песка в отсутствие гипса.

По данным минералого-петрографического исследования, ячеистый бетон с гипсовой добавкой в отличие от образцов, не содержащих в своем составе гипса, характеризуется, главным образом, более плотной цементирующей массой, а также значительной коррозией зерен кварца и других обломочных минералов (рис. 3а, б).

Преобладающая часть цемента в основном состоит из изотропной железивидной массы с показателем преломления 1,56—1,58, относящегося к волокнистому гидросиликату кальция типа CSH(B). Наблюдается также и мельчайшие анизотропные кристаллики размером от 0,001 до 0,003 мм. Судя по показателю преломления ( $N_p = 1,556 \pm 0,003$ ;  $N_g = 1,572 \pm 0,002$ ), эти новообразования относятся к тобермориту. Изредка в составе цементирующей массы удается различить изотроп-

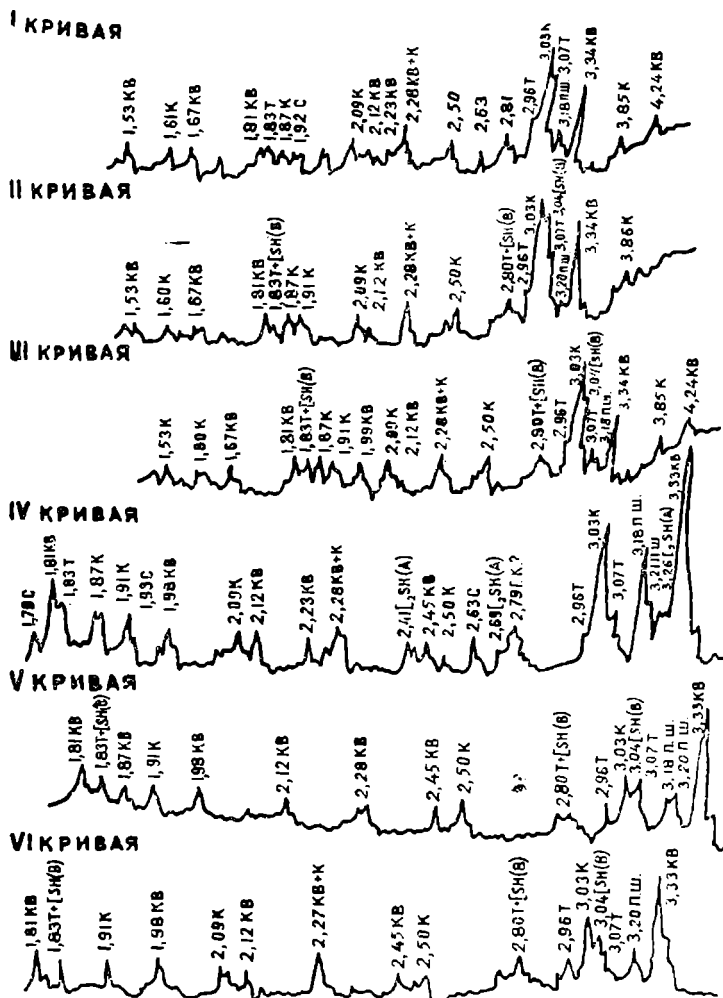


Рис. 2. Рентнограммы образцов ячеистого бетона (активное CaO—20%).

На природном барханном песке: I — без добавки гипса; II — 1% гипса; III — 2% гипса. На обожженном барханном песке: IV — без добавки гипса; V — 1% гипса; VI — 2% гипса.

Условные обозначения: KB — кварц, K — кальцит, C — Ca(OH)<sub>2</sub>, ПШ — полевые шпаты, T — тоберморит, ГК — гидрогранат кальция.

ные кристаллы с показателем преломления 1,61—1,62. Если учесть, что согласно данным рационального химического анализа (табл. 3), в ячеистом бетоне на основе природного и обожженного барханного песка содержится примерно от 1,2 до 2,7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, растворимого в HCl, то имеются все основания предположить, что изотропные кристаллы с показателем преломления 1,61—1,62 относятся к алюминатным гидрогранатам кальция.

Таким образом, результаты термографического, рентнографического, химического и оптического анализов показывают, что при твердении ячеистого бетона как на природном, так и обожженном барханном песке в присутствии добавки гипса реакции в условиях автоклавной обработки, как правило, проходят глубже и интенсивнее, способст-

зая тем самым ускорению процессов синтеза низкоосновных гидросиликатов кальция (CSH(B) и тоберморит). В целом все это способствует существенному росту прочностных показателей ячеистого бетона. Если же учесть, что образцы ячеистого бетона как с добавкой, так и без добавки гипса были изготовлены в идентичных условиях, то имеются все основания считать, что на характер автоклавных реакций и основность образующихся при этом гидросиликатов кальция существенное влияние оказывала лишь гипсовая добавка.

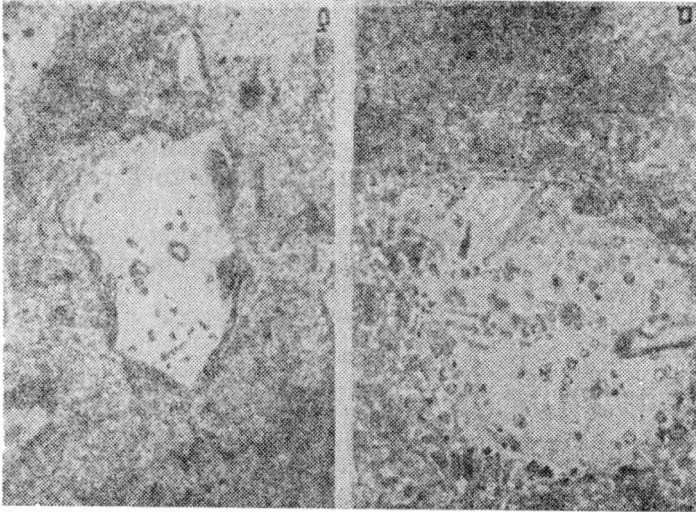


Рис. 3. Зерна кварца в шлифе ячеистого бетона из обожженного барханного песка. Никопол, увеличение 400: а) без добавки гипса — зерно кварца без коррозии стекловидной пленки; б) 1% гипса — частичная коррозия зерна кварца с полным растворением стекловидной пленки.

Гипс сравнительно плохо растворяется в воде (2 г/л) и, следовательно, его раствор не может играть роль добавки — электролита [7]. Нельзя также 1—2%-ную добавку гипса, вводимую в известково-песчаные смеси на основе полиминерального барханного песка, считать «активной» тонкодисперсной добавкой, ибо в противном случае с ростом содержания гипса в составе ячеистого бетона более 1—2% наблюдался бы дальнейший рост его прочности, что практически не имеет места.

И наконец, гипс при твердении ячеистого бетона на основе полиминерального барханного песка не может играть роль кристаллической затравки — в противном случае присутствие гипса в известково-песчаных смесях на кварцевом песке также способствовало бы росту прочностных показателей автоклавного известково-песчаного бетона, что практически не наблюдается [4].

Между тем, присутствие гипса в известково-песчаных смесях как на природном, так и обожженном барханном песке существенно повышает степень связывания гидрата окиси кальция с алюмосиликатными (полевые шпаты, глинистые минералы, продукты аморфизации глинистых минералов) компонентами. Следовательно, гипсовая добавка играет роль активизатора, способствуя тем самым существенному повы-

шению реакционной способности алюмосиликатов (полевые шпаты, глинистые минералы и т. д.).

Аналогичные выводы несколько ранее сделаны в ряде работ [1, 2, 3, 5, 6]. В частности, в [1, 2] и у других исследователей неоднократно отмечалось, что введение в сферу автоклавной реакции иона  $SO_4^{2-}$  позволяет существенным образом активизировать процессы взаимодействия гидрата окиси кальция с алюмосиликатами. В особенности этот эффект значителен при использовании в качестве кремнеземистого компонента аморфных алюмосиликатов, то есть стекол кремнеземисто-глиноземистого состава (горелые породы, обожженные глины, аглопорит, керамзит и т. д.), что объясняется более глубоким гидролизом и растворимостью стеклофазы (в присутствии иона  $SO_4^{2-}$  по сравнению с кристаллическими алюмосиликатами (полевые шпаты, слюды, глины и т. д.).

Несомненно, что и в нашем случае более высокая прочность автоклавного ячеистого бетона на основе обожженного барханного песка с добавкой гипса (табл. 2) обусловлена более высокой реакционной способностью его кремнеземисто-глиноземистой стеклофазы [8] по сравнению с полевошпатовыми, слюдистыми и глинистыми минералами природного барханного песка.

### Выводы

1. Добавка гипса в сырьевые смеси для производства ячеистого бетона из полиминерального барханного песка способствует увеличению предела прочности на сжатие до 1,3 раза для бетонов на природном барханном песке и более чем в 1,7 раза для изделий на обожженном песке.

2. Положительное влияние гипса на процессы автоклавного твердения ячеистого бетона на основе полиминерального барханного песка объясняется активизацией процессов взаимодействия гидрата окиси кальция с алюмосиликатами — полевыми шпатами, глинистыми минералами, слюдами в присутствии иона  $SO_4^{2-}$  в сфере автоклавной реакции.

3. Большая эффективность гипса при использовании в качестве кремнеземистого компонента обожженного барханного песка связана с более высокой реакционной способностью его стеклофазы по сравнению с реакционной способностью полевошпатовых, слюдистых и глинистых минералов природного песка.

Институт сейсмостойкого строительства  
Госстроя Туркменской ССР

Поступило  
19 апреля 1968 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гродзенская Е. С., Виноградов Б. Н., Шварцзайд М. С. — Сб. тр. ВНИИСТРОМ, № 6, 1966.
2. Виноградов Б. Н. — Сырье для производства автоклавных силикатных бетонов. Стройиздат, 1966.
3. Кингина Г. И. — Строительные материалы из горелых пород. Стройиздат, 1960.
4. Певзнер Э. Д., Богдан В. А., Соболевский А. Б. — Строительные материалы, № 10, 1966.
5. Попко В. Н. — Вопросы шлакопереработки, Челябинск, 1960.
6. Сб. «Легкие автоклавные бетоны на пористых заполнителях». Стройиздат, 1963.
7. Бутт Ю. М., Рашкович Л. Н. — Твердение вяжущих при повышенных температурах. Стройиздат, 1965.
8. Джигирис Д. Д. — Кандидатская диссертация. Ашхабад, 1963.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 546.3—19:[621:36+536:33]

Х. М. Кулиев  
 А. Хамадов

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — $\text{Sb}_2\text{Se}_3$

Целью настоящей работы является изучение термоэлектрических свойств сплавов при дальнейшем осложнении их кристаллических решеток.

Объектом исследования был выбран четырехкомпонентный сплав  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ . По данным [1] в этих сплавах в широком ряду, за исключением области, прилегающей к селениду сурьмы, образуются неограниченные твердые растворы с ромбоэдрической структурой типа тетрадимита. Зависимость термоэлектрических свойств ( $\alpha$ ,  $\sigma$  и  $\chi$  от состава и влияния примесей на их термоэлектрические свойства исследованы в [2].

При изготовлении образцов применяли следующие компоненты. Bi—Чимкентского завода с содержанием основного вещества по паспорту 99,97%. Перед изготовлением Bi дважды плавил в вакуированных пробирках. Te — II-го сорта Пышменского завода, дважды возогнаный и плавленый; Se — для выпрямителей с основным веществом — 99,99%; Sb — Cu—O.

Образцы готовились сплавлением исходных компонентов в вакуированных кварцевых пробирках при температуре печи 650—700°C. Для гомогенизации сплавов во время плавки ампулы встряхивались. Охлаждение ампул производилось на открытом воздухе. Полученные сплавы дробили в фарфоровых ступках до величины зерна 3 мм (и менее) и прессовали в разъемной прессформе с графитовой смазкой при температуре 400°C под давлением 5 т/см<sup>2</sup> в течение 5 мин. Прессованные образцы имели размеры 20×8×8 мм. Измерения  $\alpha$ ,  $\sigma$  производились через сутки после прессовки. Затем образцы отжигались в запаянных термостойких стеклянных пробирках при температуре 350°C в течение 24 часов. Одновременно проверяли действие длительного отжига на термоэлектрические свойства этих сплавов.

Для исследования выбраны сплавы, содержащие менее 50 мол%  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ .

Таблица 1

Состав мол. %	$\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ , n-тип								
	Прессованный			Отожженный 1 сут.			Отожженный 10 сут.		
	$\alpha$	$\sigma$	$\alpha^2\sigma$	$\alpha$	$\sigma$	$\alpha^2\sigma$	$\alpha$	$\sigma$	$\alpha^2\sigma$
50% $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — 50% $\text{Sb}_2\text{Se}_3$	30	248	0,22	141,3	104	2,07	152	183	4,24
60% $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — 40% $\text{Sb}_2\text{Se}_3$	59	330	1,2	124	215	3,31	174	125	2,17
70% $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — 30% $\text{Sb}_2\text{Se}_3$	70	468	2,3	109	187	2,22	164	155	4,19
80% $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — 20% $\text{Sb}_2\text{Se}_3$	39	350	0,53	150	300	6,75	187	381	13,3
90% $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — 10% $\text{Sb}_2\text{Se}_3$	41	836	1,41	153	707	16,6	181	738	24,31
96% $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — 4% $\text{Sb}_2\text{Se}_3$	65	462	1,96	154	910	21,6			
97% $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ — 3% $\text{Sb}_2\text{Se}_3$	41	500	0,84	160	1000	25,6			

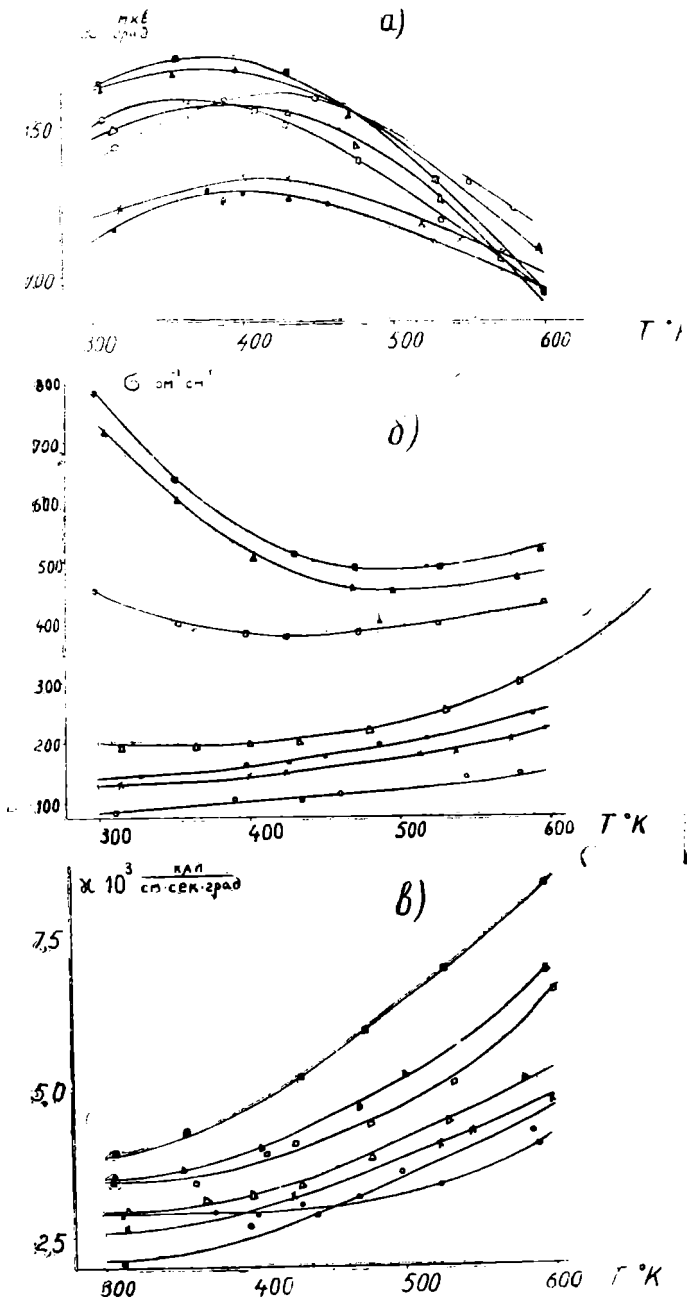


Рис. 1. а) зависимость коэффициента термоЭДС  $\alpha$  от температуры  $T$ ; б) зависимость коэффициента электропроводности  $\sigma$  от температуры  $T$ ; в) зависимость коэффициента теплопроводности  $\gamma$  от температуры  $T$ . Кривые соответствуют:  $\circ$  — 50 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  — 50%  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ;  $\times$  — 60 мол  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  — 40 %  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ;  $\bullet$  — 70 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  — 30 %  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ;  $\triangle$  — 80 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  — 20%  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ;  $\square$  — 90 мол %  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  — 10 %  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ;  $\blacktriangle$  — 96 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  — 4%  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ;  $\blacksquare$  — 97 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  — 3%  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ .

В табл. 1 приводятся результаты исследования сплавов. Как видно, при отжиге во всех сплавах увеличивается термоЭДС ( $\alpha$ ) и уменьшается электропроводность ( $\sigma$ ), что свидетельствует об уменьшении концентрации носителей тока. При этом, увеличение  $\alpha$  происходит более круто по сравнению с  $\sigma$ , следовательно, отжиг приводит к увеличению  $\alpha^2\sigma$  у всех сплавов.

Увеличение  $\alpha^2\sigma$  наблюдается и при десятисуточном отжиге, но уже дальнейший отжиг ухудшает термоэлектрические свойства всех сплавов. Объяснить такое действие и установить какую-либо закономерность пока еще не удалось. Вероятно, это следствие того, что  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  содержит избыток висмута против стехиометрического состава, а Sb, применяемая для изготовления сплавов, содержит порядка 0,7% свинца, поэтому для выяснения поведения этих компенсированных примесей (Bi и Pb), а также других примесей требуются дополнительные исследования.

Далее были исследованы температурные зависимости коэффициента термоЭДС, электропроводности и теплопроводности в интервале температур 300—600°K на установке, описанной в [2]. Результаты приведены на рис. 1 (а, б, в). Видно, что у всех сплавов уже при комнатной температуре начинается собственная проводимость, за исключением сплавов, близких к компоненту  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , у которых интервал температур, где наблюдается примесная проводимость, очень узкий. Поэтому во всех исследуемых сплавах не удалось определить концентрацию носителей тока и другие параметры.

Для сплавов, содержащих  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  от 50 до 70 мол%,  $\alpha$  падает,  $\sigma$  растет, а у сплавов с содержанием  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  выше 70 мол% оба параметра увеличиваются (см. таблицу суточного отжига).

Максимальное значение  $\alpha^2\sigma$  и  $Z$  наблюдалось в составе с 96—97 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Однако быстрое наступление собственной проводимости с ростом температуры приводит к резкому спаду  $\alpha^2\sigma$  и  $Z$ . Следовательно, для смещения максимума  $Z$  в сторону высоких температур в эти сплавы надо вводить примеси, которые увеличивали бы концентрацию носителей тока.

Из рис. 1б видно, что в составе с 80 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  при температуре выше 400°K наблюдается резкое увеличение электропроводности. При температуре порядка 650°K значение  $\sigma$  почти в два раза больше начального значения. Можно предполагать, что в этом сплаве достигнута «чисто» собственная проводимость. В данном случае при 0°K зависимость  $\ln\sigma$  от обратной температуры дает ширину запрещенной зоны полупроводников.

Ширина запрещенной зоны твердого раствора с составом 80 мол%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , вычисленная таким способом, оказалась равной 0,146 эв.

Как видно из табл. 1, высокое значение  $\alpha$  наблюдается у составов с содержанием  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  выше и ниже 70 мол%. В составах, содержащих  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ниже 70%, значения  $\alpha^2\sigma$  и  $Z$  очень малы из-за незначительности электропроводности сплавов. В сплавах, содержащих  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  выше 70 мол%, резко увеличиваются  $\alpha$  и  $\sigma$ , а значения  $Z$  оказались высокими по сравнению со сплавами, содержащими  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  меньше 70 мол%. Поэтому для получения материалов с хорошими термоэлектрическими параметрами путем введения примесей необходимо использовать сплавы, богатые  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
27 мая 1968 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В. Г., Палкина К. К., — ЖНХ, № 8, 5, 1204, 1963.
2. Кулиев Х. М. — ЖНХ, № 8, 9, 1963.
3. Иоффе А. В., Кузнецов В. Г., Палкина К. К. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 6, 1962.

УДК 621.38

Б. А. Базаров

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С МЕЛКИМИ p-n-ПЕРЕХОДАМИ

В [1] опубликованы данные по исследованию возможности применения электролитических контактов для кремниевых моно- и поликристаллических фотопреобразователей, изготовленных методом термической диффузии фосфора на воздухе. Отмечено, что уменьшение толщины  $R_{\text{лс}}$  (сопротивление в р-ного легированного слоя фотоэлемента) способствует более полному использованию энергии фотонов солнечного спектра; фототок  $I_{\text{к.э.}}$  и фотоЭДС  $V_{\text{к.х.}}$  при этом возрастают и достигают максимального значения, тогда как у обычных металлических контактов падают.

В связи с этим интересно выяснить оптимальную толщину верхнего легированного слоя для жидкостных контактов. Однако в диффузионных фотопреобразователях нельзя достигнуть максимального значения  $I_{к.з.}$ , так как с уменьшением верхнего легированного слоя до определенной величины происходит резкий спад величины тока короткого замыкания. Причиной этого является неравномерное залегание  $p-n$ -перехода на поверхности образца, вследствие чего происходит закорачивание  $p$  и  $n$ -слоев по мере постепенного растворения верхнего легированного слоя фотопреобразователя.

Ранее отмечалось, что для получения высокого к.п.д. при солнечном освещении в сочетании с повышенной чувствительностью в коротковолновой части спектра и радиационной стойкостью необходимо обеспечить в элементах целый набор заданных параметров, например, созданием в кремнии  $p-n$ -перехода на глубине не более 1 микрона. Однако существующий метод диффузии не позволяет получить такой  $p-n$ -переход и не исключает загрязнения вредными примесями близлежащей к  $p-n$ -переходу области кремния, что сильно снижает основные параметры: подвижность и время жизни неосновных носителей в базовой области фотоэлемента.

Появившиеся в последние годы сообщения [2, 3, 4] о возможности легирования кремния с помощью бомбардировки ионами бора, алюминия и фосфора позволяют создать высококачественный мелкий переход методом ионной бомбардировки, который обеспечивает высокую степень легирования кремния фосфором и создания «резкого»  $p-n$ -перехода, залегающего на глубине 0,7—1,0 микрона.

Нами исследованы фотопреобразователи, созданные методом бомбардировки пластин кремния  $p$ -типа ионами фосфора с энергией 30 эв, с применением сплошных прозрачных электродов, в качестве которых применялся электролит.  $p-n$ -переход имел глубину залегания  $0,7 \pm 1,0$  микрон при средней концентрации доноров ( $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3} \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ).

Исследования проводились на прямоугольных образцах с размерами  $10 \times 10$ ,  $10 \times 20$  мм по методике, описанной в [1]. Получены зависимости  $I_{к.з.}$  и  $V_{х.х}$  от толщины верхнего легированного слоя по мере химического травливания тонкого слоя рабочей поверхности. Уменьшение тонкого слоя рабочей поверхности увеличивало примерно в два раза ток короткого замыкания и на 45—60% напряжение холостого хода. Это можно было бы объяснить удалением поверхностного слоя, имеющего высокую скорость рекомбинации носителей и уменьшением омического сопротивления верхнего слоя, что приводит к увеличению тока короткого замыкания фотоэлемента.

Исследования фотопреобразователей с мелкими  $p-n$ -переходами, созданными ионной бомбардировкой, подтверждают выводы, сделанные в [1].

Физико-технический институт  
АН Туркменской ССР

Поступило  
4 сентября 1968 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров Б. А. — Известия АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 3, 1968.
2. Magiar «Electroniks», № 16, 11, 1963.
3. Гусев В. М., Титов В. В. и др. — Физика твердого тела, т. 7, вып. 7, 1965.
4. Гусев В. М., Заддэ В. В. и др. — Физика твердого тела, т. 8, вып. 6, 1966.

УДК 699.841

В. Р. ТУМАСОВ

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННЫХ ЖИДКОСТЬЮ

Применение теории вероятности при рассмотрении сейсмостойкости конструкций более полно отражает действительное поведение сооружения во время землетрясения. Предлагаемый метод основан на представлении сейсмического воздействия в виде случайно-временного процесса.

\* Образцы получены из ВНИИТ.

Рассматриваемые сооружения представляют собой цилиндрическую тонкостенную оболочку, частично заполненную жидкостью. Контур поперечного сечения замкнутый, кусочно-гладкий и считается неизменяемым в своей плоскости. Последнее связано с тем, что жесткость поперечного сечения значительно превышает общую изгибную жесткость оболочки. Будем рассматривать конструкции, длина (высота) которых значительно превышает радиус поперечного сечения. В этом случае, как известно, необходимо учитывать в расчете деформативность самой конструкции. Подвижность жидкости при деформации оболочки, а также волнообразование на свободной поверхности жидкости при перемещении основания существенно усложняют задачу.

В работе [1] было получено общее интегродифференциальное уравнение вынужденных колебаний системы на сейсмическое воздействие, характеризующееся перемещением основания.

Для решения полученного уравнения на сейсмическое воздействие воспользуемся статистическим методом расчета. Решение будем рассматривать при внешнем воздействии в виде стационарного случайного процесса. В данном случае, учитывая линейность рассматриваемой задачи, применим корреляционную теорию случайных процессов. Для определения реакции системы на элементарное воздействие  $e^{i\omega t}$  используем выражение (15) [1]:

$$y(i\omega) = \sum_{j=1}^{\infty} q_j(t) X_j(x) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\left( Q_{jn} + \sum_{n=1}^{\infty} T_{jn} \frac{\omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2} \right) X_j(x)}{M_{jn} \left[ (\omega^2 - (u + iv)\lambda_{jn}^2 + \omega^4 \sum_{n=1}^{\infty} G_{jn} \frac{\omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2}) \right]} \quad (1)$$

Среднеквадратичное значение реакции системы можно определить по известной формуле теории вероятности

$$\langle y^2 \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) / y(i\omega)^2 d\omega, \quad (2)$$

где  $S(\omega)$  — спектральная плотность сейсмического ускорения.

Используя значение спектральной плотности, приведенное в работе [2], и подставляя его в уравнение (2), получим окончательное выражение среднего квадратичного значения реакции системы для  $j$ -ой формы на сейсмическое воздействие, представленное в виде случайного процесса

$$\langle y_j^2 \rangle = \frac{2B_1(0) \tau X_j^2(x)}{M_{jn}^2} I_j, \quad (3)$$

$$I_j = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\left( Q_{jn} + \sum_{n=1}^{\infty} T_{jn} \frac{\omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2} \right)^2}{\left[ \omega^4 + \lambda_{jn}^4 + \omega^4 \sum_{n=1}^{\infty} G_{jn}^2 \frac{\omega_n^4}{(\omega_n^2 - \omega^2)^2} \right] (\omega^2 + m^2)} d\omega. \quad (4)$$

$$\left[ 2u\omega^2\lambda_{jn}^2 + 2\omega^4 \sum_{n=1}^{\infty} G_{jn} \frac{\omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2} - 2u\omega^2\lambda_{jn}^2 \sum_{n=1}^{\infty} G_{jn} \frac{\omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2} \right] (\omega^4 + 2a\omega^2 + m^4)$$

Интеграл в выражении (5) взять в квадратурах не представляется возможным, поэтому для получения численных значений поперечного прогиба системы была использована электронно-цифровая вычислительная машина «Урал-4». В резуль-

тате анализа решений выявилась возможность значительно упростить выражение подынтегральной функции

$$I_j = \frac{Q_{jn}^2 k_B}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(\omega^2 + m^2) d\omega}{(\omega^4 - 2i\omega^2 \lambda_{jn}^2 + \lambda_{jn}^4) (\omega^4 + 2a\omega^2 + m^4)}, \quad (5)$$

где коэффициент  $k_B$ , определяемый по графику рис. 1, учитывает влияние функции волнообразования на свободной поверхности жидкости в зависимости от высоты заполнения оболочки жидкостью. Коэффициент динамичности представится в виде

$$\langle \cdot \cdot \rangle_j^2 = \lambda \lambda_{jn}^2 I_j. \quad (6)$$

Среднеквадратичное значение определенной по высоте сооружения сейсмической силы определяется для  $j$ -ой формы выражением

$$\langle S_j^2 \rangle = k_c^2 \langle \dot{\varphi}_j^2 \rangle \langle \eta_{jn}^2 \rangle m_j^2(x), \quad (7)$$

где  $m_j(x)$  — погонная масса стержня с жидкостью;  $k_c$  — коэффициент сейсмичности;  $\langle \eta_{jn}^2 \rangle$  — среднеквадратичное значение коэффициента, зависящего от формы колебания стержня с жидкостью при его свободных колебаниях по  $j$ -ой форме.

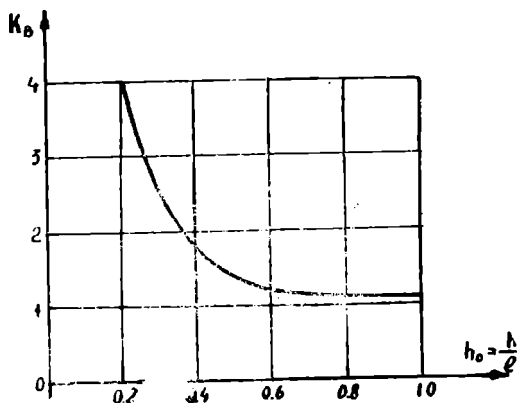


Рис. 1. Влияние волнообразования на свободной поверхности жидкости.

$$\eta_{jn} = X_j(x) \frac{\int_0^l \mu_c F_c X_j(x) dx + \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^h C_n X_j(x) dx}{\int_0^l \mu_c I [X_j'(x)]^2 dx + \int_0^l \mu_c F_c [X_j(x)]^2 dx + \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^h \int_0^h C_n(x, \zeta) X_j(\zeta) X_j(x) d\zeta dx} \quad (8)$$

Периоды свободных колебаний системы определяются по формуле

$$T_{jn} = \frac{2\pi}{\lambda_{jn}}. \quad (9)$$

Частота свободных колебаний при этом определяется выражением

$$\lambda_{jn}' = \frac{\int_0^l EI [X_j''(x)]^2 dx}{\int_0^l \mu_c I [X_j'(x)]^2 dx + \int_0^l \mu_c F_c [X_j(x)]^2 dx + \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^h \int_0^h C_n(x, \zeta) X_j(\zeta) X_j(x) d\zeta dx} \quad (10)$$

Таким образом, зная численное значение частоты и соответственно периода свободных колебаний системы, можно, согласно СН и ПИ-А, 16—62, определить коэффициент динамичности и соответственно сейсмическую силу, действующую на сооружение. Дальнейший расчет производится обычными методами сопротивления материалов.

Институт сейсмостойкого строительства  
Госстроя Туркменской ССР

Поступило  
22 июля 1968 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тумасов В. Р. — Совершенствование методов расчета и конструирования зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах. Изд. ЦНИИСК, М., 1967.
2. Барштейн М. П. — Строительная механика и расчет сооружений, № 2, 1960.

### К ВОПРОСУ ОБ УЧАСТИИ СОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СКЛАДОВ НА ПРИМЕРЕ ЯНГИАРЫКСКОЙ СТРУКТУРЫ

Процессы соляной тектоники, весьма широко проявляющейся в юго-западных отрогах Гиссарского хребта, до последнего времени объяснялись преимущественно неравномерной статической нагрузкой пород надсолевого комплекса на различных участках верхнеюрской соляной толщи. Предполагалось, что различия в давлениях, покрывающих соль (гаурдакская свита) отложений, возникли в результате поднятий антиклинальных складок и затем усилились в связи с последующим размывом их сводов. Это привело к образованию «наложенных» солевых структур, вплоть до диапиров прорванного типа с обнажающейся в ядре солью [1, 2].

Зоны ослабленного давления могут быть приурочены не только к своду антиклинали, а к любым участкам, где надсолевые отложения оказались достаточно глубоко размытыми [3, 4].

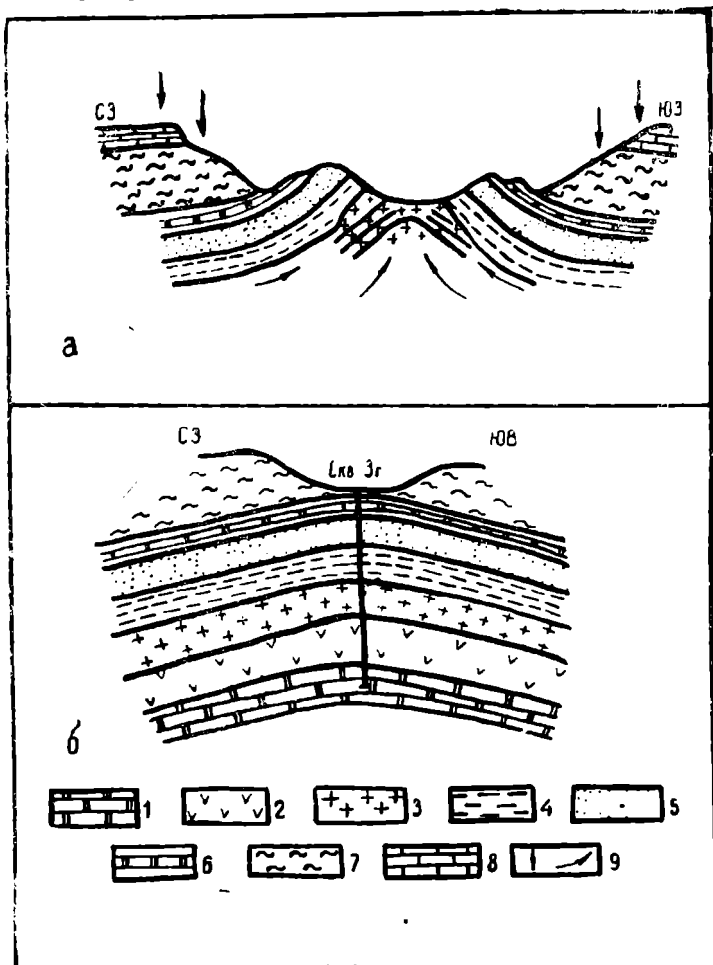


Рис. 1. а) Схема строения Акрабатской складки (по Н. П. Петрову с дополнениями А. А. Байкова); б) схематический разрез Янгиарыкской брахиантиклинали. 1 — Известняки оксфорда; 2 — ангидриты гаурдакской свиты; 3 — каменная соль гаурдакской свиты; 4 — глины карабильской свиты; 5 — песчаники карабильской свиты; 6 — альмурадская свита; 7 — нижний мел и глинистая толща сеномана; 8 — тагаринские известняки; 9 — направление действующих усилий вследствие дифференцированного давления на соляную толщу.

В. Н. Седлецкий [5] отрицает возможность образования соляных структур под действием неравномерной статической нагрузки на соль перекрывающих отложений.

Последнее предположение подтверждено данными по скважине № 3г, которая прошла полный разрез солевых и сульфатных пород гаурдакской свиты и вскрыла подстилающие известняки оксфордского яруса.

Янгиарыкская брахиантиклиналь, образованная на поверхности неоком-альбскими отложениями, расположена между Кугитангской и Гаурдакской антиклиналями, к северу от Узункудукской зоны разломов (рис. 2). Ее свод сравнительно узкий, выпуклый, переход к крыльям постепенный. Ориентировка оси в северной части складки близка к меридиональной. В своде обнажаются красноцветы готерив-барремского яруса, а на крыльях — нормальноморская песчаниково-глинистая толща альбсеномана, разорванная системой дизъюнктивов с преобладающим северо-западным направлением. Протяженность разрывов более 6 км, стратиграфическая амплитуда смещения достигает 200—250 м. Наклон пластов не выдержан, особенно в юго-восточном крыле, и колеблется в пределах 5—30°.

Гораздо более четко выражена юго-западная часть поднятия, в пределах которой осевая линия отклоняется к западу. Падение слоев в крыльях спокойное и не превышает 16°. Вдоль свода заложена глубоко врезаемая долина. По условиям возможности образования соляной антиклинали эта складка аналогична Акрабатской. В бортах долины от ядра складки к ее периферии последовательно обнажается следующий комплекс пород.

1. Валанжинский ярус (карабильская и альмурадская свиты), четко делящийся на три части, представлен внизу глинами, в средней части — песчаниками, глинами и алевролитами, вверху — глинами и алевролитами с пластами доломитов и бледно-розовых гипсов. Видимая мощность около 280 м.

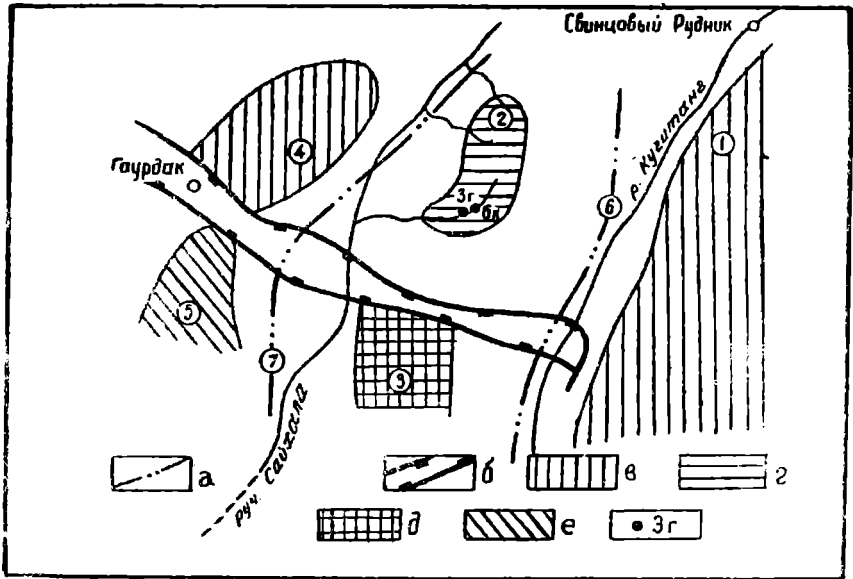


Рис. 2. Схема тектонического положения Янгиарыкской брахиантиклинали (с элементами гидрографии). Составил А. А. Байков. а — Оси синклиналей; б — Узункудукская зона разломов; в—е — обнажающиеся в сводах складок отложения (соответственно верхнеюрские, неокомские, неоком-альбские, альбские); ж — местоположение скважины. Локальные антиклинальные складки: 1 — западное крыло Кугитангской антиклинали; 2 — Янгиарыкская; 3 — Карабильская; 4 — Гаурдакская; 5 — Тагаринская. Синклинали: 6 — Базардепинская; 7 — Маликская.

2. Готеривский ярус (кызылташская свита и низы окузбулакской свиты) мощностью 170 м сложен красно-бурными глинами, которые сменяются ритмично переслаивающейся толщей глин, алевролитов и песчаников. Его разрез заканчивается 15—20-метровой паккой пестроцветных глинистых алевролитов с пластом гипса в середине и кровле.

3. Барремский ярус (окузбулакская свита) начинают морские голубовато-серые карбонатные глины с маломощными прослоями песчаников и ракушнякав, которые переходят в красноцветные глины и алевролиты, а еще выше — в глинистые гипсы. Суммарная мощность 120 м.

4. Отложения апта, мощностью до 20 м, представлены зелеными глинами. Они содержат пласты (до 3 м) органогенно-детритовых и оолитовых известняков, реже — алевролитов и песчаников.

5. Разрез альбского яруса, мощностью до 450 м, преимущественно глинистый. Песчаники известны только в его нижней части. В середине разреза появляются многочисленные пласты органогенно-обломочных известняков, переслаивающихся с серо-зелеными глинами.

На далеком погружении северо-западного крыла складки, обращенного в сторону Меликской синклинали, обнажаются глины и разнообразные известняки сеноманского яруса.

Толща галогенных осадков гаурдакской свиты залегает на мощных карбонатных отложениях келловей-оксфорда, которые вскрыты скважиной № 3г на глубине 971 м и перекрываются терригенным комплексом неокон-альба. По литологическому составу она четко разделяется на две части: нижнюю — ангидритовую и верхнюю — соляную.

Ангидриты, мощностью 331 м, представлены светло-серыми мраморовидными разностями, которые содержат три сближенных пласта (до 0,3 м) серо-коричневых огипсованных известняков.

Мощность соляного разреза\* 329 м. Каменная соль преимущественно светло-серая, иногда с бледно-розовым оттенком, средне- и крупнокристаллическая. Нередки включения и тонкие прослойки голубовато-серого ангидрита, местами наблюдается загрязненность красно-бурым глинистым материалом. В верхней половине разреза появляются пласты (0,15—2,0 м) светло-серых сильвинитов, а у кровли — выдержанный на всей территории Гаурдак-Кугитангского района пласт (2,5 м) покровных ангидритов.

Соль имеет нормальное стратиграфическое взаимоотношение с подстилающими и покрывающими породами и лишена следов течения. Элементы залегания пластов соли и ангидритовых прослоек позволяют установить согласно залегание соляных пород по отношению к вмещающим отложениям. Ранее предполагалось, что свод Янгиарьской складки может быть осложнен небольшой солевой антиклиналью, образовавшейся при формировании складки [6]. Однако наблюдающаяся здесь значительная мощность соляного разреза, по-видимому, не является аномальной и вполне соответствует общему ее увеличению в районе с севера на юг и юго-запад.

Таким образом, Янгиарьскую структуру следует считать нормальной антиклиналью, без признаков соляной тектоники (рис. 16). Не отрицая возможности незначительного, не подающего здесь установлению перераспределения соли вследствие гравитационной неуравновешенности надсолевых пород, мы полагаем, что при формировании этой складки соляная толща деформировалась подобно вмещающему карбонатно-терригенному комплексу отложений мезозоя.

## Выводы

1. Глубокий эрозионный врез на выраженной по подсолевым отложениям Янгиарьской складке, предопределивший дифференцированную статическую нагрузку на соль, не привел к истечению соли в ее сводовую часть.

2. В пределах Кокмаринского, Акрабатского и других локальных поднятий юго-западных отрогов Гиссара, подобных Янгиарьской структуре, соляная толща, вероятно, не подверглась существенному перераспределению при складкообразующих деформациях и сохраняла стабильность при последующей эрозии сводов складок.

Управление геологии  
СМ Туркменской ССР

Поступило  
19 июля 1967 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Туаев Н. П. — Сб. Материалы по геологии Средней Азии, вып. 6, Ташкент, 1936.
2. Мирошниченко В. П. — Геология СССР, т. 22 (Туркменская ССР). Госгеолтехиздат, 1957.
3. Петров Н. П. — Геология СССР, т. 22 (Туркменская ССР). Госгеолтехиздат, 1957.
4. Петров Н. П., Чистяков П. А. — Литология солевых и красноцветных отложений мезозоя юго-западных отрогов Гиссара. Изд-во «Наука», УзССР, 1964.
5. Седлецкий В. И. — Сб. Тектоника Туркмении. Изд-во «Наука», М., 1966.
6. Байков А. А., Седлецкий В. И., Черченко В. И. — Сб. Геология и полезные ископаемые Туркмении». Тр. ГПГК, ТССР, вып. 2, 1964.

\* Описание приводится по данным ранее пробуренной скважины № 6к, которая остановлена в солях, как оказалось впоследствии, всего в 10 м от кровли ангидритов.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ.

помещенных в журнале «Известия Академии наук Туркменской ССР»  
 (серия физико-технических, химических и геологических наук) за 1968 год

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Агаев Я., Бекмедова Н. Г. — Оптические свойства фосфида индия	6
Азарова Е. И., Сидериду Я. А. — Исследование комплексообразования оксисеариновых кислот с борной кислотой по ИК-спектрам	2
• Айнемар А. А., Житинева В. В., Радюкевич Н. М., Смолко А. И., Ткачева Ю. Р. — Континентальный плиоцен среднего течения Аму-Дарьи	2
Алехин С. Н. — О гидрохимических особенностях зоны гипергенеза ртутного месторождения Кара-Елчи (Западный Копет-Даг)	1
Алехин С. Н. — О надежности критериев гидрогеохимического метода поиска сульфидных месторождений в условиях Туркменистана.	3
Алехин С. Н., Жданов Б. П. — Опыт гидрогеохимических исследований, проведенных в районе западного склона хребта Кугитанг-Тау.	4
• Аманниязов К. — Региональная схема стратиграфии верхнеюрских отложений Туркмении	5
Аннаев Р. Г., Юсупов Т. М., Али-Заде М. З. — Исследование температурной зависимости гальваноманнитного эффекта в системе сплавов никель—германий в продольном магнитном поле	2
Аннаев Р. Г., Язлиев С., Оразсахатов А., Розыев М. — Линейная магнитострикция сплавов системы никель—палладий при температуре жидкого азота	3
Аннаев Р. Г., Али-Заде М. З. — Исследование температурной зависимости термомагнитного эффекта в системе сплавов никель—германий в продольном магнитном поле	3
Аннаев Р. Г., Киренский Л. В., Суханова Р. В., Ахмедова Г. Ш., Заякин П. Н., Пержановская З. М. — Исследование эффекта Холла и магнетосопротивления на тонких монокристаллических пленках никеля.	4
Атабаев Х., Газаков О., Слободчиков С. В. — Емкость диффузионных $p$ - $n$ -переходов в игольчатых кристаллах	3
Байков А. А., Седлецкий В. И., Худайкулиев Х. — О взаимоотношении гаурдакской свиты с подстилающими и покрывающими отложениями мезозоя в Юго-Западном Гиссаре	4
Байрамов Р., Петрова А. А. — Оптические характеристики некоторых конструктивных материалов и прозрачных сред	1
Байрамов С. — О структуре особых точек для некоторых дифференциальных уравнений в трехмерном пространстве	2
Баум В. А., Байрамов Р., Рыбакова Л. Е. — Тепло- и массообмен между параллельными плоскостями при испарении и конденсации.	4
Бекиев Х. — Координатный способ построения рельефной перспективы.	6

- Бердыев А. А., Хемраев Б. — Поглощение ультразвука в глицерине и смеси глицерин—вода 5
- Беркеллев М. — О механизме образования дневной аномалии ионизации в F-области на переходных широтах 5
- Беркеллев М., Дубровская Е. К. — Ночное изменение F-области ионосферы на переходных широтах 6
- Блискавка А. Г., Рубан В. И., Семенов А. Ф., Халлиев С. П. — О природе аномальных мощностей осадочных толщ в зоне Довгузырт-Карашорского глубинного разлома 3
- Блискавка А. Г., Вальбе С. П., Карташев В. Ф., Кубасов И. М., Птушкин Э. И., Рубан В. И., Симаков А. К., Смирнов Л. Н., Халлиев С. П. — Направления поисково-разведочных работ на нефть и газ в зоне внутреннего борта Предкопетдагского прогиба. 2
- Борисенко А. А. — О Черкезлинском поднятии на западе Низменных Кара-Кумов 4
- Ванфуч Ю. И. — Сейсмическая нагрузка для упруго-пластической формы Ванфуч Ю. И. — Сейсмостойкость конструкций при действии перегрузки. 5
- Виноградов Б. Н., Аваков В. А. — Особенности состава и свойства аглопорита из лесса и лессовидных суглинков Средней Азии 5
- Гендлер С. Л. — Минералогический состав и корреляционные признаки верхнемеловых отложений Центральных Кара-Кумов 4
- Гуревич М. Г., Колесникова Л. П., Самозванцева М. С., Бобылева А. А., Максимова Н. И. — Исследование индивидуального углеводородного состава конденсатов месторождения Сакар 5
- Гуцалюк В. Г., Яценко Э. А., Сдоонов Е. И., Холина Е. В., Невский Е. М., Салтыбаев Д. К. — Разделение асфальтенов селективной экстракцией 4
- Джигирис Д. Д., Аваков В. А. — Влияние добавки гипса на процессы автоклавного твердения ячеистого бетона на основе каракумского бурханского песка 6
- Домшлак Ю. И., Чарыев А. — О некоторых условиях неограниченности решений дифференциальных уравнений в гильбертовом пространстве 2
- Эзизавили А. Г. — Тектоника и перспективы нефтегазоносности Передовой зоны Центрального Копет-Дага 2
- Ершов Л. Д., Горчицина Л. Л. — Бесцементные автоклавные бетоны из карбонатных песков Туркмении 2
- Иващенко Г. А., Медовой М. М. — О возможности изучения распределения сейсмических волн в верхней части среды по данным обращенного микросейсмокаротажа 3
- Иващенко Г. А., Медовой М. М. — Методика спектрального анализа сейсмической записи при сближении частотных и временных представлений в развитии физических процессов 5
- Калугина О. Я., Калугин П. И. — Копетдагское обрамление Южно-Каспийского и Каракумского артезианских бассейнов 2
- Калугин П. И. — Основные этапы тектонического развития Южной Туркмении и Северо-Восточного Ирана 3
- Калугин П. И. — Верхнемеловые отложения Западной Туркмении. 4
- Карпенко Г. М., Сергиенко С. Р., Симеонов А. А., Зиминова К. И. — О химической природе высокомолекулярных парафино-циклопарафиновых углеводородов битковской и пединцевской нефтей 4
- Келембет Г. Р. — Строение четвертичных отложений конусов выноса рек Арчиньян-Су и Лаин-Су 4
- Кудельский А. В. — К оценке перспектив нефтегазоносности Западного Копет-Дага по гидрогеологическим показателям 5
- Кузнецов В. Г., Нурагдыев М. — Рентгенографическое исследование минеральных осадков в зоне смешения залива Кара-Богаз-Гол 1
- Кузьмин А. А. — Формирование залежей нефти и газа в месторождениях Западной Туркмении (на примере Кум-Дага) 1
- Кулиев Я. — Эквивалентная схема датчика Холла произвольной формы. 4
- Кисин Б. С. — Расчет оболочек положительной кривизны методом перемещения с учетом деформаций сдвига 6
- Кулиев Я., Курябина В. Ф. — Аналоговое функциональное устройство с использованием галваномагнитных эффектов Холла и Гаусса 6
- Кулиев А. — Решение одной вариационной задачи 6
- Курбанов М. — Изучение деформации земной коры в пределах Ашхабадской сейсмоактивной зоны 1
- Курбанмуратов А. — Особенности распространения апшеронских вод Юго-Западного Туркменистана в связи его с нефтегазоносностью. 6
- Курбанязов П. О., Воробьев Х. С., Мануляк И. Н. — Ис-

пользование карбонатных песков Прикаспия в производстве автоклавных вяжущих

• Лыков В. И., Маилян Р. А., Непесов Р. Д. — Методика выявления глубинных разломов по картам эпицентров землетрясений Туркмении и характеристика их сейсмичности

Мередов М. — О существовании решений краевых задач для уравнения смешанного типа

• Милькис М. Р. — Режим и прогноз дебитов источников Центрального Копет-Дага

Миропольский З. Л., Аннадурдыев Х., Какабаев А. — Теплоотдача и гидравлические сопротивления при нагревании и охлаждении жидкости в криволинейных каналах

Мурадов А., Фаткуллин М. Н. — Оценка скорости вертикального переноса заряженных частиц во внешней части области  $F_2$  ионосферы

Мяликулыев Г., Юсупов Т. М., Оразсахатов О., Орехова Н. П. — Гальваномагнитные и магнитные свойства сплавов железо—никель—медь в области температуры Кюри

• Непесов Р. Д., Маилян Р. А. — О связи повторных толчков Ашхабадского землетрясения 1948 г. с геологическим строением района

Ниязов А. Н., Ниязбердыева Е. Ф., Моллаков Б. М. — Сорбция нефтяных кислот анионитом ЭДЭ-10П

Овезгельдыев О., Останина М. Б. — Исследование  $E_s$  с магнитной возмущенностью на низких и средних широтах

Овезов Б. — Постановка задач оптимального управления процессом ректификации мазута

Овезов Б. — Структурная модель вакуумной колонны (К5)

Оразбердыев Х. — О движении заряженных частиц на фронте слабых магнито-гидродинамических ударных волн

Пасовская Г. Б. — Определение кальция в природных водах кондуктометрическим титрованием нитрилотриацетатом натрия

Пашаев М. С. — Новые данные о геологическом строении Гугуртлинского поднятия в Приамударьинском районе

Пучков С. В., Гаразов Д. — Спектральные сейсмические характеристики некоторых грунтов Ашхабадского района

Реджепова Ш. — О некоторых практических методах численности интегрирования с переменными шагами

Рубан В. И., Одаев К. Е., Халлиев С. П. — Сенонские отложения южного склона Туранской плиты

Рутгайзер Е. И. — Исследования процесса истечения хладагента в контактном испарителе вымораживающей опреснительной установки

• Сапаров Ч., Якубсон В. С. — Литолого-петрографическая характеристика и оценка перспектив нефтегазосности красноцветной толщи морской площади банки Жданова

Седельников Г. С., Баймурадов Р. — Исследование растворимости солей в тройных системах:  $MgSO_4-Rb_2SO_4-H_2O$ ,  $MgCl_2-RbCl-H_2O$  и  $Rb_2SO_4-RbCl-H_2O$  при  $50^\circ C$

Седельников Г. С., Пустыльников А. М., Байлиева Г. Г. —

Минералого-петрографические исследования осадков зоны смешения Кара-Богаз-Гола

Седельников Г. С., Андриясова Г. М. — Фтор, бром, йод в рассо-

лах Кара-Богаз-Гола

Сейсов Ю. Б. — Об одной дифференциальной игре

Сергиенко С. Р., Карпенко Г. М. — О химической природе предельных высокомолекулярных гибридных парафино-циклопарафиновых углеводородов битумской и гнейднцевской нефтей

Сергиенко С. Р., Атамередова К. Р., Кульджаев Б. А., Медведева В. Д. — Состав, свойства и направления использования конденсатов газового месторождения Ачак

Сергиенко С. Р., Кульджаев Б. А., Талалаев Б. И. — Индивидуальный углеводородный состав конденсата месторождения Ачак

Сергиенко С. Р., Эрнепесов Х. Н. — Влияние температуры и объемной скорости на направление превращения высокомолекулярных углеводородов нефти

Сергиенко С. Р., Атамередова К. Р., Медведева В. Д., Кульджаев Б. А. — Состав и свойства прямогонных бензинов из нефтей прикаспийских и бухарских месторождений.

Сергиенко С. Р. — Проблема предвидения каталитического действия (итоги работы IV Международного конгресса по катализу)

126

- Сергиенко С. Р., Айдогдыев А., Таимова Б. А., Челпанова М. П. — Сравнительная характеристика химической природы и свойств представительных нефтей прикаспийских и бухарских месторождений
- Смирнова Н. П. — Свойства резонансных волн и их использование для определения строения земной коры
- Судо М. М. — О границе между эоценом и олигоценом в Западном Копет-Даге
- Суханов С. — О возможности создания магнитометра слабых полей с охлаждаемым датчиком Холла без концентратора
- Ташлиев М. Ш. — Типы пород апта и альба центральных и восточных районов Копет-Дага
- Товбина С. З. — О зоне *Acanthoplitites prodromus* в пограничных отложениях апта и альба Туркмении
- Тораев А. — О колеблемости решений линейного дифференциального уравнения третьего порядка
- Турчин П. С. — Решение дифференциальных уравнений устойчивости для преднапряженных тонковолокнистых стержней открытого профиля
- Фартуков М. М. — Общие черты геологического развития территории Туркмении в позднемеловую эпоху
- Фартуков М. М. — О сеноманском ярусе Малого Балхана и Байрам-алийского района
- Худайназаров Г. — Распределение битуминозного вещества в среднеюрских отложениях Большебалханской антиклинали
- Шарипов Ш. Р., Байрамов С. Б. — О совместном существовании исключительных направлений
- И. Ятченко Д. Д. — Строение чокракского горизонта Западного Копет-Дага

5  
5  
3  
2  
2  
3  
2  
1  
2  
3  
3  
3  
6

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Агаев Я., Исмаилов О., Мосанов О. — Способ увеличения постоянной Эттинсгаузена
- Аннаев Р. Г., Али-Заде М. З. — Исследование температурной зависимости изменения электросопротивления системы сплавов кобальт—германий в продольном магнитном поле
- Аннаев Р. Г., Али-Заде М. З. — Исследование температурной зависимости изменения термоЭДС системы сплавов кобальт—германий в продольном магнитном поле
- Аникин А. В. — Влияние тепловых колебаний атомов решетки на тонкую структуру рентгеновских спектров поглощения сербгра
- Аникин А. В., Козленков А. И. — К-спектры поглощения сплавов системы Ag—Zn
- Аникин А. В. — Исследование коротковолновой структуры рентгеновских спектров поглощения компонентов ε-фазы системы Ag—Zn
- Астахов О. П., Бергер Л. И., Довлетов К. — Электропроводность и термоЭДС тройных полупроводниковых сплавов в твердом и жидком состояниях
- Астахов О. П., Бергер Л. И., Довлетов К. — Термоэлектрические свойства полупроводниковых сплавов  $Ag_2GeSe_3$  и  $Ag_2SnSe_3$  в твердом и жидком состояниях
- Аширов А., Василевская А. С. — Рентгенографическое исследование циклогексил—орто—крезилкетона
- Базаров Б. А. — Экспериментальное исследование возможности применения электролитических контактов для фотоэлектрических преобразователей.
- Базаров Б. А. — Исследование кремниевых фотоэлектрических преобразователей с мелкими p—n-переходами
- Байков А. А., Мурадов И. — К вопросу об участии соли в формировании антиклинальных складок на примере янгиарьской структуры
- Байрамов Р., Тойлиев К. — Сравнение результатов натурного испытания глубоководного опреснителя с расчетными данными
- Бердыев А. А., Бекмедова Н. Г., Агаев Я. — Влияние агрегатного состояния на интенсивность инфракрасных полос поглощения дифенила
- Бердыев А. А., Лапкин В. В., Лежнев Н. Б. — Поглощение ультразвуковых волн в индивидуальных жидкостях в диапазоне частот 500—1500 Мгц
- Бирман А. С., Расцветаетов Л. М., Розыева Т. Р. — О находке морского мюонена на Гяурском Копет-Даге
- Бобылева А. А., Гуревич М. Г., Колесникова Л. П. — Об индивидуальном составе ароматических углеводородов конденсатов месторождения Саман-Тепе

3  
5  
6  
1  
5  
5  
3  
3  
3  
3  
6  
6  
4  
1  
2  
1  
3

• <u>Борисенко А. А.</u> — О некоторых особенностях геологического и геоморфологического строения северной подгорной равнины Копет-Дага	5
Бяшимов М. — Тепло-массообмен в свободной турбулентной струе	2
Гарагозов Д. — Приращение балльности некоторых грунтов Ашхабада на основе учета затухания колебаний	5
Довлстов К., Астахов О. П., Бергер Л. И., Ковалева Э. И. — Исследование электропроводности и термоЭДС тройных полупроводниковых сплавов $CuGeSe_3$ и $Cu_2SnSe_3$ в твердом и жидком состояниях	3
• <u>Дурдыев Х.</u> — Обращенные формы рельефа Юго-Западного Копет-Дага и Мессерианской тектонической зоны	5
Зыбкин Г. Г., Николенко В. Е. — Исследование такырных глин и грунтовых вод Центральных Кара-Кумов как материалов для приготовления буровых глинистых растворов	2
• <u>Карташев В. Ф.</u> — Кизыларватский шарнирный сброс	3
Клышцаева О., Какабаев А. — Исследование распределения температуры на поверхности отопительной панели при нестационарном режиме	2
Кручинин В. А., Кручинина А. Н. — Новые данные о тектоническом строении Сарыкамышского района	3
Кудельский А. В. — О новой разновидности подземных вод	1
Кулиев Х. М., Хаматов А. — Исследование термоэлектрических свойств и теплопроводности четырехкомпонентных сплавов $Bi_2Te_3-Sb_2Se_3$	6
• <u>Курбанов М., Воронцова Э. С.</u> — О некоторых связях сейсмичности с космическими явлениями	4
Лепешков И. Н., Сергиенко С. Р. — <u>Седелников Георгий Степанович</u> (некролог)	4
Маилаян Р. А. — О тектонической трещиноватости Чашдепинской и Кизылканской структур Центрального Копет-Дага	3
Маков С. П., Курбанязов П. О. — Степень декарбонизации кальциевых карбонатных пород	5
Мануляк И. Н., Тиунов К. В. — О среднеюрских аргиллитах Большого Балхана как возможным сырье для производства легких заполнителей бетона	5
Мосанов О., Исмаилов О. — К увеличению эффективности преобразователей Нернста—Эттингаузена	4
Мындыев В. М., Юсупов Т. М. — Продольный термомагнитный эффект в сплавах никель—медь в области точки Кюри	1
Оразгельдыев К., Асланов Х. А., Садыков А. С., Эшбаев Ф. Ш. — Исследование динамики накопления алкалоидов и аминокислот <i>Thermopsis lanceolata</i>	2
<u>Соколовская Л. А.</u> — О расчленении и сопоставлении кампанских и маастрихтских отложений Восточной Туркмении	1
Суханов С. — Датчики Холла из сильно легированного антимонида индия	2
Тегелеков К. — Геохимия органических компонентов средне- и верхнеплиоценовых отложений складки Куйджик	5
<u>Тимофеев Ю. В.</u> — Своеобразные фации верхнего эоцена на Центрально-Каракумском своде и в зоне Донгузсырт-Ербентского глубинного разлома	3
<u>Тимофеев Ю. В.</u> — Два типа разрезов отложений белоглинского горизонта в Юго-Восточной Туркмении	5
Тумасов В. Р. — Статистический метод расчета сейсмостойкости вертикальных аппаратов, частично заполненных жидкостью	6
Файнберг Э. Б. — Некоторые результаты магнитовариационного зондирования в Ашхабаде	5

## МЕТЕОРНЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

Бабаков Н. А., Коробейникова М. П., Насыров Г. А., Хамидулина В. Г. — Движение пространственных неоднородностей за период МГСС	1
Цветкова Ю. И. — Исследование распределения метеорных тел по массам в потоках Геминид и Квадрантид	5

## ХРОНИКА

Говорухина В. А. — Довыборы состава Президиума Академии наук Туркменской ССР	1
--	---

## ПЕРСОНАЛИЯ

Юбилей ученого и инженера. К 60-летию со дня рождения Караша Николаевича Иомудского	1
---	---

Режебова Ш. — Үйтгейш әдими сан интегрирлелемесиниң кәбир практик методлары ҳақда	3
Кульев А. М. — Бир сапы чөзүлмедик вариацион меселәниң чөзүлиши	8
Бекиев Х. М. — Рельеф прессиетивасының гурлушының геометрик дәрелиши	13
Ванфуч Ю. И. — Агдыклық эдйш йүкүң тәсири астыдакы конструкцияның сейсмик дурнуқкылығы	18
Назаров А. — Гүн печлеринде гечирийән дерцевлерде ёкары температураң өлчәниш усулы	25
Агаев Я., Бекмедова Н. Г. — Индий фосфидниң оптик хәсиетлери	30
Кульев Я., Курябинь В. Ф. — Холлың не Гауссың гальваномагнит эффектлериниң әсасында гурлан аналоглы функционал гурлушлар	35
Аннаев Р. Г., Али-Заде М. З. — Угурдаш магнит мейданында кобальт-германий силавлар системасында термо ЭХГ-на үйтгемесиниң температура бағлылығыны дерцемек	39
Кисин Б. С. — Сүйшме деформациясы хасаба алнанда, сүйшме методдың көмеги билең положител эгриниң гатлақларының хасапламақ	43
Рутгайзер Е. М. — Допадрыжы опреснител установкасының контактлы бугардыжысындакы хладагентиң ақыш процессини дернемек	53
Беркелиев М., Дубровская Е. К. — Ионосфераның F-областының гечижки гинциликлердәки гижекни үйтгейши	62
Сергиенко С. Р., Медведева В. Д. — Прикасий ве Бухара нефтлериниң керосин функцияларының углеводород дүзүми ве хәсиетлери	67
Сергиенко С. Р. — Каталик тәсири өңүидең ацмақ проблемасы (катализ ҳақдакы IV Халқара конгресиң эдең ишниниң петижелери)	72
Сергиенко С. Р., Айдогдыев А., Таимова Б. А., Челпанова М. П. — Прикасий ве Бухара нефтлериниң химики тебигатының ве хәсиетлериниң денешдирши характеристикасы	81
Гурбанмырадов А. — Гүпортга-Гүнбатар Түркмәнистаның себитли-газлы аншерон сувларының яйрайшының айратылықлары	87
Ятченко Л. Д. — Гүнбатар Көпетдагың чокрак горизонтның гурлушы	93
Саяров Ч., Якубсон О. Д. — Жданов баикасының гызыл реқкли гатлагының литологик-петрографик характеристикасы ве себитли-газлылығының перспективаларыны барламақ	96
Судо М. М. — Көпетдагың меркези ве Гәверс себитлериниң ашак мпоцениң ве Гүпортга-Гүндогар Түркмәнистаның Байгүбек горизонтның аналогларының арасындакы бағлапышық	103
Джигирис Д. Д., Аваков В. А. — Гарагум чәгесиндең ясалап гөзенеқли бетоның автоклажда гатамақ процессинде гинсиң гарындысының тәсири	107

**ГЫСГА ХАБАРЛАР**

Кульев Х. М., Хамадов А. — Дөрткомпонентли силавларың йылылық гечирижлигиниң ве термоэлектрик хәсиетлериниң дернемек $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{—Sb}_2\text{Se}_3$ (115). Базаров Б. А. — Ушак-гечирижки кремний фотоэлектрик фотопреобразователлери дерцемек (117). Тумасов В. Р. — Сувуклық билең бүтинлей долдурылмадық диқ аппаратларың сейсмик дурнуқкылығыны хасапламагың статистик методды (118). Байков А. А., Мырадов И. — Янгыарық структурасының мысалында антиклиналь гатлақларың дөрәмесиңе дузларың тәсири ҳақындакы меселе барада (121).	124
Макалалары гөркезижи	

Ученый секретарь редколлегии С. П. Хрипунова  
Техредактор Р. Санатулова

Слано в набор 21/X. 68 г. Подписано к печати 31/XII—68 г. Уч-издат. л. 9,45.  
Привед. л. 11,2. Физ. печ. л. 8. Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Зак. № 171.  
Тираж 700 экз. Цена 60 коп. И—01707.

Типография изд-ва «Ылым», г. Ашхабад, ул. Энгельса, 2.

Проводится подписка  
на журнал  
**„ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
ТУРКМЕНСКОЙ ССР“**  
на 1969 год

ПО СЕРИЯМ:

физико-технических, химических  
и геологических наук  
биологических наук  
общественных наук  
и журнал „Проблемы освоения пустынь“

**Периодичность каждой серии  
6 номеров в год**

**Подписная плата**

серия физико-технических,  
химических и геологиче-  
ских наук

на год 3 р. 60 к.

на 6 месяцев 1 р. 80 к.

цена отдельного  
номера 60 к.

серии биологических,  
общественных наук  
и журнал „Проблемы  
освоения пустынь“

3 р.

1 р. 50 к.

50 к.

*Подписка принимается  
во всех отделениях  
„СОЮЗПЕЧАТИ“*