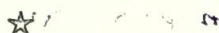

АЗƏРБАЙЧАН ССР ƏЛМЛƏР АКАДЕМИЯСЫНЫН

ХƏБƏРЛƏРИ

ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ВƏ КИМЯ ƏЛМЛƏР СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ НАУК

4

1958

АЗƏРБАЙЧАН ССР ƏА НƏШРИЙЯТЫ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
БАКЫ — БАКУ

Г. А. ОРУДЖЕВ

О СХОДИМОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО РЯДА РАЦИОНАЛЬНЫХ ДРОБЕЙ¹

В настоящей работе изучается сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n \frac{\left(1 - \frac{z}{\alpha_1}\right) \left(1 - \frac{z}{\alpha_2}\right) \dots \left(1 - \frac{z}{\alpha_n}\right)}{\left(1 - \frac{z}{\beta_1}\right) \left(1 - \frac{z}{\beta_2}\right) \dots \left(1 - \frac{z}{\beta_n}\right)}, \quad (0.1)$$

где α_n и β_n ($n=1, 2, 3, \dots$) — произвольные комплексные числа, удовлетворяющие условию, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \alpha_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \beta_n = \infty$. Очевидно, ряд (0.1) в слу-

чае $\frac{1}{\beta_1} = 0$ ($i=1, 2, \dots$) превратится в интерполяционный ряд Нью-

тона. Ряд (0.1) в случае $\frac{1}{\alpha_1} = 0$ ($i=1, 2, 3, \dots$) превратится в обобщенный факториальный ряд.

Ряд (0.1) в случае

$$\alpha_k = a + ku, \quad \beta_k = b + kv \quad (k=1, 2, 3, \dots), \quad (0.2)$$

где u и v — различные комплексные числа, был изучен R. Lagrang'ем [3].

В. Л. и М. К. Гончаровы [2] изучали сходимость следующего ряда:

$$C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{(z-a_1)(z-a_2) \dots (z-a_n)}{(1-a_1z)(1-a_2z) \dots (1-a_nz)}, \quad (0.3)$$

причем последовательность $\{a_k\}$ является монотонно возрастающей последовательностью действительных чисел, стремящейся к единице,

и ряд $\sum_{n=1}^{\infty} (1-a_n)$ расходится.

Нетрудно заметить, что ряд (0.3) посредством

$$z = \frac{w+1}{w-1}, \quad \alpha_n = -\frac{1+a_n}{1-a_n}, \quad \beta_n = \frac{1+a_n}{1-a_n}$$

преобразуется к виду (0.1).

¹ Настоящая работа является частью кандидатской диссертации автора, выполненной под руководством проф. И. И. Ибрагимова.

РЕДАКЦИЯ БҒЙ'ӘТИ: З. М. Хəлилов (редактор), Б. Б. Абдуллаев,
Ә. Б. Әлиев, А. Ә. Әфəндизадə, Б. Х. Әфəндиєв, Ю. Б. Мəж-
мəдєлиєв, С. Ч. Мєхдиєв, М. Ф. Нəғиєв (редактор мұавини)

п18959

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Ниргизской ССР

Кроме того, I. L. Walsh [4] изучил сходимость следующего ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{(z-a_1)(z-a_2) \dots (z-a_n)}{\left(z-\frac{1}{a_1}\right)\left(z-\frac{1}{a_2}\right) \dots \left(z-\frac{1}{a_n}\right)}, \quad (0.4)$$

где последовательность комплексных чисел a_n ($n=1, 2, 3, \dots$) удовлетворяет условиям

$$|a_n| \leq |a_{n+1}|, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = a, \quad |a| = 1 \text{ и}$$

ряд $\sum_{n=1}^{\infty} (1-|a_n|)$ расходится.

Заметим, что полагая в ряде (0.4)

$$w = \frac{a}{z-a}, \quad \alpha_k = \frac{a}{a_k-a}, \quad \beta_k = \frac{a}{\frac{1}{a_k}-a},$$

мы получим ряд вида (0.1).

Таким образом, ряды (0.2), (0.3) и (0.4), изученные различными авторами, являются частными случаями нашего ряда (0.1). Поэтому из наших результатов будут следовать соответствующие результаты R. Lagrang'a, Гончаровых и Walsh'a.

Мы будем пользоваться следующими простыми леммами, которые доказаны нами в работе [5].

Лемма 1. Пусть $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$ — последовательность действительных чисел, причем $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \infty$. Тогда ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{x_n} e^{-\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}}$ сходится при любом $\varepsilon > 0$.

Лемма 2. Пусть последовательность комплексных чисел $\{z_n\}$ такова, что $\lim_{n \rightarrow \infty} z_n = \infty$, $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{|z_k|} = \infty$ и пусть последовательность произволь-

ных комплексных чисел $\{\eta_i\}$ сходится к нулю. Тогда $\left| \frac{\sum_{k=1}^n \eta_k}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{|z_k|}} \right| \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$.

§ 1

Прежде всего мы изучим сходимость ряда (0.1) в зависимости от его сходимости в одной точке z_0 при условии, что

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \alpha_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \beta_k = \infty. \quad (1.1)$$

Теорема 1. Пусть ряд (0.1) сходится в какой-нибудь точке z_0 , отличной от α_k , имеем место условие (1.1). Тогда:

а) если ряд $\sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|$ сходится, то ряд (0.1) сходится абсолютно и равномерно в любой конечной области, не содержащей точки β_k ($k=1, 2, 3, \dots$);

б) если ряд $\sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|$ расходится, то ряд (0.1) сходится в области D , не содержащей точки β_k ($k=1, 2, 3, \dots$), определяемой условиями:

$$\left| \arg \left[(z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| < \frac{\pi}{2} \quad (k=n_0, n_0+1, \dots), \quad (1.2)$$

Кроме того, ряд (0.1) сходится равномерно в области $\bar{D}$ (η, R) не содержащей точки z_0 и β_k ($k=1, 2, 3, \dots$), определяемой условиями:

$$1) \left| \arg \left[(z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| \leq \eta < \frac{\pi}{2} \quad (k=n_0, n_0+1, \dots),$$

где $0 \leq \eta < \frac{\pi}{2}$;

$$2) |z| \leq R,$$

где $R > 0$ — любое сколько угодно большое число.

Доказательство. Введем обозначения:

$$A_n(z) = a_n \prod_{k=1}^n \frac{1-\frac{z}{\alpha_k}}{1-\frac{z}{\beta_k}}, \quad c_n(z) = \prod_{k=1}^n \frac{1-\frac{z}{\alpha_k}}{1-\frac{z}{\beta_k}} \cdot \prod_{k=1}^n \frac{1-\frac{z_0}{\beta_k}}{1-\frac{z_0}{\alpha_k}}.$$

По условию теоремы ряд с общим членом $A_n(z_0)$ сходится. Тогда в силу признака Абеля достаточно доказать, что в указанной области ряд с общим членом $|c_n(z) - c_{n-1}(z)|$ сходится.

Имеем:

$$\frac{c_n(z)}{c_{n-1}(z)} = 1 + \frac{(z_0 - z) \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right)}{\left(1 - \frac{z}{\beta_n} \right) \left(1 - \frac{z_0}{\alpha_n} \right)}. \quad (1.13)$$

Отсюда находим:

$$\ln \frac{c_n(z)}{c_{n-1}(z)} = \frac{(z_0 - z) \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right)}{\left(1 - \frac{z}{\beta_n} \right) \left(1 - \frac{z_0}{\alpha_n} \right)} + \frac{(z_0 - z) \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right)}{\left(1 - \frac{z}{\beta_n} \right) \left(1 - \frac{z_0}{\alpha_n} \right)} O \left(\frac{1}{\alpha_n}, \frac{1}{\beta_n} \right) =$$

$$= (z_0 - z) \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right) \left[1 + O \left(\frac{1}{\alpha_n}, \frac{1}{\beta_n} \right) \right].$$

Таким образом, равенство (1.3) примет вид

$$\frac{c_n(z)}{c_{n-1}(z)} = e^{(z_0 - z) \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right) \left[1 + O \left(\frac{1}{\alpha_n}, \frac{1}{\beta_n} \right) \right]}. \quad (1.4)$$

Отсюда следует, что

$$\frac{c_n(z)}{c_{n-1}(z)} \cdot \frac{c_{n-1}(z)}{c_{n-2}(z)} \dots \frac{c_{n_0+1}(z)}{c_{n_0}(z)} =$$

$$= \frac{c_n(z)}{c_{n_0}(z)} = e^{\sum_{k=n_0+1}^n \left\{ (z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \left[1 + O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right\}}. \quad (1.5)$$

Пользуясь равенствами (1.3) и (1.5) находим:

$$c_n(z) - c_{n-1}(z) = c_{n_0}(z) \frac{z_0 - z}{\left(1 - \frac{z}{\beta_n}\right) \left(1 - \frac{z_0}{\alpha_n}\right)} e^{-\sum_{k=n_0+1}^n \left\{ (z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \left[1 + O\left(\frac{1}{\alpha_n} \cdot \frac{1}{\beta_n} \right) \right] \right\}} \quad (1.6)$$

где n_0 — достаточно большое натуральное число.

Если ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right|$ сходится, то

$$\left| e^{-\sum_{k=n_0+1}^n \left\{ (z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \left[1 + O\left(\frac{1}{\alpha_n} \cdot \frac{1}{\beta_n} \right) \right] \right\}} \right| < M_1,$$

где M_1 не зависит от n , а зависит от R .

Кроме того, в любой конечной области, не содержащей точки β_k ($k=1, 2, 3, \dots$), имеем

$$\left| c_{n_0}(z) \frac{z_0 - z}{\left(1 - \frac{z}{\beta_n}\right) \left(1 - \frac{z_0}{\alpha_n}\right)} \right| < M_2.$$

Таким образом, из равенства (1.6) получим

$$|c_n(z) - c_{n-1}(z)| < M_1 M_2 \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| = M_3 \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right|.$$

Последнее неравенство доказывает нашу теорему в случае, когда

$$\text{ряд } \sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| \text{ сходится.}$$

Теперь докажем вторую часть теоремы.

Из равенства (1.6) следует неравенство

$$|c_n(z) - c_{n-1}(z)| < M_2 \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\sum_{k=n_0+1}^n \left\{ \operatorname{Re} \left\{ (z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right\} + \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=n_0+1}^{n-1} \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O\left(\frac{1}{\alpha_k} \cdot \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right\} \right\}} \quad (1.7)$$

Примем в силу условия (1.2) имеем:

$$\operatorname{Re} \left[(z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] = |z-z_0| \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| \cos \left\{ \arg \left[(z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right\} \geq \geq |z-z_0| \cos \eta \cdot \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|.$$

Благодаря этому неравенство (1.7) примет вид:

$$|c_n(z) - c_{n-1}(z)| < M_2 \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-|z-z_0| \cos \eta \sum_{k=n_0+1}^{n-1} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| \cdot (1+\varepsilon_n)} \quad (1.8)$$

где

$$\varepsilon_n = \frac{\operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=n_0+1}^{n-1} \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O\left(\frac{1}{\alpha_k} \cdot \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right\}}{|z-z_0| \cos \eta \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

То, что $\varepsilon_n \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$, следует из леммы 2. Очевидно можно полагать, что $\varepsilon_n > -\frac{1}{2}$ при $n > n_0$. И потому неравенство (1.8) запишется так:

$$|c_n(z) - c_{n-1}(z)| < M_2 \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\frac{1}{2}|z-z_0| \cos \eta \sum_{k=n_0+1}^{n-1} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|}.$$

$$\text{Согласно леммы 2 ряд } \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\frac{1}{2}|z-z_0| \cos \eta \sum_{k=n_0+1}^{n-1} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} \right]$$

сходится в любом $0 \leq \eta < \frac{\pi}{2}$. Тогда ряд с общим членом $|c_n(z) - c_{n-1}(z)|$

сходится равномерно в нашей области $\bar{D}(\eta, R)$. Теорема 1 доказана.

Теорема 2. Пусть ряд (0.1) абсолютно сходится в какой-нибудь точке z_0 , отличной от α_k и имеет место условие (1.1).

Тогда

а) если ряд $\sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|$ сходится, то ряд (0.1) абсолютно и равномерно сходится в любой конечной области, не содержащей точки β_k ($k=1, 2, 3, \dots$);

б) если ряд $\sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|$ расходится, то ряд (0.1) абсолютно сходится в области D , не содержащей точки β_k ($k=1, 2, 3, \dots$), определяемой условиями: (1.2).

Кроме того, ряд (0.1) абсолютно и равномерно сходится в области $\bar{D}(\eta, R)$, не содержащей точки z_0 и β_k ($k=1, 2, 3, \dots$), определяемой условиями (1, 2).

Доказательство теоремы 2 аналогично доказательству теоремы 1 и потому опускается.

Отметим ряд частных случаев.

1. Если $\alpha_k = a + ku$ и $\beta_k = b + kv$, где u и v — различные комплексные числа, то ряд $\sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|$ расходится и теорема 1, 2 верна в области

$\operatorname{Re} \left[\left(\frac{1}{u} - \frac{1}{v} \right) (z-z_0) \right] > 0$. Это утверждение доказано в работе [3, стр. 12].

2. Пусть последовательность действительных чисел удовлетворяют условиям:

$$\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_n \leq \dots, \lim_{n \rightarrow \infty} \alpha_n = 1 \text{ и } \sum_{n=1}^{\infty} (1 - \alpha_n) = \infty \quad (1.9)$$

В этом случае, полагая

$$\alpha_n = -\frac{1+a_n}{1-a_n}, \beta_n = \frac{1+a_n}{1-a_n}, \quad (1.10)$$

мы увидим, что $\lim_{n \rightarrow \infty} |\alpha_n| = \lim_{n \rightarrow \infty} |\beta_n| = \infty$ и ряд $\sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|$ расходится.

Заметим, что если ряд (0.3) сходится в точке z_0 , то ряд (0.1) сходится в точке $w_0 = \frac{1+z_0}{-1+z_0}$.

В этом случае область (D) определяется условием:

$\left| \arg \left[(w - w_0) \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right) \right] \right| = |\arg (w_0 - w)| < \frac{\pi}{2}$ что можно быть записано в виде:

$$\operatorname{Re} w = \operatorname{Re} \left(\frac{z+1}{z-1} \right) < \operatorname{Re} \left(\frac{z_0+1}{z_0-1} \right) = \operatorname{Re} w_0. \quad (1.11)$$

Сходимость ряда (0.3) в области, определяемой неравенством (1.11) при условии (1.9), доказана Гончаровыми (см. [2]).

Подобно этому можно доказать, что теорема Гончаровых об абсолютной сходимости ряда (0.3) следует из нашей теоремы 1.

3. Пусть комплексные числа $a_k (k=1, 2, 3, \dots)$ удовлетворяют условиям, что

$$|a_k| \leq |a_{k+1}|, \lim_{k \rightarrow \infty} a_k = a, |a| = 1, \sum_{k=1}^{\infty} (1 - |a_k|) = \infty \quad (1.12)$$

Тогда, полагая

$$\alpha_k = \frac{a}{a_k - a}, \beta_k = \frac{a}{1 - a_k}, w = \frac{a}{z - a},$$

мы увидим, что условие нашей теоремы I выполняется, из сходимости ряда (0.4) в точке $z_0 (z_0 \neq a_k)$ следует, что соответствующий ряд (0.1) сходится в точке $w_0 = \frac{a}{z_0 - a}$. Благодаря этому ряд (0.4) будет сходиться, в силу теоремы I, в области, определяемой условием

$$\operatorname{Re} \left[\frac{|a_k|^2 - 1}{aa_k} (w - w_0) \right] > 0$$

или

$$\operatorname{Re} \frac{a}{z_0 - a} > \operatorname{Re} \frac{a}{z - a} \quad (1.13)$$

Теорема 3. Если числа α_k и $\beta_k (k=1, 2, 3, \dots)$ удовлетворяют условиям, что

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \alpha_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \beta_k = \infty, \sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| = \infty, \left| \arg \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha} \right| \leq \eta_1 < \frac{\pi}{2}, \quad (1.14)$$

где α — любое число из отрезка $[0, 2\pi]$, то из сходимости ряда (0.1) в точке z_0 , отличной от точки $a_k (k=1, 2, 3, \dots)$, следует его абсолютная сходимость в области, определяемой неравенством

$$\left| \arg \left[(z - z_0 - L e^{i\alpha} \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right)) \right] \right| \leq \eta < \frac{\pi}{2} (k=n_0, n_0+1, \dots), \quad (1.15)$$

где $0 \leq \eta < \frac{\pi}{2}, 0 \leq \eta_1 < \frac{\pi}{2}$ и число L определяется равенством

$$L = \overline{\lim_{n \rightarrow \infty}} \frac{\left[-\ln \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| \right]}{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha}}, \quad (1.16)$$

Доказательство. Заметим, что действительное число α выбирается так, чтобы угол

$$\varphi_k = \arg \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha}$$

оказался в правой полуплоскости. Не уменьшая общности, можно полагать, что $\alpha = 0$.

Очевидно, полагая

$$B_k(z) = \prod_{k=1}^n \frac{1 - \frac{z}{\alpha_k}}{1 - \frac{z}{\beta_k}},$$

имеем

$$\frac{B_n(z)}{B_{n-1}(z)} = e^{-z \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right) + \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_n}, \frac{1}{\beta_n} \right)}, \quad (1.17)$$

где $O \left(\frac{1}{\alpha_n}, \frac{1}{\beta_n} \right) \rightarrow 0$ при $\frac{1}{\alpha_n} \rightarrow 0, \frac{1}{\beta_n} \rightarrow 0$.

Из неравенства (1.17) находим:

$$B_n(z) = B_{n_0}(z) e^{-z \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) + \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}. \quad (1.18)$$

По условию теоремы, ряд с общим членом $a_n B_n(z_0)$ сходится поэтому

$$|a_n B_n(z_0)| \leq M_1 (n=1, 2, 3, \dots), \quad (1.19)$$

где M_1 не зависит от n .

В равенстве (1.18), полагая $z = z_0 + L + 3\varepsilon$ и умножая обе части на a_n , находим:

$$|a_n B_n(z_0 + L + 3\varepsilon)| = |a_n B_n(z_0)| \times \\ \times \left| \frac{B_{n_0}(z_0 + L + 3\varepsilon)}{B_{n_0}(z_0)} \right| \cdot e^{-(L+3\varepsilon) \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right)} \cdot e^{\sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}.$$

Заметим, что второй множитель в правой части — постоянная $\leq M_2$, где $M_2 > 0$ не зависит от n .

Полагая $M_1 M_2 = M$, получим:

$$|a_n B_n(z_0 + L + 3\varepsilon)| \leq \\ \leq M e^{-(L+3\varepsilon) \sum_{k=n_0+1}^n \left\{ \cos \left[\arg \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \cdot \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| \right\} + \operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}. \quad (1.20)$$

Из равенства (1.16) следует неравенство:

$$\left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| < \left| \exp \left[(L + \varepsilon) \sum_{k=n_0+1}^n \left\{ \cos \left[\arg \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \cdot \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| \right\} \right] \right|.$$

Благодаря этому неравенство (1.20) примет вид

$$|a_n B_n(z_0 + L + 3\varepsilon)| \leq M \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\varepsilon \cos \eta_1 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} \cdot e^{-\varepsilon(1+\varepsilon n) \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| \cos \eta_1}, \quad (1.21)$$

причем на основании леммы 2,

$$\varepsilon_n = \frac{\operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \circ \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}{\varepsilon \cos \eta_1 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} \rightarrow 0 \text{ при } \frac{1}{\alpha_n} \rightarrow 0, \frac{1}{\beta_n} \rightarrow 0.$$

Очевидно, имеет место неравенство

$$e^{-\varepsilon(1+\varepsilon n) \cos \eta_1 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} < 1$$

при $n > N_1$, где N_1 — достаточно большое число.

Таким образом имеем:

$$|a_n B_n(z_0 + L + 3\varepsilon)| < M^* \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\varepsilon \cos \eta_1 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|}. \quad (1.21')$$

Согласно лемме 1 ряд с общим членом

$$\left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\varepsilon \cos \eta_1 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|}$$

сходится, и потому для любого $\varepsilon > 0$ сходится ряд с общим членом $a_n B_n(z_0 + L + 3\varepsilon)$.

Благодаря теореме 2, ряд (0.1) сходится абсолютно в области

$$D: \left| \arg \left[(z - z_0 - L - 3\varepsilon) \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| \leq \eta < \frac{\pi}{2},$$

где $\varepsilon > 0$ — любое число. Отсюда, при $\varepsilon = 0$, следует, что ряд (0.1) сходится в области (1.15), указанной теореме 3.

Теорема 4. Если комплексные числа последовательностей $\{\alpha_k\}$ и $\{\beta_k\}$ удовлетворяют условиям, что

$$\left. \begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} \alpha_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \beta_k = \infty, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| = \infty \\ \text{и } \left| \arg \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha} \right| \leq \eta_1 < \frac{\pi}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (1.22)$$

то ряд (0.1) сходится абсолютно внутри области (D) определяемой условием:

$$\left| \arg \left[(z - L e^{i\alpha}) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| \leq \eta < \frac{\pi}{2} \quad (k = n_0, n_0 + 1, \dots), \quad (*)$$

где

$$L = \frac{\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \ln \left(\left| a_n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right)^{-1} \right| \right)}{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha}}, \quad (1.23)$$

η_1 и η — любые числа из интервала $[0, 2\pi)$.

Доказательство. Согласно равенству (1.18)

$$B_n(z) = B_{n_0}(z) e^{-z \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) + \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \circ \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}$$

и потому имеем:

$$|a_n B_n(z)| = |a_n B_{n_0}(z)| \cdot e^{-z \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) + \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \circ \left[\left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}$$

Очевидно, при фиксированном n_0 , существует число M , не зависящее от n , такое, что

$$|B_{n_0}(z)| \leq M.$$

Потому

$$|a_n B_n(z)| \leq M \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| a_n \left| \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right)^{-1} \right| e^{-z \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) + \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \circ \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right)}. \quad (1.24)$$

Из равенства (1.23) следует неравенство

$$\left| a_n \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right)^{-1} \right| \leq e^{(L + \varepsilon) \operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha}}$$

Благодаря этому неравенство (1.24) примет вид:

$$|a_n B_n(z)| \leq M \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\frac{1}{\beta_n} e^{-\operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \{ [z - (L + \varepsilon) e^{i\alpha}] + \operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \circ \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right]} \quad (1.25)$$

В силу условия (*) при достаточно малом $\varepsilon > 0$ существует η_2 такое, что

$$\eta \leq \eta_2 < \frac{\pi}{2} \text{ и выполняется неравенство}$$

$$\left| \arg \left\{ [z - (L + \varepsilon) e^{i\alpha}] \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right\} \right| \leq \eta_2 < \frac{\pi}{2} \quad (k = n_0, n_0 + 1, \dots) \quad (1.26)$$

где n_0 — достаточно большое фиксированное натуральное число.

Из неравенств (1.25) и (1.26) следует неравенство:

$$|a_n B_n(z)| \leq M \cdot \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-|z-(L+\varepsilon)e^{i\alpha}| \cos \eta_2} \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|^{(1+\varepsilon_n)} \quad (1.27)$$

Причем, на основании леммы 2,

$$\varepsilon_n = \frac{\operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}{|z-(L+\varepsilon)e^{i\alpha}| \cos \eta_2 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Очевидно, при достаточно большом n , можно полагать, что $\varepsilon > -\frac{1}{2}$

и при тех же n имеет место неравенство

$$|a_n B_n(z)| \leq M \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\frac{1}{2}|z-(L+\varepsilon)e^{i\alpha}| \cos \eta_2} \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|. \quad (1.28)$$

Заметим, что на основании леммы 1, ряд с общим членом

$$\left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| e^{-\delta \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} \text{ сходится, где } \delta = \frac{1}{2}|z-(L+\varepsilon)e^{i\alpha}| > 0.$$

Итак, из неравенства (1.28) следует абсолютная сходимость ряда с общим членом $a_n B_n(z)$. Теорема 4 доказана.

Теорема 5. Если комплексные числа последовательностей $\{\alpha_k\}$ и $\{\beta_k\}$ удовлетворяют условиям (1.22) теоремы 4, то ряд (0.1) не может сходиться абсолютно вне области

$$D: \left(\arg \left[(z - I e^{i\alpha}) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \leq \frac{\pi}{2} \right) (k=n_0, n_0+1, \dots), \quad (1.29)$$

где число I определяется равенством

$$I = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln |a_n b_n^{-1}|}{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha}}, \quad (1.30)$$

причем числа $b_n (n=1, 2, 3, \dots)$ произвольные, такие, что ряд $\sum_{k=1}^{\infty} |b_n|$ расходится.

Доказательство. Возьмем вне области (D) произвольную точку z_1 , отличную от точки $\alpha_k, \beta_k (k=1, 2, 3, \dots)$ тогда, в силу (1.29), можно найти число $\eta > 0$ такое, что

$$\arg \left[(z_1 - I e^{i\alpha}) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \geq \eta > \frac{\pi}{2}.$$

Подобно тому, как это было сделано при доказательстве предыдущей теоремы, общий член ряда (0.1) представим в виде

$$|a_n B_n(z_1)| = |B_{n_0}(z_1)| \cdot |b_1| \left| \frac{a_n}{b_n} \right| e^{-z \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) + \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}, \quad (1.31)$$

где $b_n (n=1, 2, 3, \dots)$ — произвольное комплексное число, такое, что ряд $\sum_{n=1}^{\infty} |b_n|$ расходится.

Из равенства (1.30) следует, что

$$\left| \frac{a_n}{b_n} \right| > e^{(1-\varepsilon) \operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha}},$$

и потому неравенство (1.34) примет вид

$$|a_n B_n(z_1)| > |B_{n_0}(z_1)| |b_n| e^{-\operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left\{ [z_1 - (I - \varepsilon)e^{i\alpha}] \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right\} + \operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}, \quad (1.32)$$

Очевидно имеем:

$$\operatorname{Re} \left\{ [z_1 - (I - \varepsilon)e^{i\alpha}] \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right\} = |z_1 - (I - \varepsilon)e^{i\alpha}| \cdot \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| \cos \varphi_k,$$

где $\varphi_k = \arg \left\{ [z_1 - (I - \varepsilon)e^{i\alpha}] \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right\}$ и при достаточно малом $\varepsilon > 0$ удовлетворяет условию

$$|\varphi_k| \geq \eta_2 > \frac{\pi}{2} \left(\eta \geq \eta_2 > \frac{\pi}{2} \right).$$

Имея в виду, что $\cos \varphi_k \leq \cos \eta_2$, из неравенства (1.32) получим

$$|a_n B_n(z_1)| > |B_{n_0}(z_1)| |b_n| e^{-\delta \cos \eta_2 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|^{(1+\varepsilon_n)}},$$

где $\delta = |z_1 - (I - \varepsilon)e^{i\alpha}| > 0$, $\cos \eta_2 < 0$ и, в силу леммы 2,

$$\varepsilon_n = \frac{\operatorname{Re} \sum_{k=n_0+1}^n \left[\left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) O \left(\frac{1}{\alpha_k}, \frac{1}{\beta_k} \right) \right]}{\delta \cos \eta_2 \sum_{k=n_0+1}^n \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

По предположению ряд с общим членом $|b_n|$ расходится, потому расходится и ряд с общим членом $|a_n B_n(z_1)|$.

В силу произвольности z_1 , теорема 5 верна везде вне области (D) .

Теорема 6. Если комплексные числа последовательностей $\{\alpha_k\}$ и $\{\beta_k\}$ удовлетворяют условиям (1.22) теоремы 4

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left(\ln \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|^{-1} \right)}{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha}} = 0$$

то ряд (0.1) не может сходиться вне области (D) , определяемой условием

$$\left| \arg \left[(z - I e^{i\alpha}) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| \leq \frac{\pi}{2} (k=n_0, n_0+1, \dots),$$

где число I определяется равенством

$$I = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln |a_n|}{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{i\alpha_k}}.$$

Доказательство аналогично доказательству предыдущей теоремы, поэтому мы его опускаем.

Отметим, что в случае $\frac{1}{\alpha_n} = 0$ ряд (0.1) примет вид

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n \prod_{k=1}^n \left(1 - \frac{z}{\beta_k} \right),$$

который называется обобщенным факториальным рядом.

Наконец, в случае $\frac{1}{\beta_k} = 0$ ($k=1, 2, 3, \dots$) ряд (0.1) превратится в ряд Ньютона (биномиальный ряд)

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n \prod_{k=1}^n \left(1 - \frac{z}{\alpha_k} \right).$$

Поэтому вышеизложенные факты остаются верными и для этих рядов (см. [1], стр. 159–197).

§ 2. О свойствах функций, представимых в виде ряда Ньютона

I. В этом параграфе мы изучаем свойства функций, представимых в виде ряда Ньютона с вещественными узлами $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$, в предположении, что

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n \leq \dots, \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \infty, \text{ и } \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{x_k} = \infty. \quad (2.1)$$

К этому случаю сводится также случай, когда узлы интерполяции расположены вдоль произвольного луча. В самом деле, если узлы интерполяции $z_1, z_2, \dots, z_n, \dots$ расположены на луче $\arg z = \alpha$, то можно положить, что $z_j = x_j e^{i\alpha}$ ($j=1, 2, \dots$) и x_j ($j=1, 2, 3, \dots$) удовлетворяют условиям (2.1).

Заметим, что если σ_c — абсцисса сходимости ряда Ньютона с узлами x_j ($j=1, 2, 3, \dots$), то область сходимости соответствующего ряда с узлами z_j ($j=1, 2, 3, \dots$) будет полуплоскость $\operatorname{Re} z e^{i\alpha} > \sigma_c$.

Теорема 7. Если функция $f(z)$ представляется в виде ряда Ньютона, с узлами x_j ($j=1, 2, 3, \dots$), удовлетворяющими условиям (2.1) и имеющим абсциссу сходимости σ_c , то имеет место неравенство

$$\ln |f(re^{i\alpha})| - \ln r - \operatorname{Re} \int_0^t \left(\frac{\sigma + \varepsilon}{t} + i \ln \frac{z-t}{t} \right) dn(t) < C, \quad (2.2)$$

где $\varepsilon > 0$, $t_1 = \frac{r}{2 \cos \theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right) \right)$ и $C = C(\sigma, \varepsilon)$ не зависит от r , причем $n(r)$ есть число точек x_j ($j=1, 2, 3, \dots, n$), расположенных на отрезке $(0, r]$, $\sigma = \begin{cases} \sigma_c, & \text{если } \sigma_c \text{ конечное число} \\ -\mu, & \text{если } \sigma_c = -\infty (\mu > 0 \text{ любое конечное число}). \end{cases}$

Доказательство. Пользуясь преобразованием Абеля, ряд Ньютона

$$f(z) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k (z-x_1)(z-x_2) \dots (z-x_k) \quad (H)$$

можно представить в виде

$$\begin{aligned} f(z) &= \sum_{n=1}^{\infty} a_n (z-x_1)(z-x_2) \dots (z-x_n) = \\ &= -A_1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n (-1)^n \frac{z(z-x_1) \dots (z-x_{n-1})}{x_1 x_2 \dots x_n}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где $A_1 = 0$ и $A_n = \sum_{k=1}^{n-1} (-1)^k a_k x_1 x_2 \dots x_k$, если ряд $\sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k a_k x_1 x_2 \dots x_k$

расходится, но $A_1 = -f(0)$ и $A_n = -\sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k a_k x_1 x_2 \dots x_k$, если тот же ряд сходится.

Известно, что абсцисса сходимости σ_c ряда (H) определяется формулой (см. в [5] формулы (17) и (18))

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln |A_n|}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}} = \sigma_c.$$

Из этой формулы следует, что

$$\frac{\ln |A_n|}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}} < \sigma + \varepsilon. \quad (2.4)$$

при $n > N(\varepsilon)$.

Отсюда, при всех значениях n , находим

$$|A_n| < C_1 e^{(\sigma + \varepsilon) S_n - 1}, \quad (2.5)$$

где

$$S_n = \sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}, \text{ и } \sigma = \begin{cases} \sigma_c, & \text{если } \sigma_c \text{ конечное число} \\ -\mu, & \text{если } \sigma_c = -\infty (\mu > 0 \text{ любое конечное число}) \end{cases}$$

В силу неравенства (2.5) из равенства (2.3) получим

$$|f(z)| \leq |A_1| + \sum_{k=1}^n |A_n| \left| \frac{z(z-x_1) \dots (z-x_{n-1})}{x_1 x_2 \dots x_n} \right| \leq$$

$$\leq |A_1| + C_1 \sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{1}{x_n} e^{-\varepsilon S_{n-1}} \left| e^{S_{n-1}(\sigma+2\varepsilon)} \frac{z(z-x_1) \dots (z-x_{n-1})}{x_1 x_2 \dots x_{n-1}} \right| \right| \leq$$

$$\leq |A_1| + C_1 \max_{1 \leq n < \infty} \left| e^{(\sigma+2\varepsilon) S_{n-1}} \frac{z(z-x_1) \dots (z-x_{n-1})}{x_1 x_2 \dots x_{n-1}} \right| \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{x_n} e^{-\varepsilon S_{n-1}}$$

В силу леммы 1 ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{x_n} e^{-\varepsilon S_n}$ сходится, и потому имеем

$$|f(z)| \leq C_2 \max_{1 \leq h < \infty} \left| e^{(\sigma+2\varepsilon) S_{h-1}} \frac{z(z-x_1) \dots (z-x_{h-1})}{x_1 x_2 \dots x_{h-1}} \right|, \quad (2.6)$$

где C_2 не зависит от z и n , а $\varepsilon > 0$ — произвольное малое число. Заметим, что

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k} = \int_0^{x_n} \frac{dn(t)}{t}, \quad \sum_{k=1}^n \ln x_k = \int_0^{x_n} \ln t dn(t), \quad \sum_{k=1}^n \ln(z-x_k) =$$

$$= \int_0^{x_n} \ln(z-t) dn(t),$$

где $n(t) = \sum_{x_k \leq t} 1$.

Правую часть (2.6) можно представить в виде

$$I = \max_{1 \leq n < \infty} \left| e^{(\sigma+2\varepsilon) S_{n-1}} \frac{z(z-x_1) \dots (z-x_{n-1})}{x_1 x_2 \dots x_{n-1}} \right| =$$

$$= \max_{1 \leq n < \infty} \left| \exp \left[(\sigma+2\varepsilon) \int_0^{x_n} \frac{dn(t)}{t} + \int_0^{x_n} \ln \frac{z-t}{t} dn(t) \right] \right| =$$

$$= \max_{1 \leq n < \infty} e^{\operatorname{Re} \left\{ \int_0^{x_n} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{z-t}{t} \right) dn(t) \right\}}$$

$$= \max_{1 \leq n < \infty} e^{\int_0^{x_n} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{z-t}{t} \right) dn(t)} \quad (2.7)$$

Заметим, что интеграл $\int_0^{x_n} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{z-t}{t} \right) dn(t)$ имеет отрицатель-

ное значение при тех значениях t , для которых выполняется неравенство

$$\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{|z-t|}{t} \leq 0, \text{ или } \ln \frac{|z-t|}{t} \leq -\frac{\sigma+2\varepsilon}{t}.$$

Отсюда следует, что

$$|z-t|^2 \leq t^2 \left[1 - \frac{2(\sigma+2\varepsilon)}{t} + \frac{2(\sigma+2\varepsilon)^2}{t^2} + O\left(\frac{1}{t^3}\right) \right].$$

Положим, что $z = re^{i\theta}$. Тогда последнее неравенство примет вид

$$r^2 + t^2 - 2rt \cos \theta \leq t^2 - 2t(\sigma+2\varepsilon) + 2(\sigma+2\varepsilon)^2 + O\left(\frac{1}{t}\right)$$

$$t \geq \frac{r^2 - 2(\sigma+2\varepsilon)t + O\left(\frac{1}{r}\right)}{2r \cos \theta - 2(\sigma+2\varepsilon)} = \frac{r}{2 \cos \theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right) \right)$$

Итак, мы показали, что при $t \geq t_1$,

где

$$t_1 = \frac{r}{2 \cos \theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right) \right), \quad (2.8)$$

рассматриваемый интеграл имеет отрицательное значение, а при $t > t_1$ имеет положительное значение.

Очевидно, если в правой части равенства (2.7) заменим x_n через t_1 , то получим неравенство

$$I \leq e^{\int_0^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{|z-t|}{t} \right) dn(t)} \quad (2.9)$$

Благодаря этому из равенства (2.6) при достаточно большом $r > r_0$ получим:

$$|f(re^{i\theta})| \leq C r e^{\operatorname{Re} \int_0^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{z-t}{t} \right) dn(t)}, \quad (2.10)$$

где t_1 определяется равенством (2.8), и множитель C — не зависит от r . Теорема доказана.

Изменим вид правой части (2.10). Очевидно, путем интегрирования по частям, получим

$$\operatorname{Re} \int_0^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{z-t}{t} \right) dn(t) = \operatorname{Re} \left[\left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \ln \frac{z-t}{t} \right) n(t) \right]_0^{t_1} +$$

$$+ \operatorname{Re} \int_0^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} + \frac{z}{t(z-t)} \right) n(t) dt =$$

$$= \operatorname{Re} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t_1} + \ln \frac{z-t_1}{t_1} \right) n(t_1) = \operatorname{Re} \int_0^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} + \frac{z}{t(z-t)} \right) n(t) dt. \quad (2.11)$$

Из равенства (2.8) следует, что

$$z - t_1 - r e^{i\theta} = \frac{r}{2 \cos \theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right) \right) = \frac{r e^{2i\theta}}{2 \cos \theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right) \right).$$

Подставляя значения $\ln |z-t_1|$, $\ln t_1$, и принимая во внимание, что

$$\operatorname{Re} \ln \frac{z-t_1}{t_1} = \ln \frac{r}{2\cos\theta} + \ln \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right) - \ln \frac{r}{2\cos\theta} + \\ + \ln \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right) = O\left(\frac{1}{r}\right)$$

и

$$\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} = \frac{\sigma+2\varepsilon}{\frac{r}{2\cos\theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right)} = \frac{2\cos\theta}{r} (\sigma+2\varepsilon) \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right),$$

получим неравенство:

$$|f(re^{i\theta})| \leq C r e^{\left[\frac{2\cos\theta}{r} (\sigma+2\varepsilon) \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right) n(t_1)\right]} \cdot e^{\operatorname{Re} \int_0^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} + \frac{z}{t(z-t)}\right) n(t) dt} \quad (2.10')$$

где

$$t_1 = \frac{r}{2\cos\theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right).$$

В частности, если $x_k = x_1 + (k-1)h$, то

$$n(t) = 1 + \left[\frac{t-x_1}{h}\right] = 1 + \frac{t}{h} - \frac{x_1}{h} - \left\{\frac{t-x_1}{h}\right\}$$

и

$$\frac{2\cos\theta \cdot (\sigma+2\varepsilon)}{r} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right) n(t_1) = O\left(\frac{1}{r}\right) n\left[\frac{r}{2\cos\theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right)\right] = O(1).$$

Поэтому при $x_k = x_1 + (k-1)h$ неравенство (2.2) или, что то же самое, (2.10') можно записать в виде:

$$|f(re^{i\theta})| < C_3 r e^{\int_0^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} + \frac{z}{t(z+t)}\right) n(t) dt} \quad (2.12)$$

$$\operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \frac{z}{t(z-t)}\right) \left(1 - \frac{x_1}{h} + \frac{t}{h} - \left\{\frac{t-x_1}{h}\right\}\right) dt =$$

$$= \left(1 - \frac{x_1}{h}\right) \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} + \frac{z}{t(z-t)}\right) dt +$$

$$+ \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \frac{1}{h} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \frac{z}{z-t}\right) dt - \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} + \frac{z}{t(z-t)}\right) \left\{\frac{t-x_1}{h}\right\} dt =$$

$$= \left(1 - \frac{x_1}{h}\right) \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \left(1 + \left\{\frac{t-x_1}{h}\right\}\right) \frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} dt + \left(1 - \frac{x_1}{h} - \frac{1}{2}\right) \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \frac{z}{t(z-t)} dt -$$

$$- \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \frac{z}{t(z-t)} \left(\left\{\frac{t-x_1}{h}\right\} - \frac{1}{2}\right) dt + \operatorname{Re} \frac{1}{h} \int_{x_1}^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \frac{z}{z-t}\right) dt. \quad (2.13)$$

Легко видеть, что

$$\left(1 - \frac{x_1}{h}\right) \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \left(1 + \left\{\frac{t-x_1}{h}\right\}\right) dt = O(1),$$

$$\left(\frac{1}{2} - \frac{x_1}{h}\right) \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \frac{z}{t(z-t)} dt = \left(\frac{1}{2} - \frac{x_1}{h}\right) \operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{z-t}\right) dt = \\ = \left(\frac{1}{2} - \frac{x_1}{h}\right) \operatorname{Re} \left(\ln \frac{t_1}{z-t_1} + \ln \frac{1-x_1}{x_1} + \ln z\right) = \left(\frac{1}{2} - \frac{x_1}{h}\right) \ln r + O(1),$$

$$\operatorname{Re} \frac{1}{h} \int_{x_1}^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t} + \frac{z}{z-t}\right) dt = \frac{\sigma+2\varepsilon}{t} \ln t_1 + \frac{1}{h} \operatorname{Re} [z \ln z - z \ln (z-t_1)] - \\ - \frac{\sigma+2\varepsilon}{h} \ln x_1 + \frac{1}{h} \operatorname{Re} z \ln \left(1 - \frac{x_1}{z}\right) = \frac{\sigma+2\varepsilon}{h} \ln r + \frac{1}{h} \operatorname{Re} [re^{i\theta} \ln re^{i\theta} - \\ - re^{i\theta} \ln \frac{re^{2i\theta}}{2\cos\theta} \left(1 + O\left(\frac{1}{r}\right)\right) + O(1)] = \frac{\sigma+2\varepsilon}{h} \ln r + \\ + \frac{r}{h} (\cos\theta \ln 2 \cos\theta + \theta \sin\theta) + O(1).$$

Подставляя полученное значение в (2.13), будем иметь

$$\operatorname{Re} \int_{x_1}^{t_1} \left(\frac{\sigma+2\varepsilon}{t^2} + \frac{z}{t(z-t)}\right) \left(1 - \frac{x_1}{h} + \frac{t}{h} - \left\{\frac{t-x_1}{h}\right\}\right) dt = \\ = \left(\frac{1}{2} - \frac{x_1}{h} + \frac{\sigma+2\varepsilon}{h}\right) \ln r + \frac{r}{h} (\cos\theta \ln 2 \cos\theta + \theta \sin\theta) + O(1).$$

Благодаря этому из неравенства (2.12) находим:

$$|f(re^{i\theta})| \leq C_3 e^{\frac{r}{h} \ln(\theta)} \cdot r^{\frac{3}{2} + \frac{\sigma+2\varepsilon-x_1}{h}},$$

где C_3 , не зависит от r , но зависит от σ . При $h=1$, $x_1=1$ получается известный результат Carlson'a (см. [1] стр. 176).

II. Займемся теперь нахождением условия разложимости аналитической функции в ряд Ньютона. Имеет место утверждение:

Теорема 8. Если $f(z)$ регулярна в полуплоскости $\operatorname{Re} z > \alpha$, непрерывна на прямой $\operatorname{Re} z = \alpha$ и в этой полуплоскости удовлетворяет неравенству

$$\ln |f(re^{i\theta} + \alpha)| - \ln r - \operatorname{Re} \int_0^{\frac{r}{2\cos\theta}} \left(\frac{\beta}{t} + \ln \frac{\xi + \alpha - t}{t}\right) dn(t) < C, \quad (2.14)$$

где $n(t)$ есть функция плотности последовательности $\{x_k\}$, удовлетворяющая условиям (2.1), $|\theta| < \frac{\pi}{2}$, тогда $f(z)$ можно разложить

в ряд $f(z) = \sum_{k=1}^{\infty} [f; x_1, x_2, \dots, x_n] (z-x_1)(z-x_2) \dots (z-x_n)$, абсцисса сходимости которого не может превысит наименьшее из чисел α и $\beta + \mu$,

$$\mu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln x_n}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}}. \quad (2.15)$$

Доказательство. Известно, что остаточный член ряда Ньютона имеет вид:

$$R_n(z) = f(z) - P_n(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{C_n} \prod_{k=1}^n \frac{z-x_k}{\xi-x_k} \frac{f(\xi)}{\xi-z} d\xi.$$

Здесь контур C_n должен содержать точки z и x_k ($k=1, 2, \dots, n$), и должен целиком лежать в области регулярности $f(z)$. Функция $f(z)$ по условию теоремы регулярна в полуплоскости $\operatorname{Re} z > \alpha$. Поэтому, заменяя ξ через $\xi + \alpha$, можно принять за контур интегрирования C_n окружность с центром в точке x_n и радиусом x_n , так как при достаточно большом n эта окружность будет охватывать точки $z, x_k, x_{k+1}, \dots, x_n$, где x_k — самая ближайшая точка справа к α из точек $\{x_n\}$.

$$R_n(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{C'_n} \prod_{k=1}^n \frac{z-x_k}{\xi+\alpha-x_k} \frac{f(\xi)}{\xi+\alpha-z} d\xi,$$

где C'_n определяется уравнением $|\xi - x_n| = x_n$.

Полагая $\xi = r e^{i\theta}$, получим

$$r = 2x \cos \theta, \quad \xi = 2x_n \cos \theta e^{i\theta}.$$

Для остаточного члена имеет место оценка:

$$|R_n(z)| \leq \frac{1}{2\pi} \int_{C'_n} \prod_{k=1}^n \frac{z-x_k}{\xi+\alpha-x_k} \left| \frac{f(\xi)}{\xi+\alpha-z} \right| |d\xi|. \quad (2.16)$$

Так что условия (2.14) следует

$$\begin{aligned} |f(2x_n \cos \theta e^{i\theta} + \alpha)| &\leq C 2x_n \cos \theta \left| e^{\operatorname{Re} \int_0^{x_n} \left(\frac{\beta}{t} + \ln \frac{\xi+\alpha-t}{t} \right) dn(t)} \right| = \\ &= C \left| \xi e^{\sum_{k=1}^n \frac{\beta}{x_k}} \cdot \prod_{k=1}^n \frac{\xi+\alpha-x_k}{x_k} \right|. \end{aligned}$$

Благодаря этому неравенство (2.16) примет вид;

$$|R_n(z)| \leq \frac{C}{2\pi} \int_{C'_n} \prod_{k=1}^n \frac{z-x_k}{\xi+\alpha-x_k} \left| \xi e^{\sum_{k=1}^n \frac{\beta}{x_k}} \cdot \prod_{k=1}^n \frac{\xi+\alpha-x_k}{x_k} \right| \frac{|d\xi|}{|\xi+\alpha-z|} =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{C}{2\pi} \int_{C'_n} \left| \prod_{k=1}^n \left(1 - \frac{z}{x_k} \right) \right| 2 \cos x_n e^{\sum_{k=1}^n \frac{\beta}{x_k}} \frac{|d\xi|}{|\xi+\alpha-z|} = \\ &= \frac{C}{\pi} e^{\left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k} \right)} \left(\beta - \sigma + \frac{\ln x_k}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}} + \frac{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \frac{\eta_k z}{x_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}} \right) \cdot \int_{C'_n} \frac{\cos \theta |d\xi|}{|\xi+\alpha-z|}. \end{aligned}$$

$$\text{На основании леммы 2, } \frac{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \frac{\eta_k z}{x_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_k}} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

В силу условия (2.15) и условия $\mu + \beta - \sigma < 0$, где $\operatorname{Re} z = \sigma$, заключаем, что первый множитель стремится к нулю, а интеграл ограничен.

Поэтому $R_n(z) \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельфанд А. О. Исчисление конечных разностей. М.—Л., 1952.
2. Гончаровы В. Л. и М. К. Об одном процессе интерполирования с помощью дробнорациональных функций. Уч. зап. МГУ, 1944, 73.
3. Lagrange R. Mémoires sur les séries d'interpolation. Acta mathematica, vol. 64, 1935.
4. Walsh J. L. Interpolation and approximation functions analitic interior to the American Mathematical Society, 34, 1932.
5. Оруджев Г. А. Об абсциссе сходимости интерполяционного ряда Ньютона. Труды АПИ им. В. И. Ленина, Баку, 1958.

Г. А. Оручов

Рационал кэсирли интерполясия сырасынын йығылмасы һаггында

ХҮЛАСӘ

Мәгаләдә,

$$\lim \alpha_n = \lim \beta_n = \infty \quad (1)$$

шәртини өдәйән ихтияры α_n вә β_n ($n=1, 2, 3, \dots$) комплекс әдәд-ләринә уйғун

$$\sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \frac{\left(1 - \frac{z}{\alpha_1}\right) \left(1 - \frac{z}{\alpha_2}\right) \dots \left(1 - \frac{z}{\alpha_n}\right)}{\left(1 - \frac{z}{\beta_1}\right) \left(1 - \frac{z}{\beta_2}\right) \dots \left(1 - \frac{z}{\beta_n}\right)} \quad (2)$$

сырасынын йығылма областы тәдгиг әдилир. Һәмин сыра $\{\alpha_n\}$ вә $\{\beta_n\}$ ардычылыгларынын хусуси һалларында Лагранж, В. Л. вә М. К. Гончаровлар, Уолш вә башга мұәллифләр тәрәфиндән өйрәнилмиш-дир. Бурада хусуси һалларда мәлум олан фактлар үмүмиләшдирил-миш вә бир нечә ени теоремләр верилмишдир.

Теорем. Фэрз эдэк (2) сырасы α_n ($n=1, 2, \dots$) нөгтэләриндән фэргли ҳәр һансы z_0 нөгтәсиндә йығылыр. Бу һалда:

а) $\sum_{k=1}^n \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right|$ йығылан олдуғда (2) сырасы β_k ($k=1, 2, 3, \dots$) нөг-

тәләринин өзүндә сахламаян ихтияри мәһдуд областда мүтләг вә мүн-тәзәм йығыландыр.

б) $\sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right|$ дағылан олдуғда (2) сырасы β_k ($k=1, 2, 3, \dots$) нөг-

тәләрини өзүндә сахламаян вә

$$\left| \arg \left[(z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| < \frac{\pi}{2} \quad (k=n_0, n_0+1, \dots)$$

бәрабәрсизлийи илә тә'йин олуған D областында йығыландыр. Бундан башға (2) сырасы z_0 вә β_k ($k=1, 2, \dots$) нөгтәләрини өзүндә сахламаян

$$1) \left| \arg \left[(z-z_0) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| \leq \eta < \frac{\pi}{2} \quad (k=n_0, n_0+1, \dots)$$

$$2) |z| \leq R \quad (R \text{ ихтияри сонлу эдәддир}).$$

Бәрабәрсизликләри илә тә'йин олуған $\overline{D}(\eta, R)$ областында мүнтәзәм йығыландыр.

Теорем: Фэрз эдэк ки, α_k вә β_k ($k=1, 2, 3$) эдәдләри

$$\lim \alpha_k = \lim \beta_k = \infty, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \left| \frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right| = \infty,$$

$$\left| \arg \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{iz} \right| \leq \eta_1 < \frac{\pi}{2} \quad (k=n_0, n_0+1, \dots)$$

$$\left(\text{бурада } 0 \leq \alpha \leq 2\pi, 0 \leq \eta_1 < \frac{\pi}{2} \right)$$

шәртләрини өдәйир. Бу һалда (2) сырасы α_k ($k=1, 2, \dots$) нөгтәләриндән фэргли z_0 нөгтәсиндә йығылырса, онда һәмин сыра β_k ($k=1, 2, 3, \dots$) нөгтәләрини өзүндә сахламаян вә

$$\left| \arg \left[(z-z_0-Le^{i\theta}) \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) \right] \right| \leq \eta < \frac{\pi}{2} \quad (k=n_0, n_0+1, \dots)$$

бәрабәрсизлийи илә тә'йин олуған областда мүтләг йығыландыр. Бурада L эдәди

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left[-\ln \left| \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\beta_n} \right| \right]}{\operatorname{Re} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{\alpha_k} - \frac{1}{\beta_k} \right) e^{iz}}$$

бәрабәрлийи илә тә'йин эдиляр.

Г. М. АЛИЕВ, Г. Б. АБДУЛЛАЕВ

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ХЛОРА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕЛЕНА

В современной физике и технике полупроводников умение управлять физическими свойствами селена имеет большое значение. Несмотря на то, что физическим свойствам селена посвящены сотни работ, тем не менее влияние различных примесей на электрические, тепловые и оптические свойства его исследовано недостаточно.

Например, сведений о влиянии примесей на теплопроводность и оптические свойства селена в литературе незначительно. Однако подобные исследования имеют большое значение. Влияние примеси йода и брома на физические свойства селена изучено в работах [2, 5].

Физические свойства селена зависят от количества и качества введенных примесей. Галоидные примеси очень сильно увеличивают электропроводность в нем. Поэтому в технологии селеновых выпрямителей, с целью уменьшения сопротивления в пропускном направлении, в полупроводник вводят примеси галоидов. Это ведет к уменьшению падения напряжения и прямом направлении при номинальном токе, следовательно, к увеличению КПД выпрямителя. Наличие примесей в селене существенным образом определяет и температурный коэффициент сопротивления как в прямом, так и в обратном направлениях, эффективность электроформовки, стабильность параметров, чувствительность к влаге и т. д.

Исследования показывают, что отформированные селеновые выпрямители при длительном бездействии и малых рабочих напряжениях расформовываются [1].

Д. Н. Наследов и Е. Малышев [10] определили электропроводность стеклообразного аморфного селена при комнатной температуре в слабом электрическом поле. Они установили, что с ростом напряженности поля электропроводность селена возрастает.

Электропроводность той же модификации селена в зависимости от степени очистки от примеси изучал Ю. Каден [7].

М. И. Иглицин изучал температурную зависимость эффекта Холла поликристаллического селена. Он установил, что электропроводность растет с температурой по экспоненциальному закону и концентрация дырок в селене не зависит от температуры [6].

П. Т. Козырев изучал изотермические изменения во времени концентрации носителей тока и электропроводности в поликристаллическом селене после резких изменений температуры. Он установил, что при данной температуре неравновесная концентрация n больше равновесной. Она всегда уменьшается со временем, приближаясь к своему равновесному значению [9].

В работе И. Л. Козловского и Д. Н. Наследова имеются данные по влиянию примеси теллура и сурьмы на электропроводность селена [8]. В присутствии сурьмы минимум электропроводности селена соответствует ее содержанию, равному 4 %.

Н. В. Афанасьев изучал влияние примеси серы на электрические свойства селена. Сера, введенная в селен в количестве до 5 %, увеличивает электропроводность последнего [4]. Электропроводность селена зависит от ряда внешних факторов, к которым относятся: а) температура, б) концентрация примесей, в) сильное электрическое поле, г) освещение.

В данной работе изучена электропроводность и термоэдс селена в зависимости от концентрации хлора и температуры.

Изготовление образцов и проведение опытов

Образцы с разным содержанием хлора были изготовлены следующим образом.

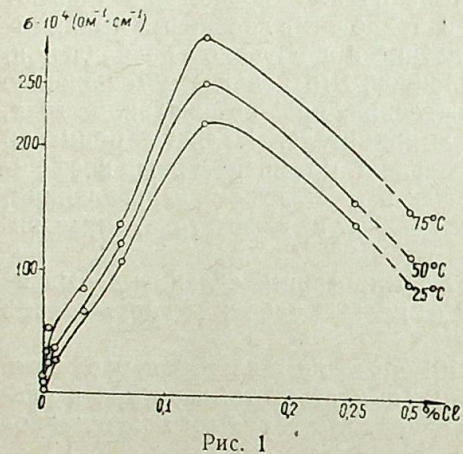
Селен с чистотой 99,996 % измельчался в агатовой ступке с последующим смешиванием его с четыреххлористым селеном (SeCl_4). Полученная смесь расплавлялась и перемешивалась. Для определения содержания хлора в селене обычные методы не пригодны. Определение хлора в образце производилось методом аргентометрии [3]. Образцы содержали 0,0035, 0,007, 0,015, 0,03, 0,06, 0,125, 0,25, 0,5 % хлора.

Образцы имели цилиндрическую форму с диаметром основания 9,5 мм, высотой 10–15 мм.

Затвердевание и кристаллизация образцов производились под давлением, что устранило образование микропустот в полупроводнике. Первая кристаллизация образцов производилась при температуре 130°C в течение 40 минут, а вторая при 200°C в течение 40 минут. Электропроводность измеряли зондовым методом, что устранило влияние контактных сопротивлений.

Постоянство температуры обеспечивалось ультратермостатом. Для стабилизации при каждой зафиксированной температуре образцы держали 10 минут. Опыты производились в интервале от 25 до 95°C.

Наиболее резкое увеличение электропроводности наблюдается на образце с примесью 0,125 % хлора. На основе данных были построены кривые зависимости



электропроводности образцов от содержания примеси хлора при различных температурах.

Из рис. 1 видно, что при всех температурах электропроводность, в зависимости от концентрации примеси, достигает максимума, а затем падает.

Прямолинейная зависимость $\lg \sigma$ от $\frac{1}{T}$ показывает (рис. 2 и 3), что температурный ход электропроводности всех образцов подчиняется формуле Вант-Гоффа:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E}{2KT}}$$

где E — работа диссоциации дырки, K — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура.

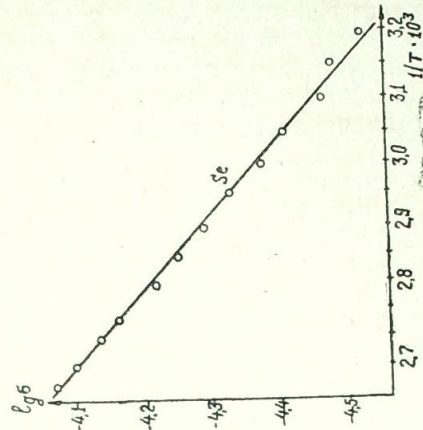


Рис. 2

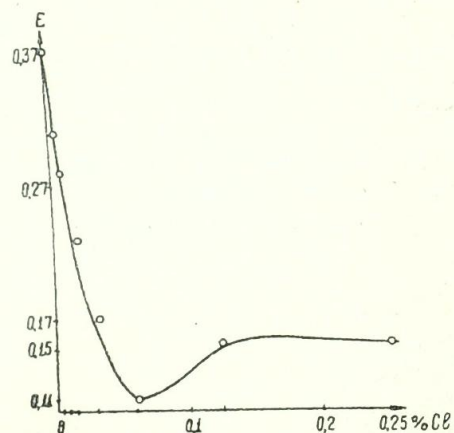


Рис. 4

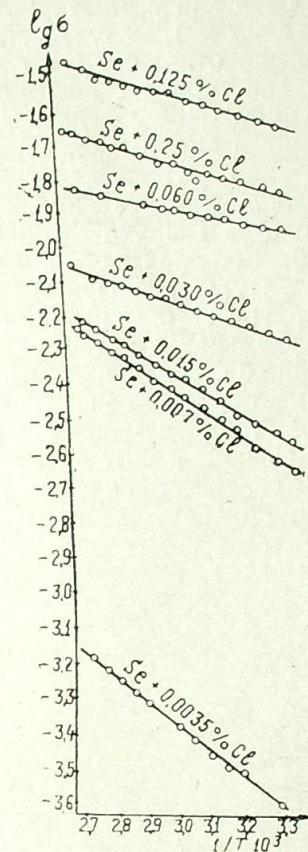


Рис. 3

В табл. показано численное значение работы диссоциации в электрон-вольтах, определяемое по наклону прямых, показывающих зависимость $\lg \sigma$ от $\frac{1}{T}$.

Образец	Содержание хлора, %	Работа диссоциации, эл.-вол.
1	0	0,373
2	0,0035	0,31
3	0,007	0,28
4	0,015	0,23
5	0,03	0,17
6	0,06	0,11
7	0,125	0,15
8	0,25	0,15
9	0,5	0,21

Из графика (рис. 4) видно, что с увеличением количества примеси хлора в селене работа диссоциации уменьшается и достигает минимума.

Определение термоэдс

Один из первых термоэлектрических исследований селена были проведены в 1858 г. Маттиссеном, измерявшим величину термоэдс селена по отношению к свинцу и получившим значение 0,805 мВ/град. Значение термоэдс по отношению к платине определил Вейдерт. Его результат 1,134 мВ/град. Такие же значения получил Холмс, а также Гохберг и Соминский.

Термоэлектрические свойства селена изучались Куллити, которым было получено значение 1 мВ/град по отношению к меди. Добавление около 5 % висмута уменьшает термоэдс до 0,070 мВ/град [12]. В микрокристаллических и монокристаллических образцах с увеличением температуры уменьшается концентрация носителей тока [11].

Другие авторы [6, 13] отмечают, что в поликристаллическом селене с увеличением температуры концентрация носителей тока остается постоянной, а подвижность — растет.

Имеется также указание на то, что при температурах выше комнатной, термоэдс растет, а концентрация дырок — уменьшается [14].

В данной работе измерение термоэлектродвижущей силы пары медь—селен с примесями хлора производилось компенсационным методом. Градиент температуры вдоль образца создавался посредством двух ультратермостатов. Температура нагретого и холодного концов образца измерялись двумя медно-константановыми термопарами, спаянных в отверстия образцов.

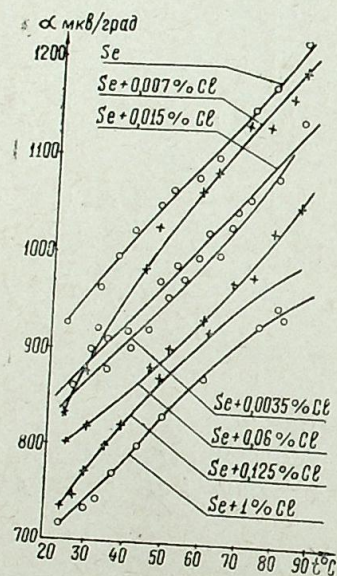


Рис. 5

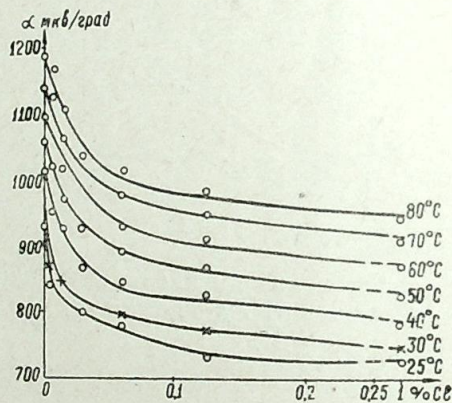


Рис. 6

Термоэлектродвижущая сила измерялась на тех же образцах, на которых измерялась электропроводность. Разность температур между концами образца была равна 5°C при температурах 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85°C.

На рис. 5 показана зависимость термоэдс от температур для всех образцов.

Из графика видно, что с увеличением температуры α растет. Зависимость термоэдс от процентного содержания хлора приведена на рис. 6, откуда видно, что во всех температурах, с увеличением количества примеси хлора, термоэдс уменьшается. Знак термоэдс всегда указывает на дырочный механизм тока.

По Н. Л. Писаренко, для чисто электронных или чисто дырочных полупроводников между термоэдс и концентрацией свободных носителей тока имеется зависимость:

$$\alpha = \frac{K}{e} \left(2 + \lg \frac{(2\pi mKT)^{3/2}}{h^3 n} \right),$$

где K — постоянная Больцмана, e — заряд электрона, m — масса электрона, T — абсолютная температура, n — концентрация носителей и h — постоянная Планка.

Для вышеуказанных образцов селена с примесью хлора было измерение α и подсчитана концентрация дырок.

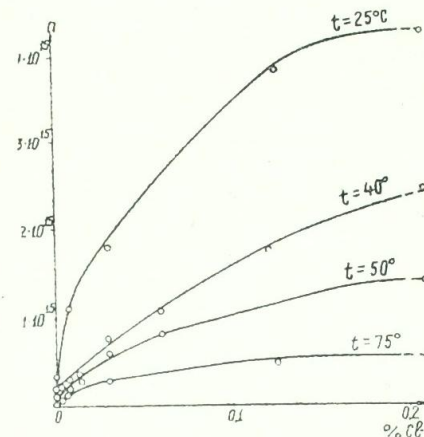


Рис. 7

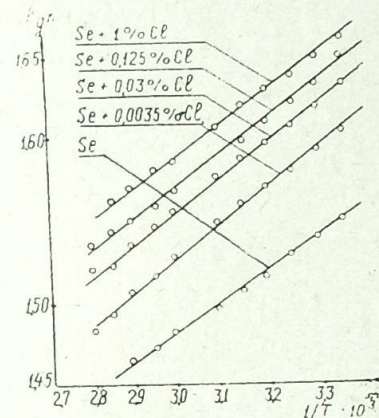


Рис. 8

На рис. 7 показана зависимость концентрации носителей тока n от содержания примеси хлора, откуда нетрудно заметить, что с увеличением содержания примеси концентрации носителей тока растет.

На рис. 8 показана зависимость $\lg n$ от $\frac{1}{T}$, что дает прямую. С повышением температуры для всех образцов n уменьшается. По значениям электропроводности и концентрации носителей тока, из формулы $\sigma = ne\mu$ была определена эффективная подвижность дырок.

Зависимость эффективной подвижности носителей от содержания хлора в различных температурах показана на рис. 9. Видно, что эффективная подвижность растет при увеличении количества примеси хлора. Если сравнить эффективную подвижность носителей у чистого и имеющих быть примесных образцов при 25°C, то можно заметить, что они отличаются друг от друга приблизительно на 66 раз.

На рис. 10 изображена зависимость $\lg \mu$ от $\frac{1}{T}$, откуда видно, что μ увеличивается с возрастанием температуры.

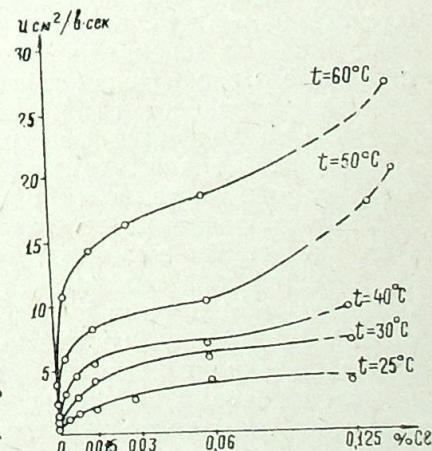


Рис. 9

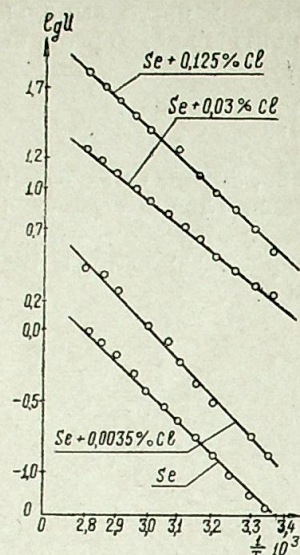


Рис. 10

На рис. 11 показана зависимость электропроводности и теплопроводности от количества примеси хлора, где электропроводность, в зависимости от концентрации примеси, достигает максимума, а затем падает, а теплопроводность сначала уменьшается и достигает минимума, затем растет и получается почти насыщение. Интересно отметить, что содержание примеси, при которой имеет максимум электропроводности и минимум теплопроводности для брома, йода, хлора—почти совпадают.

Обсуждение результатов

Примеси хлора в селене создают дополнительные энергетические уровни. Дырочный механизм тока указывает на то, что эти уровни расположены у верхнего края заполненной зоны. Энергия, необходимая для переброски электронов из заполненной зоны на уровни примеси, должна быть меньше энергии, необходимой для переброски электронов из заполненной зоны в зону проводимости. Такое представление о распределении уровней должно приводить к увеличению электропроводности и уменьшению работы диссоциации. Это предположение вполне оправдывается полученными опытными данными.

Из рис. 1 видно, что примеси хлора до 0,125 % увеличивают электропроводность (почти в 1000 раз) и уменьшают энергию активации.

При дальнейшем увеличении содержания примеси σ уменьшается, а E —растет. Это можно объяснить тем, что при больших примесях происходит образование нейтральных молекул хлора, которые не являются акцепторами и по сравнению с атомами менее склонны к захвату электрона. Это должно было привести к уменьшению n и росту E , однако определение n по значению α , по-видимому, не вполне правильно и поэтому не согласуется с таким предположением. Что касается роста E , то это подтверждается.

Изменение σ сильно зависит от поликристалличности селена. Примеси хлора влияют главным образом на проводимость этих изолирующих

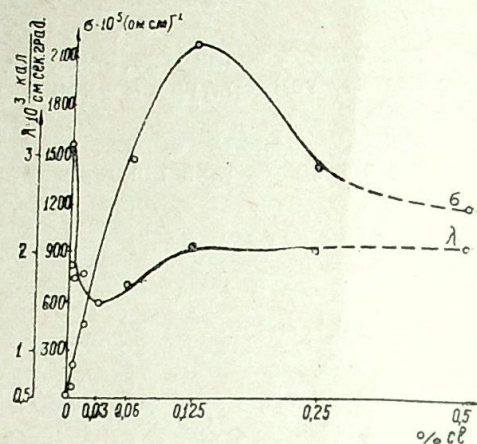


Рис. 11

щих прослоек, которые сильно осложняют понимание физических картин. Эти вопросы найдут значительное объяснение, если измерить постоянную Холла селена, имеющего разное содержание хлора, что входит в программу наших работ.

Выводы

1. Примеси хлора до 0,125 % увеличивают проводимость селена и достигается максимум, затем, с увеличением количества примеси хлора, электропроводность падает. При этом знак проводимости остается дырочный.
2. В температурном интервале 25—95°C электропроводность как чистого селена, так и примесного селена возрастает с увеличением температуры и следует экспоненциальному закону Вант-Гоффа.
3. Работа диссоциации уменьшается при увеличении количества примеси хлора.
4. Коэффициент термоэлектродвижущей силы в температурном интервале 25—85°C возрастает с увеличением температуры.
5. Коэффициент термоэлектродвижущей силы уменьшается при уменьшении работы диссоциации и увеличении электропроводности и количества примеси хлора.
6. Примеси хлора увеличивают концентрацию и эффективную подвижность носителей тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Г. Б. „Изв. АН Азерб. ССР“, № 2, 1956.
2. Алиев М. И. Труды Инст. физики и математики АН Азерб. ССР, т. VI, 1956.
3. Алиев Г. М. Влияние примеси хлора на теплопроводность селена. „Изв. АН Азерб. ССР“, 1957, № 9.
4. Афанасьев Н. В. ЖТФ, 1949, 2.
5. Башшалиев А. А., Абдуллаев Г. Б. „Изв. АН Азерб. ССР“, 1957, № 2.
6. Иглицин М. И. ЖТФ, 1952, XXII, 5.
7. Каден Ю. Труды НИКФИ в 10, 1949.
8. Козловский И. Л. и Наследов Д. Н. ЖТФ, 1943, XIII, 11—12.
9. Козырев П. Т. ЖТФ, 1956, XXVI, 2.
10. Наследов Д. Н. и Малышев Е. ЖТФ, 1956, XVI, 10.
11. Самойлович А. Г. и Коренблит Л. Н. УФН, 1953, т. X, 13, 2-3.
12. Хениш Н. и Франсуа М. Полупроводниковые материалы. 1954.
13. Henkels H. W. The phys., Review, 1950, 77, 5, p. 734.
14. Henkels H. W. J. of applied physics, 1951, 22, 7.

Г. М. Алиев, Г. Б. Абдуллаев

Хлор ашгарларынын селенин электрик хассэсинэ тәсири

ХҮЛАСӘ

Селенин физики хассэлэри она дахил эдилэн ашгарларын мигдарындан вә тәбиәтиндэн асылдыр.

Бу ишдә әсас мәгсәд хлор ашгарларынын селенин электрик кечирмэсинә, термоэлектрик һәрәкәт гүввэсинә, йүклэрин концентрасиясы вә йүрүклүйүнә тәсири өйрәнилмишдир.

Тәдгигат үчүн 0, 0,0035, 0,007, 0,015, 0,03, 0,06, 0,0125, 0,25, 0,5 вә 1 % хлору олан нүмунэләр һазырланмышдыр. Нүмунэләр әввәлчә 130°C температурда 40 дәгигә, сонра 200°C температурда 40 дәгигә сахланараг кристаллашдырылмышдыр.

Нүмунэләрдеки хлорун мигдары аркентометрик үсулла тә'йин эдилмишдир. Һазырланан нүмунэләр цилиндр шәклиндә олуп, отурачагынын диаметри 9,5 мм, һүндүрлүйү исә 10—15 мм тәртибиндәдир.

Нүмунэләрин электрик кечирмәси кечид мугавимәтини арадан галдырмаг мәгсәдилә зонд үсулу илә өлчүлмүшдүр.

Тәчрүбә көстәрмишдир ки, 0,125 % хлор ашгары олан селен нүмунәсинин электрик кечирмәси максимум гиймәти алыр вә бу максимум бүтүн температурларда (25—95°C) сахланылыр (1-чи шәклә бах).

Бүтүн нүмунэләр үчүн $\lg \sigma$ -нын $\frac{1}{T}$ -дән асылылыг графикләри ону көстәрир ки, истәр тәмиз вә истәрсә хлор ашгарлы селенин электрик кечирмәси $\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E}{2kT}}$ эмпирик дүстуруна табе олур.

$\lg \sigma$ -нын $\frac{1}{T}$ -дән асылылыгыны көстәрән графикдән һәр нүмунә үчүн дешикләрин чыхыш иши һесапланмышдыр (1-чи чәдвәл). Һәмин чәдвәлдән көрүнүр ки, селендә хлор ашгарларынын мигдары артдыгча дешикләрин чыхыш иши азалыр. Электрик кечирмә тә'йин эдилдикдән сонра Һәмин нүмунэләрин термоэлектрик һәрәкәт гүввәси өлчүлмүшдүр. Өлчү компенсация үсулу илә апарылмышдыр. Нүмунәнин учларында температур фәрги бир чүт ультратермостат васитәсилә ярадылмыш вә бу температур фәрги мис-константан термочүтләри (һәр ики термочүтүн бир учу сабит температурда, 0°C-дә сахланылыр) васитәсилә өлчүлмүшдүр.

5-чи шәкилдә айры-айры нүмунэләр үчүн термоэлектрик һәрәкәт гүввәсинин температурдан асылылыгы көстәрилмишдир. Бу шәкилдән көрүнүр ки, температур артдыгча термоэлектрик һәрәкәт гүввәси дә артыр.

Селендә хлор ашгарларынын мигдары артдыгча термоэлектрик һәрәкәт гүввәси азалыр (6-чи шәклә бах).

Бүтүн нүмунэләрдә термоэлектрик һәрәкәт гүввәси өлчүлдүкдән

$$\text{сонра } \alpha = \frac{K}{e} \left(2 + \lg \frac{2(\pi K T m)^{3/2}}{h^3 n} \right)$$

дүстуруна әсасән йүкләрин концентрациясы һесапланмышдыр. Һесаплама көстәрир ки, хлор ашгарларынын мигдары артдыгча йүкләрин концентрациясы да артыр (7-чи шәклә бах).

σ -ние дүстурундан истифадә эдәрәк йүкләрин йүрүклүйү тә'йин эдилмишдир. Селендә хлор ашгарларынын мигдары артдыгча дешикләрин йүрүклүйү артыр (9-чу шәклә бах).

Хлор ашгарларынын селенин электрик кечирмәсинә тә'сири өйрәнилмәклә бәрәбәр истилик кечирмәйә дә тә'сири өйрәнилмишдир. Хлор ашгарлары селенин электрик кечирмәсини артыраг электрик кечирмә максимума чатыр, сонра исә азалыр. Әксинә олараг хлор ашгарлары селенин истилик кечирмәсини азалдараг минимума чатыр, сонра енә дойма һалына чатана гәдәр артмагда давам эдир (11-чи шәклә бах).

Беләликлә, хлор селенин электрик кечирмәсинә вә термоэлектрик һәрәкәт гүввәсинә чох бөйүк тә'сир көстәрир. Ашгарлы нүмунэләрин электрик кечирмәсинә нисбәтән 1000 дәфәләрлә чохдур.

М. А. ТАЛИБИ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРИМЕНИМОСТИ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ВЕНТИЛЬНОЙ ФОТОЭДС К СИСТЕМАМ CdS—Se и CdSe—Se

При работе $p-n$ перехода в режиме вентильного фотоэлемента в приближении диодной теории удовлетворяется соотношение:

$$\varphi = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_\Phi}{I_0} + 1 \right), \quad (1)$$

где k —постоянная Больцмана, T —абсолютная температура, e —заряд электрона, I_0 —ток насыщения в запиорном направлении, I_Φ —ток короткого замыкания, возникающий при облучении фотоэлемента.

Соотношение (1) является аналогом формулы, получаемой по приближенной теории для вольтамперной характеристики $p-n$ перехода:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{e\varphi}{kT}} - 1 \right). \quad (2)$$

При выводе формулы (2) делается ряд пренебрежений, в частности не учитывается перераспределение объемного заряда вблизи $p-n$ перехода при наложении внешнего поля. В. Л. Бонч-Бруевич и Е. Я. Пумпер [2], исходя из независимости коэффициента выпрямления от природы полупроводника при постоянном значении приложенного напряжения, указывают, что если принять хорошую согласуемость выражения (2) с опытными данными, то получение $p-n$ перехода с высоким коэффициентом выпрямления определяется лишь обработкой полупроводника, а отнюдь не выбором химической природы основного вещества и вводимых в него примесей [6].

Шокли [5] указывает на хорошее соответствие экспериментальной вольтамперной характеристики с теоретической, построенной по формуле (2). В области больших обратных напряжений, где сказываются вторичные эффекты, соответствие теории с экспериментом значительно нарушается.

Вывод общего уравнения фотодиода, пригодного для любого режима, а также соотношения (1) между фотоэдс, фототоком короткого замыкания и током насыщения, при работе фотодиода в режиме вентильного фотоэлемента, приводится С. М. Рывкиным [3], где излагаются результаты количественной экспериментальной проверки соотношения для режима вентильной фотоэдс на германиевых фотодиодах.

Используя общее уравнение фотодиода, данное в [3], А. В. Айрапетянц и С. М. Рывкин [1] произвели количественное рассмотрение вопроса о форме импульсов напряжения в германиевых электронно-дырочных альфа-счетчиках.

Соображения, приводящие к выводу соотношения (1) на основе диодной теории ограничивают область его применимости. Оно применимо к случаю тонкого $p-n$ перехода, когда можно не учитывать рекомбинацию, а также рассеяние носителей в области $p-n$ перехода.

Для успешного применения соотношения (1) необходимо наличие тока насыщения в определенном интервале запирающего напряжения, приложенного к $p-n$ переходу. Для достижения лучших результатов нужно иметь образцы с малой величиной тока насыщения и возможно большей длиной диффузии неосновных носителей.

Благодаря наличию четко выраженных участков насыщения тока при запирающем напряжении германиевые фотодиоды являются хорошими объектами для количественной проверки теории вентильной фотоэдс [3].

В вольтамперных характеристиках селеновых выпрямляющих элементов отсутствуют явные области полного насыщения. Однако в ветви вольтамперной характеристики, соответствующей запирающему напряжению, можно найти участки, в которых отклонение от возможного насыщения наименьшее. Исходя из этого предположения нами была проверена выполнимость соотношения (1) для выпрямляющих систем $CdS-Se$ и $CdSe-Se$, применяемых в качестве непосредственных преобразователей лучистой энергии в электрическую.

Источниками излучения служили ^{60}Co , рентгеновская молибденовая трубка, питаемая установкой УРС-70, и лампа освещения.

Исследовались системы с искусственным запирающим слоем, обычные, а также заднестеночные. Верхние электроды наносились шопировкой или испарением в вакууме.

Измерения производились путем поочередного переключения фотоэлемента на гальванометр и на потенциометр, при этом находили пары значений φ_n и $I_{\Phi n}$, соответствующие данной интенсивности облучения образца. Величина тока, соответствующая искомому участку запирающего напряжения, приложенного к селеновому элементу, определялась из семейства соотношений вида (1)

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_{\Phi 1}}{I_0} + 1 \right) \\ \varphi_2 &= \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_{\Phi 2}}{I_0} + 1 \right) \\ &\vdots \\ \varphi_n &= \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_{\Phi n}}{I_0} + 1 \right) \end{aligned} \right\}$$

Выразим соотношение (1) в явной форме для тока насыщения:

$$\varphi = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_{\Phi}}{I_0} + 1 \right),$$

откуда

$$\ln \left(\frac{I_{\Phi}}{I_0} + 1 \right) = \frac{e\varphi}{kT} \ln e$$

или

$$\frac{I_{\Phi}}{I_0} + 1 = e^{\frac{e\varphi}{kT}}$$

и наконец

$$I_0 = \frac{I_{\Phi}}{e^{\frac{e\varphi}{kT}} - 1}$$

Для экспериментального определения I_0 пользовались семейством соотношений:

$$\left. \begin{aligned} I_0 &= \frac{I_{\Phi 1}}{e^{\frac{e\varphi_1}{kT}} - 1}; \\ I_0 &= \frac{I_{\Phi 2}}{e^{\frac{e\varphi_2}{kT}} - 1}; \\ &\vdots \\ I_0 &= \frac{I_{\Phi n}}{e^{\frac{e\varphi_n}{kT}} - 1} \end{aligned} \right\}$$

Каждое соотношение семейства соответствует определенному уровню интенсивности облучения, при котором измеряли значения $I_{\Phi n}$ и φ_n .

Исследовалось всего 15 образцов различного способа изготовления, на которых получились аналогичные результаты. Рассмотрим некоторые из них.

В табл. 1 приводятся экспериментальные данные по определению I_0 по соотношениям (3) при облучении системы $CdS-Se$ (образец № 3) гамма-лучами. Подобные же данные, соответствующие этому же образцу, получены для света (табл. 2) и рентгеновских лучей (табл. 3).

Таблица 1

φ (мкв)	I_{Φ} ($10^{-10}a$)	I_0 ($10^{-7}a$)
270	70	6,4
340	85	6,5
520	128	7,1
680	175	7,6
900	244	7

Таблица 2

φ (мкв)	I_{Φ} ($10^{-10}a$)	I_0 ($10^{-7}a$)
180	48	6,9
290	60	6,1
450	100	6,7
660	155	5,9
820	195	5,4
900	240	6

Таблицы 4 и 5 соответствуют образцам № 1 и 2 и получены при облучении их гамма-лучами различной интенсивности.

Результаты таблиц 1—5 подтверждают предположение о том, что значения I_0 , определяемые из семейства соотношений (3), действительно являются значениями тока насыщения. В частности, сопоставление данных таблиц 1—3, полученных для одного и того же образца гамма-излучением, светом и рентгеновским излучением, резко отличающихся энергией квантов и интенсивностью излучения, является также наглядным подтверждением указанного предположения.

Таблица 3*

φ (мкв)	I_{Φ} ($10^{-7}a$)	I_0 ($10^{-7}a$)
13	10	7,7
22	20	7,5
30	30	6,9
36,3	40	6,8
41,1	50	8,3
46	66	6,7
50	76	6,5
66,6	140	6

Таблица 4

φ (мкв)	I_{Φ} ($10^{-10}a$)	I_0 ($10^{-7}a$)
260	38	3,8
460	66	3,7
760	108	3,6
850	128	3,9
990	147	3,8
1190	184	3,9
1270	192	3,8
1480	226	3,9

* Данные I_0 по табл. 3 получены с учетом коэффициента перевода (0,5) гальванометров.

Таблица 5

φ (мкв)	I_{Φ} ($10^{-10}a$)	I_0 ($10^{-7}a$)
160	24	6
270	43	4
380	71	4,7
430	88	5,2
500	107	5,9
540	116	5,5
730	160	5,5

По экспериментальным данным, соответствующим различным излучениям и интенсивности, находились средние значения I_0 для одного и того же образца. По средним значениям I_0 экспериментально подбиралась величина соответствующего запорного напряжения. Зная величину запорного напряжения, при которой отклонения тока от возможного насыщения были наименьшими, приступали к проверке применимости соотношения вентильной фотоэдс к системам CdS—Se и CdSe—Se.

Полученные результаты даны в таблицах 6—10, из которых видно, что области запорного напряжения, соответствующие току насыщения, заключены в узком интервале 4—50 мв. В указанном интервале наблюдается наилучшее совпадение теоретических значений $\frac{kT}{e}$ (0,026 в при $T=22^\circ\text{C}$) с экспериментальными. Причем указанная область напряжений несколько расширяется в случае генерирования больших эдс, обусловленных излучением (сопоставь таблицы 6 и 7, а также 9 и 10).

Сопоставляя значения $\frac{kT}{e}$ по данным таблиц 6—10, нетрудно заметить следующую тенденцию: с ростом приложенного запорного напряжения, начиная с некоторого его значения, величины $\frac{kT}{e}$ приближаются к теоретическим; дальнейший рост запорного напряжения приводит к монотонному росту $\frac{kT}{e}$, все больше удаляя эксперименталь-

Таблица 6

Образец № 1 (гамма-излучение)

I_{Φ} ($10^{-10}a$)	38	66	108	128	147	184	192	226
φ ($10^{-6}e$)	260	460	780	850	990	1190	1270	1480
U ($10^{-3}e$)								
6,5	0,0138	0,0142	0,0148	0,0137	0,0140	0,0135	0,0138	0,0138
16	0,0257	0,0294	0,0277	0,0270	0,0273	0,0266	0,0271	0,0274
25	0,0419	0,0426	0,0424	0,0411	0,0409	0,0391	0,0372	0,0444
35	0,0667	0,0568	0,0551	0,0616	0,0544	0,0552	0,0536	0,0500
45	0,0764	0,0719	0,0703	0,0654	0,0692	0,0654	0,0658	0,0685
105	0,1238	0,1179	0,1143	0,1330	0,1394	0,1293	0,1351	0,134
180	0,2167	0,1533	0,2202	0,2177	0,1941	0,1983	0,2048	0,2
260	0,2889	0,3280	0,3004	0,2833	0,2675	0,2704	0,2886	0,2691
336	0,3714	0,5111	0,8444	0,3400	0,3300	0,3216	0,3432	0,3364

ные данные от теоретического. Указанные явления легко объяснить на основе соотношения

$$\frac{kT}{e} = \frac{\varphi}{\ln \left(\frac{I_{\Phi}}{I_0} + 1 \right)}$$

Таблица 7

Образец № 1 (свет)

$I_{\Phi} (10^{-7} \text{ а})$	0,215	8	10	15	20	25	70
$\varphi (10^{-6} \text{ в})$	1440	20400	23700	33000	40500	45500	85440
$U (10^{-3} \text{ в})$	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e
6,5	0,0141	0,0127	0,0132	0,0154	0,0169	0,0175	0,0188
16	0,0276	0,0186	0,019	0,0212	0,0226	0,0230	0,0292
25	0,0309	0,0245	0,0246	0,0264	0,0291	0,0277	0,0338
35	0,0339	0,0292	0,0292	0,0312	0,0324	0,0321	0,0374
45	0,0360	0,0347	0,0342	0,0361	0,0369	0,0364	0,0411
105	0,0804	0,0607	0,0585	0,0537	0,0585	0,0562	0,0569
180	0,2087	0,0863	0,0904	0,0815	0,0791	0,074	0,0716
260	0,2722	0,1119	0,1063	0,0850	0,1	0,0939	0,0845
336	0,3478	0,1376	0,1301	0,1259	0,1205	0,1123	0,0977

Действительно, с ростом запорного напряжения знаменатель правой части уменьшается, что, в свою очередь, приводит к росту $\frac{kT}{e}$. Начиная с некоторого значения запорного напряжения имеем $I \approx I_0$. При этом совпадение теории с экспериментом наилучшее.

Дальнейший рост запорного напряжения приводит к $I > I_0$, за счет чего экспериментальные $\frac{kT}{e}$ все больше удаляются от теоретических в сторону роста. Таким образом, для полупроводниковых систем CdS—Se и CdSe—Se в ограниченном интервале удовлетворяется соотношение для вентильной фотоэдс.

Таблица 8

Образец № 2 (гамма-излучение)

$I_{\Phi} (10^{-10} \text{ а})$	24	43	88	107	116	160
$\varphi (10^{-6} \text{ в})$	160	270	430	500	540	730
$U (10^{-3} \text{ в})$	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e
4	0,013	0,022	0,01	0,0095	0,0096	0,013
9	0,0267	0,025	0,0197	0,020	0,0175	0,019
14	0,0363	0,039	0,035	0,0349	0,0286	0,027
18,5	0,0533	0,04	0,0398	0,0893	0,0378	0,037
26	0,0667	0,061	0,0494	0,1064	0,0450	0,045
51	0,08	0,128	0,1038	0,2270	0,0931	0,093
83	0,228	0,193	0,1536	0,3333	0,1384	0,14
120	0,32	0,3	0,2047	0,2270	0,1800	0,18
160	0,8	0,385	0,3307	0,5555	0,2347	0,24

Совпадение экспериментальных значений $\frac{kT}{e}$ с теоретическими приводит к выводу, что в выпрямляющих системах CdS—Se и CdSe—Se эффективный заряд носителей тока, по крайней мере в области применимости теории вентильной фотоэдс, равен заряду свободного электрона. Причем это положение одинаково справедливо при одних и тех же значениях запорного напряжения, независимо от длины волны (гамма-, рентгеновское излучение, свет) и интенсивности излучения, возбуждающего вентильную фотоэдс.

Факты, наблюдаемые на системах CdS—Se и CdSe—Se при возбуждении в них вентильной эдс воздействием гамма-, рентгеновского излучений и светом подтверждают глубокую аналогию между явлениями внутренней ионизации в твердых телах, возникающими под действием разных излучений. Согласно имеющимся литературным данным [4], можно показать, что с точки зрения поведения в кристаллической решетке носители тока, освобожденные светом и другими излучениями, отличаются незначительно. Этот факт находит свое подтверждение, в частности (таблицы 1—3 и 6—10) на полупроводниковых системах CdS—Se и CdSe—Se.

Таблица 9

Образец № 1 (свет)

$I_{\Phi} (10^{-7} \text{ а})$	48	60	70	85	100	128	155	175	195	240
$\varphi (10^{-6} \text{ е})$	180	220	270	340	450	520	660	680	820	900
$U (10^{-3} \text{ в})$	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e
4	0,0076	0,0099	0,0079	0,0082	0,0092	0,0085	0,0088	0,0081	0,0086	0,0079
9	0,0150	0,0158	0,0151	0,0164	0,0183	0,0165	0,0169	0,0157	0,0171	0,0155
14	0,0225	0,0305	0,0226	0,0246	0,0279	0,0251	0,0254	0,0238	0,0263	0,023
18,5	0,0300	0,0392	0,0333	0,0301	0,0363	0,0327	0,0347	0,0362	0,0346	0,031
26	0,0394	0,0483	0,0391	0,0400	0,0455	0,0403	0,0471	0,0415	0,0234	0,0379
51	0,0760	0,0967	0,1618	0,0872	0,0882	0,0867	0,0825	0,0773	0,0922	0,0752
83	0,1385	0,1381	0,0978	0,0214	0,1500	0,1333	0,1320	0,1097	0,1367	0,1111
120	0,1500	0,2071	0,1677	0,1619	0,1800	0,1855	0,1650	0,1658	0,164	0,1500
160	0,2571	0,3158	0,2142	0,200	0,2250	0,2476	0,2200	0,2000	0,2102	0,195

Таблица 10

Образец № 3 (свет)

$I_{\Phi} (10^{-7} \text{ а})$	10	20	30	40	50	66	76	140
$\varphi (10^{-6} \text{ е})$	13	22	30	36	41	46	50	66,1
$U (10^{-3} \text{ в})$	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e	kT/e
4	0,0073	0,0092	0,0108	0,0119	0,0126	0,0127	0,0148	0,0155
8	0,0104	0,0123	0,0140	0,0152	0,0158	0,0161	0,0167	0,0185
12,5	0,0132	0,0149	0,0167	0,0178	0,0184	0,0185	0,0191	0,0208
17	0,0160	0,0175	0,0192	0,0200	0,0207	0,0207	0,0212	0,0229
22	0,0188	0,0200	0,0202	0,0225	0,0229	0,0227	0,0233	0,0244
49	0,0321	0,0317	0,0315	0,0331	0,0328	0,0315	0,0319	0,0318
82	0,0457	0,0429	0,0433	0,0436	0,0418	0,0395	0,0390	0,0382
117	0,0587	0,0575	0,0535	0,0524	0,0506	0,0472	0,0470	0,0439
151	0,0714	0,0654	0,0639	0,0992	0,0592	0,0547	0,0542	0,0496

ЛИТЕРАТУРА

1. Айрапетянц А. В. и Рывкин С. М., ЖТФ, 1957, 27, 1.
2. Бонч-Бруевич В. Л. и Пумпер Е. Я. ЖТФ, 1955, 25, 8.
3. Рывкин С. М., ЖТФ, 1955, 25, 1.
4. Рывкин С. М., УФН, 1956, 2.
5. Шокли В. Теория электронных полупроводников, ИЛ, 1953.
6. Gocher C. S., Pearson G. L., Sparks M., Teal G. K., Shockley W., Phys. Rev., 1951, 81, 637.

М. Э. Талиби

Вентил фотоэлектрик һәрәкәт гүввәсинә аид ифадәнин
CdS—Se вә CdSe—Se системләринә тәтбигинин тәчрүби
йохланылмасы

ХУЛАСӘ

Мүәййән шәртләр дахилиндә ярымкечиричи дүзләндиричи системләринә диод нәзәрийәсини тәтбиг әтмәк олур. Һәмин мәсәләйә бир сыра мүәллифләр тәрәфиндән бахылмышдыр [1—6].

Вентил фотоэлектрик һәрәкәт гүввәси үчүн фотодиод нәзәрийәси әсасында алынмыш ифадә ашағыдакы шәкилдә язылыр:

$$\varphi = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_{\phi}}{I_0} + 1 \right).$$

Һәмин ифадәдә k —Болсман сабити, T —мүтләг температура, e —электронун йүкү, I_0 —дойма чәрәяны, I_{ϕ} —фоточәрәяныдыр.

Әкәр дүзләндиричи системләре гапайычы истигамәтдә кәркинлик тәтбиг әтдикдә, дойма чәрәяны мүшаһидә олунарса, һәмин системләре вентил фотоэлектрик һәрәкәт гүввәси ифадәсини тәтбиг әтмәк олур.

Керманиум дүзләндиричи элементләриндән фәргли олараг CdS—Se вә CdSe—Se дүзләндиричи элементләринә гапайычы истигамәтдә кәркинлик тәтбиг әтдикдә, айдын шәкилдә дойма һадисәсини мүшаһидә әтмәк олмур. Анчаг бунунла бәрәбәр CdS—Se вә CdSe—Se дүзләндиричи системләринин гапайычы истигамәтинә тәфавүг әдән волтампер характеристикасында әлә бир интервал тапмаг олур ки, о интервалда дойма һадисәси мүшаһидә олунсун. Мәгаләдә һәмин принцип әсас тутулараг CdS—Se вә CdSe—Se системләринә гамма, ренткен вә я көрүнән шүаларла тәсир әтмәкдә вентил фотоэлектрик һәрәкәт гүввәсинә аид ифадә тәчрүби олараг йохланылмышдыр. Бунун үчүн әввәлчәдән $\frac{kT}{e}$ ифадәсинин нәзәри гиймәтинә, φ вә I_{ϕ} -ин тәчрүбәдән

алынмыш гиймәтләринә әсасән I_0 дойма чәрәянына тәфавүг әдән кәркинликләр тапылмышдыр. Тәдгиг олунан нүмунәләр үчүн тәсир әдән шүанын типиндән (гамма, ренткен вә я көрүнән шүа) асылы олмаяраг дойма чәрәяны үчүн 10^{-7} А тәртибиндә рәгәмләр алынмышдыр (1—5-чи чәдвәлләр).

Тәдгиг олунан системләрдә вентил фотоэлектрик һәрәкәт гүввәси ифадәсинин тәчрүби йохланылмасы көстәрди ки (6—10-чу чәдвәлләр), һәмин ифадә истәр гамма, ренткен вә истәрсә дә көрүнән шүа областында нүмунәйә тәтбиг олунмуш гапайычы кәркинлийин әйни гиймәтләриндә өдәнилиз.

Дейиләнләри нәзәрә алараг, белә бир нәтичәйә кәлмәк олур ки, гапайычы истигамәтдә тәтбиг олунмуш кәркинлийин мүәййән гиймәтләриндә CdS—Se вә CdSe—Se дүзләндиричи системләриндә дойма һадисәси вардыр. Кәркинлийин дойма һадисәсинә тәфавүг әдән гиймәтләриндә CdS—Se вә CdSe—Se системләринә вентил фотоэлектрик һәрәкәт гүввәси ифадәсини тәтбиг әтмәк олур. Һәмин ифадәнин тәтбиг областы шүанын типиндән вә интенсивлийиндән асылы дейилдир.

$\frac{kT}{e}$ ифадәсинин тәчрүби гиймәтләринин (6—10-чу чәдвәлләр) нәзәри һесапланмыш гиймәтләре яхын олмасы көстәрир ки, тәдгиг олунан системләрдә чәрәян дашыян йүкләрин әффектив гиймәти, һеч олмаса, фотодиод нәзәрийәсинин өдәнилмәси областында электронун йүкүнә бәрәбәрдыр.

С. М. КУЛИЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕМЕНТИРОВКИ СКВАЖИН В ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

С целью изучения факторов, влияющих на качество цементировки скважин, лабораторией технологии бурения Института нефти Академии наук Азербайджанской ССР в 1949 г. на площади Бибиэбат были проведены экспериментальные исследования цементировки скважин в полупромышленных условиях¹. Описание и результаты проведенных работ в то время не были опубликованы в должной мере.

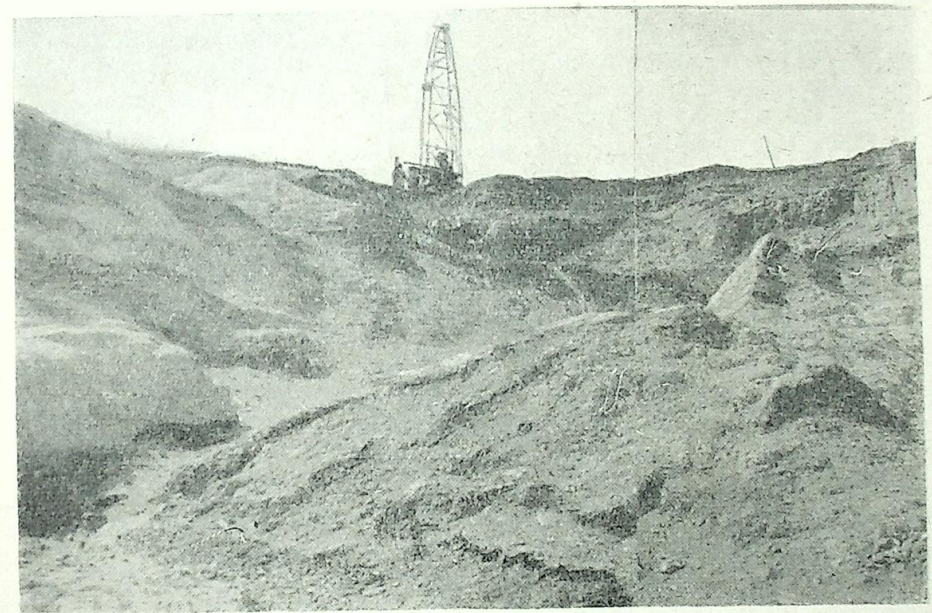


Рис. 1

Так как оригинальность и масштабы этих исследований, как нам кажется, и теперь представляют научный и практический интерес, то опубликование их технологии и полученных результатов в настоящее время мы сочли не бесполезным.

¹ В проведении работ принимали участие научные сотрудники лаборатории М. А. Абдинов, А. Ф. Касимов и Я. А. Шварц.

С. М. КУЛИЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕМЕНТИРОВКИ СКВАЖИН В ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

С целью изучения факторов, влияющих на качество цементировки скважин, лабораторией технологии бурения Института нефти Академии наук Азербайджанской ССР в 1949 г. на площади Бибиэйбат были проведены экспериментальные исследования цементировки скважин в полупромышленных условиях¹. Описание и результаты проведенных работ в то время не были опубликованы в должной мере.

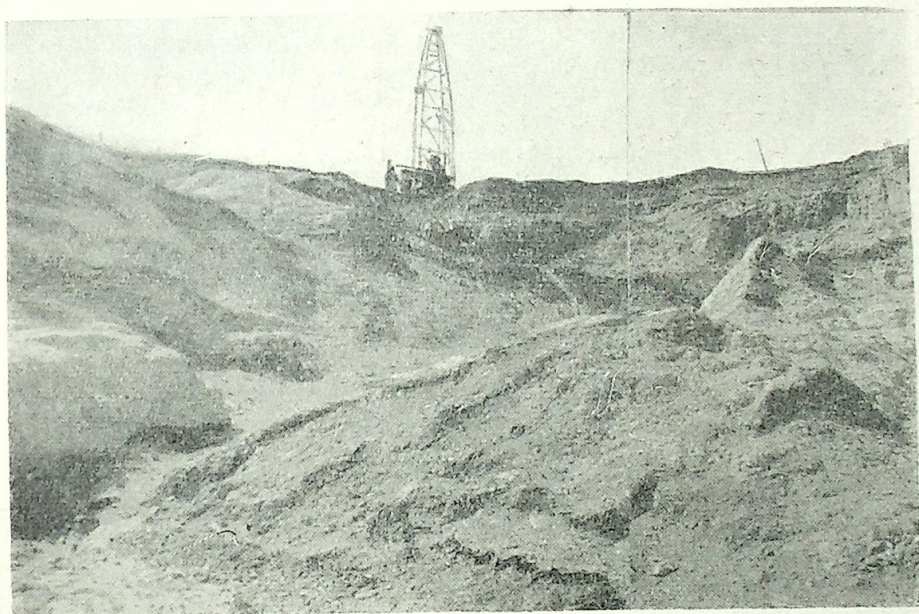


Рис. 1

Так как оригинальность и масштабы этих исследований, как нам кажется, и теперь представляют научный и практический интерес, то опубликование их технологии и полученных результатов в настоящее время мы сочли не бесполезным.

¹ В проведении работ принимали участие научные сотрудники лаборатории М. А. Абдинов, А. Ф. Касимов и Я. А. Шварц.

Для проведения экспериментов по выработанной методике, на обрыве у глинокарьера площади Бибиэбат был выбран соответствующий участок, где бурились опытные скважины. Бурение производилось передвижным агрегатом АББЗ-100.

Были пробурены, закреплены и зацементированы, а затем обнажены 5 скважин с различными диаметрами и глубинами от 12 до 40 м.

Работы по проводке этих скважин продолжались с 28 июня по 13 сентября, а работы по обнажению и замерам их стволов производились с 10 по 24 сентября 1949 г.

Общий вид обрыва глинокарьера, где были пробурены экспериментальные скважины, дан на рис. 1. Этот снимок относится ко времени работ, до начала обнажения стволов пробуренных скважин.

Проводка экспериментальных скважин

Скважина № 1. Начало бурения—12 июля 1949 г. Скважина пробурена долотом РХ diam. $9\frac{3}{4}$ ".

Во время проводки опытных скважин фиксировались следующие параметры бурения: характеристика глинистого раствора, механическая скорость проходки, давление на насосе и число оборотов долота.

Первая скважина была пробурена до глубины 19,7 м. 20 июля в скважину для расширения ствола было спущено пикообразное долото $9\frac{3}{4}$ " с боковой заправкой 150 мм. Разрыв времени между концом бурения и началом расширения скважины длился менее 2 часов, затраченных на подъем инструмента, смену долота и обратный спуск инструмента в скважину. Расширение скважины заняло 1 час 50 мин., т. е. скв. № 1 была расширена со средней механической скоростью 10,2 м/час.

Непосредственно вслед за расширением была произведена промывка скважины тем же долотом в течение 50 минут нормальным глинистым раствором (вязкость $T=20$ сек., статическое напряжение сдвига $\theta=15,5$ мг/см², уд. вес $\gamma=1,2$ г/см³, отстой $0=22\%$).

21 июля была замерена кривизна скважины, а также был произведен замер калибровым каротажем. Результаты замеров даны в табл. 4 и на рис. 2.

22 июля, через 2 суток после расширения, в скважину была спущена обсадная колонна diam. $6\frac{5}{8}$ " с башмаком длиной 1,45 м (рис. 3), длина всей колонны с башмаком составляла 19,3 м. В тот же день через 2 часа скважина была зацементирована.

На рис. 4 показана схема расположения цементировочных агрегатов при цементировке скв. № 1. Цементовка производилась четырьмя агрегатами ЦА-150, работавшими одновременно (максимальная производительность этого типа агрегата—1,1 м³/мин, максимальное давление—150 ат).

На рис. 5 и 6 показан процесс цементирования.

Ниже приводятся некоторые данные о процессе цементирования скв. № 1:

а) цементный раствор приготовлялся гидромешалками агрегатов № 1 и 2 и откачивался в специальные чаны;

б) несколько минут цементный раствор закачивался в скважину для установления циркуляции; в) для одновременной заправки цемента в скважину всеми четырьмя агрегатами, вначале цемент прокачивался через холостой выкид (около одной минуты), затем быстро цемент направлялся в скважину (4 агрегата закачали в скважину 1 м³ цементного раствора в течение 65 сек.).

Цементовка производилась без цементировочных пробок. Продавочной жидкостью служил тот же цементный раствор, вследствие чего в кольцевом пространстве и в самой колонне оставался лишь цемент.

Применялся цемент завода им. Воровского, затворенный на морской воде с водоцементным фактором $B/C=0,5$.

Скважина № 2. Начало бурения—26 июля. Скважину начали бурить долотом РХ diam. $11\frac{3}{4}$ ". Этим долотом пробурили до глубины 6,5 м. Далее до проектной глубины 30 м пробурили долотом РХ diam. $9\frac{3}{4}$ ". Таким образом, вторая экспериментальная скважина отличалась от первой скважины глубиной и диаметром ствола.

3 августа после промывки производились замеры скважины (табл. 4, рис. 7).

4 августа спустили $6\frac{5}{8}$ " обсадную колонну и произвели цементовку. В течение 60 сек. в скважину было прокачено 1,56 м³ цементного раствора.

Скважина № 3. Начало бурения—6 августа. Скважина бурилась трехшарошечным долотом diam. $9\frac{3}{4}$ ". Механическая скорость проходки этим долотом оказалась меньше, чем долотом РХ. Это объясняется недостаточным количеством подаваемой в скважину промывочной жидкости, вследствие чего шарошки долота загрязнились. Поэтому трехшарошечное долото было заменено долотом РХ. С 13,5 м и до намеченной глубины скважина пробурена долотом РХ diam. $9\frac{3}{4}$ ". После окончания бурения скважину промывали около 2 часов. 13 августа вели расширение скважины, затем было произведено каротирование и замер кривизны инклинометром. Результаты замеров даны в табл. 4 и на рис. 8.

15 августа была произведена цементовка скважины. Технология цементовки скважин № 3, 4 и 5 была несколько отлична от цементовки скважин № 1 и 2. На рис. 9 дана схема цементовки этих скважин.

Некоторые данные цементовки скв. № 3:

а) цементный раствор приготовлялся гидромешалками агрегатов и закачивался в специальные приемные чаны;

б) все 4 агрегата производили проверочную [закачку цементного раствора;

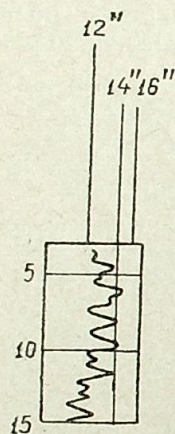


Рис. 2
Скважина № 1.
Забой 19,7 м,
башмак 1 м,
замер 4—15 м

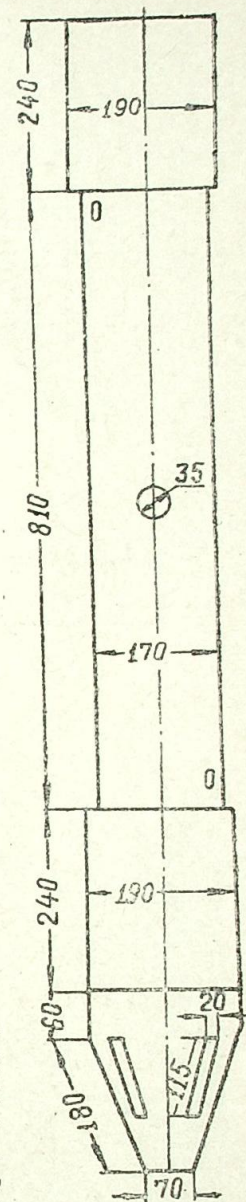


Рис. 3

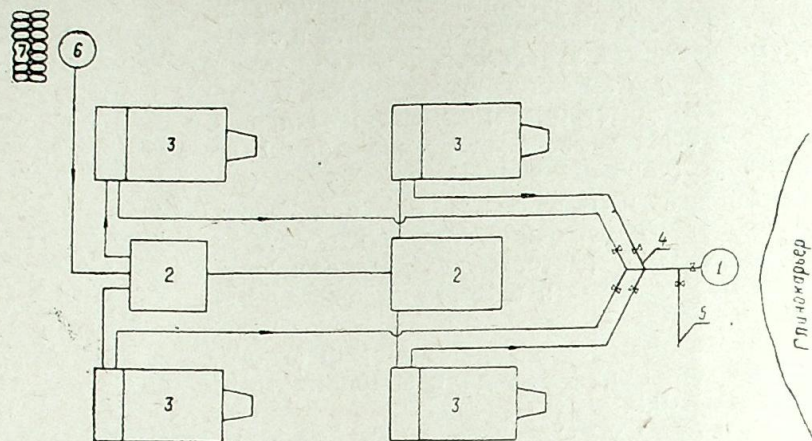


Рис. 4

Схема установки цементировочных агрегатов при цементировке скважин № 1 и 2:

1—скважина, 2—приемные каналы (2 шт.), 3—цементировочные агрегаты (4—шт.), 4—распределитель, 5—холостой выкид, 6—воронка для изготовления цементного раствора, 7—сухой цемент.

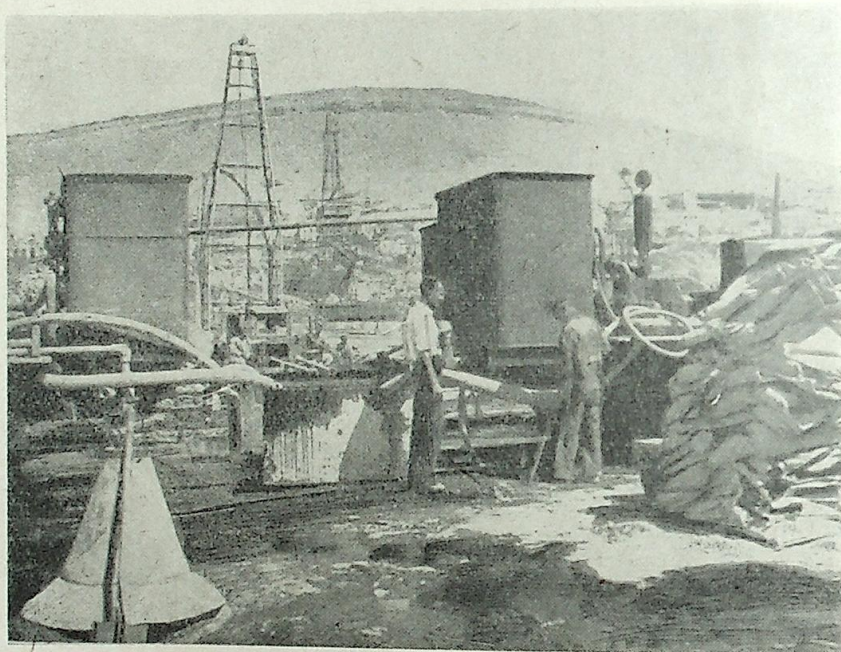


Рис. 5

в) после проверочной закачки, по сигналу, все 4 агрегата прокачивали в скважину цементный раствор; прокачка цемента продолжалась 45 сек;

г) прокачено 4 агрегатами $3,34 \text{ м}^3$ цементного раствора, один из агрегатов продолжал продавку цемента водой, объем продавочной воды был равен $0,5 \text{ м}^3$.

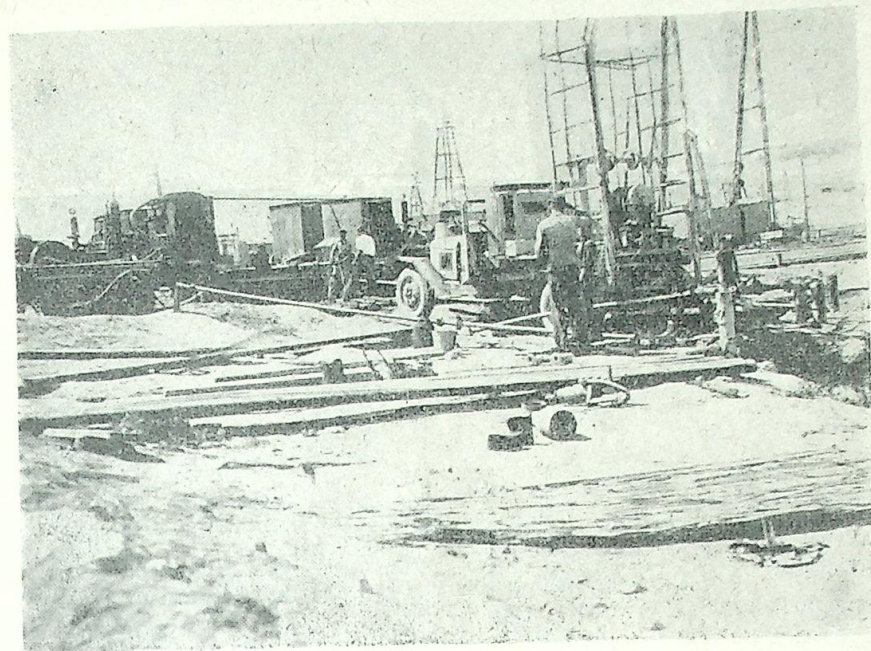


Рис. 6

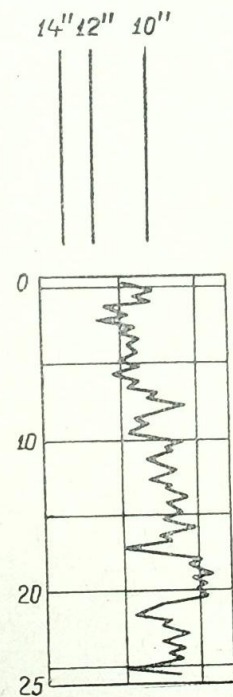


Рис. 7

Скважина № 2.
Забой 30 м,
башмак 1,5 м

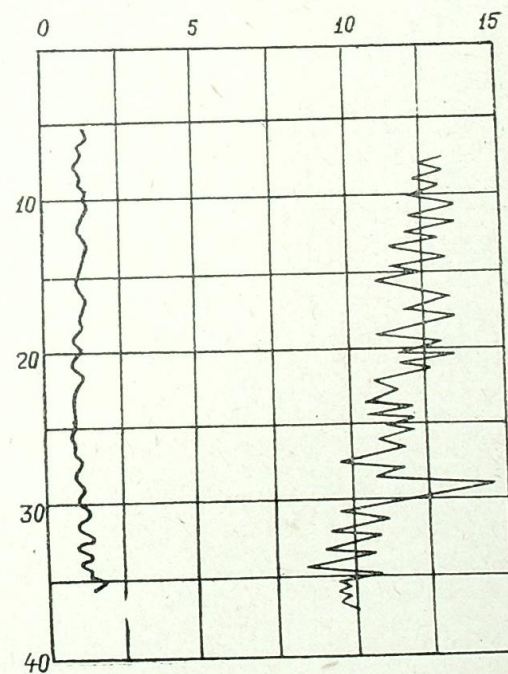


Рис. 8

Скважина № 3. Забой 40 м, замер 5—37 м

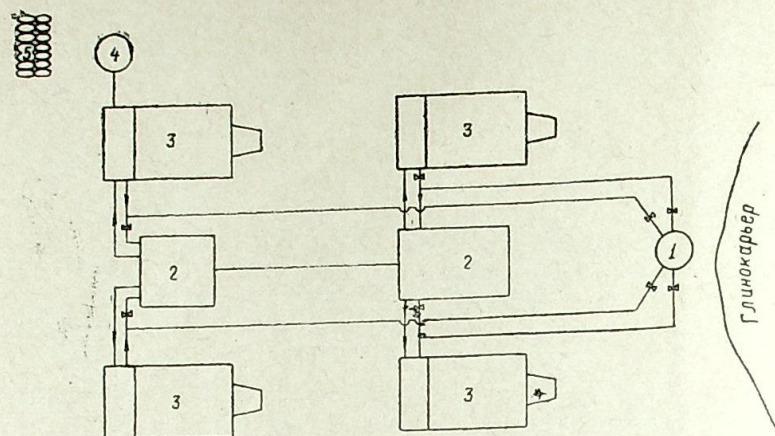


Рис. 9

Схема установки цементировочных агрегатов при цементировке скважин № 3, 4 и 5:

1—скважина, 2—приемные чаны (2 шт.), 3—цементировочные агрегаты (4 шт.), 4—воронка для изготовления цементного раствора, 5—сухой цемент

Скважина № 4. Начало бурения—17 августа. Скважина бурилась долотом РХ диам. $7\frac{3}{4}$ ". После бурения скважина расширялась пикообразным долотом. 31 августа производились каротирование скважины и замеры инклинометром и калибровым каротажем (табл. 4, рис. 10 и 11).

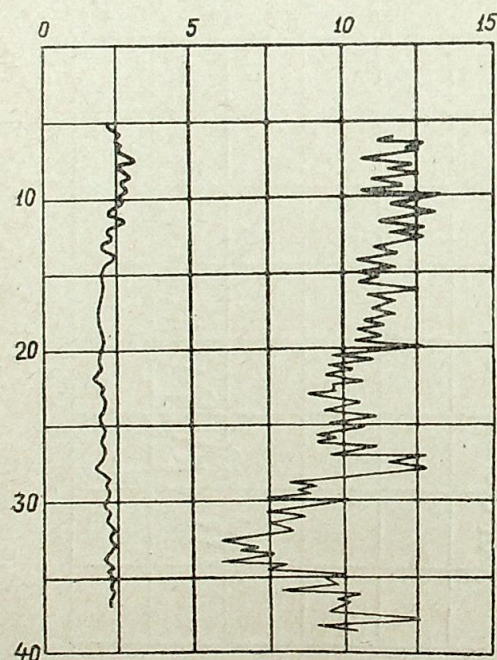


Рис. 10

Скважина № 4. Забой 40 м, башмак 1 м, замер 4—34 м

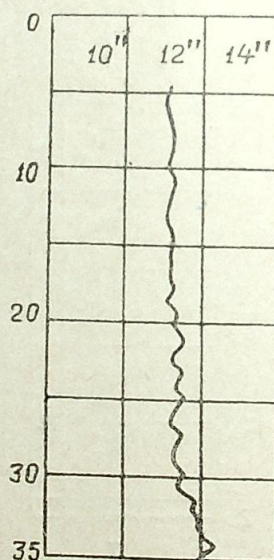


Рис. 11

Скважина № 4. Забой 40 м, направление 1 м 12"

1 сентября в скважину была спущена обсадная колонна диам. $5\frac{3}{4}$ ". С целью отклонения верхней части колонны от оси скважины, на расстоянии 8,5 м от устья на колонне была установлена специальная фонарная планка длиной 0,7 м (рис. 12 и 13).

В тот же день была произведена цементировка скважины 4 агрегатами по вышеуказанной схеме. Технология процесса цементировки скв. № 4 отличалась от предыдущей скв. № 3 лишь тем, что перед прокачкой в скважину цемента, в нее было закачено $0,25 \text{ м}^3$ воды с целью промывки стенок скважины перед поступлением цемента. В течение 46 сек. в скважину было прокачено $2,08 \text{ м}^3$ цементного раствора.

Скважина № 5. Начало бурения—3 сентября. Скважина бурилась долотом РХ диам. $9\frac{3}{4}$ " и была закончена на глубине 12 м.

6 сентября производился замер скважины инклинометром (табл. 5).

Скважина бурилась нормальным глинистым раствором, но перед спуском колонны, 8 сентября, нормальный глинистый раствор был сменен химически обработанным (сульфит-спиртовой бардой) и утяжеленным гематитом, чем эта скважина и отличалась от предыдущих. Данные утяжеленного раствора приведены в табл. 3.

9 сентября в скважину была спущена колонна диам. $6\frac{5}{8}$ " и произведена цементировка 4 агрегатами. Здесь, как и при цементировке скв. № 3, после цемента было закачено $0,1 \text{ м}^3$ воды. Как следует из сказанного, цементировка скв. № 5 отличалась от предыдущих скважин лишь применением утяжеленного глинистого раствора.

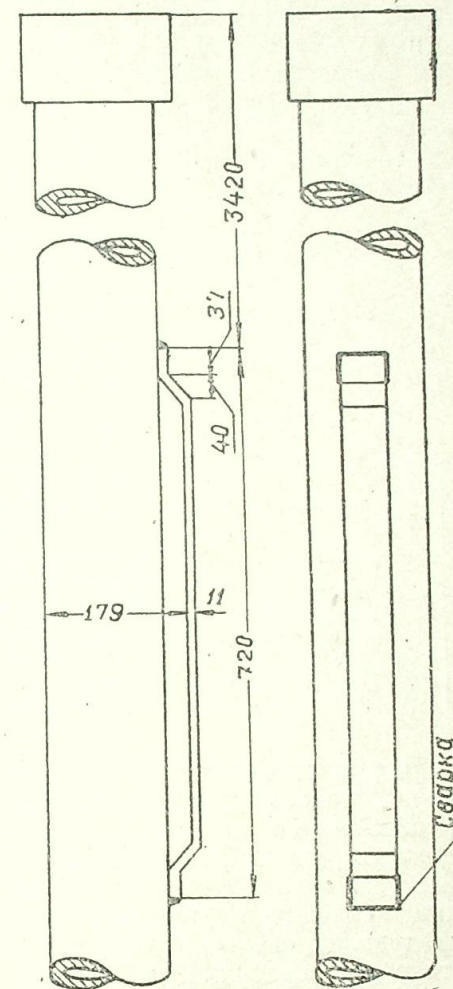


Рис. 12

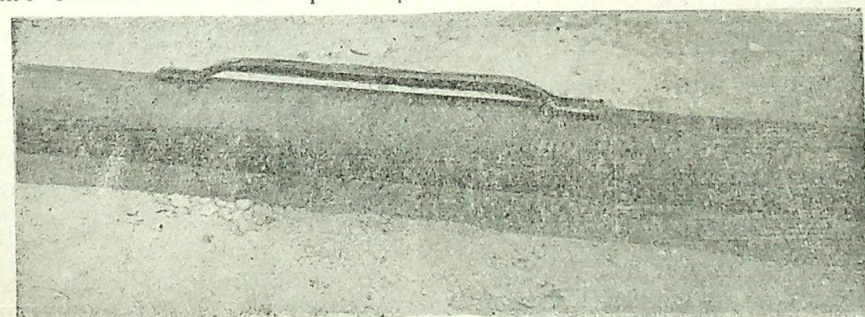


Рис. 13

Некоторые замечания по проведенным работам

При проводке экспериментальных скважин элементы режима бурения не изменялись. Число оборотов долота колебалось в пределах 60—90 в минуту. Осевая нагрузка на долото создавалась за счет веса бурильных труб и «ручного нажима» при помощи ручной лебедки агрегата. Поэтому определить ее величину не представлялось возможным. Механические скорости проходки почти во всех скважинах были близки друг к другу. Это объясняется идентичностью режима бурения, во всех случаях ограниченного возможностями бурильного агрегата.

В таблицах 1, 2, 3, 4 и 5 приведены данные, относящиеся к проводке и цементировке экспериментальных скважин.

Таблица 1

Данные экспериментальных скважин

№ скважины	Глубина, м	Время бурения		Расширение		Промывка		Дата спуска обсадной колонны	Дата цементирования
		1949 г.		дата	продолжительность механич. расширения	дата	продолжительность		
		начало	конец						
1	19,7	12/VII	20/VII	20/VII	1 ч. 50 м.	20/VII	0 ч. 30 м.	20/VII	22/VII
2	30,1	26/VII	1/VIII	2/VIII	3 ч. 50 м.	3 августа	0 ч. 30 м.	4/VIII	4/VIII
3	40,0	4/VIII	12/VIII	13/VIII	6 ч. 40 м.	13/VIII	1 ч. 30 м.	13/VIII	15/VIII
4	40,2	17/VIII	29/VIII	30/VIII	7 ч. 25 м.	—	—	1/IX	1/IX
5	12,2	3/IX	4/IX	Не производилось		8/IX	1 ч. 00 м.	8/IX	9/IX

Для выявления влияния различных факторов на успешность цементировки, точнее—на характер цементного кольца вокруг обсадной колонны, каждая скважина имела особенности, отличающие ее в той или иной степени от других.

Из различий технологического порядка следует отметить: конструкцию скважин, разрыв во времени между концом одних и началом последующих операций, скорость расширения скважин, качество глинистого раствора, промывку перед спуском колонны, скорость восходящего потока цементного раствора (табл. 6) и др.

Экспериментальные скважины пробурены долотами различного типа-размера. Целью бурения скв. № 2 долотами различных диаметров явилось стремление исследовать характер цементного кольца в месте перехода от одного диаметра к другому. Применение различных типов долот одинакового размера, использованных при проводке скв. № 3, ставило целью осветить степень обработки стенок скважин, пробуренных долотами различных типов.

Конструкции обсадных колонн, спущенных в скважины, также отличались. В скважинах № 1 и 2 были спущены колонны с башмаком, в остальные—без башмака.

В скв. № 4 спущена 5³/₄" колонна, а в остальные—6⁵/₈". Спущенная в скв. № 4 обсадная колонна на глубине 8,5 м имела фонарную планку длиной 0,7 м, для определения влияния фонаря.

Таблица 2

Характеристика глинистых растворов

№ скважины	Глубина забоя, м	Параметры глинистого раствора					
		вязкость по СПВ-5, сек.	статическое напряжение сдвига,* мг/см ²	уд. вес, г/см ³	водоотдача, см ³	отстой, %	стабильность
1	5	17	17,0	1,21	—	11	0,091
	12	16	14,5	1,20	—	22	0,167
	14	17	15,0	1,21	47	13	0,100
	15	17	16,5	1,21	—	10	0,120
	17	17	16,0	1,21	—	24	0,160
2	5	17	14,5	1,22	50	12	0,107
	7,5	17	15,0	1,22	64	12	0,089
3	12,7	18	14,8	1,20	69	12	0,091
	27,0	21	16,5	1,19	—	5	0,040
	34,0	22	19,0	1,25	—	5	0,042
4	6,0	17,5	Тонет	1,22	—	10	0,120
	9,0	16,5	—	1,18	—	17	0,090
	17,0	22,0	29,0	1,21	—	3	0,010
	20,0	23,0	33,0	1,24	—	5	0,060
	25,0	19,0	16,0	1,22	—	5	0,030
	30,0	20,0	16,5	1,22	—	5	0,030
	39,0	19,0	—	1,22	—	25	0,100
5	10,0	17,0	Тонет	1,21	70	7	0,010
	12,2	Не текучая	12,0	1,90	10	1	0,009

* Измерялось широметром

Таблица 3

Характеристика глинистых растворов перед спуском колонны

№ скважины	Глубина, м	Параметры глинистого раствора					
		вязкость по СПВ-5, сек.	начало сдвига, мг/см ²	уд. вес, г/см ³	водоотдача, см ³	отстой, %	стабильность
1	19,7	16	15,5	1,20	—	22	—
2	30,1	17	15,2	1,23	55	13	0,100
3	40,0	18	14,5	1,21	—	7	0,045
4*	40,2	—	—	—	—	—	—
5**	12,2	не текучая	12,0	1,90	10	1	0,009

* Характеристика не определялась.

** Химически обработан и утяжелен гематитом.

По окончании бурения производились: расширение скважины, промывка перед спуском колонны, спуск колонны и цементировка. Исключение представляла скв. № 5, где расширение не было произведено.

Промывка скважины перед спуском колонны в среднем продолжалась 0,5—1,5 часа.

Таблица 4

Данные о замере искривления экспериментальных скважин

№ сква- жины	Глубина, м	Угол искривле- ния, ρ	Азимут искривле- ния, φ°	№ сква- жины	Глубина, м	Угол искривле- ния, ρ	Азимут искривле- ния, φ°
1	2	0°30'	278	3	2	0°35'	346
	4	0°25'	283		4	0°50'	326
	6	0°55'	306		6	2°35'	1
	8	1°30'	335		8	2°50'	333
	10	2°45'	325		10	1°50'	350
	12	1°35'	341		12	2°20'	330
	14	2°35'	341		14	3°00'	324
	16	1°40'	344		16	3°05'	341
	3	0°30'	317		18	3°05'	342
	4	1°20'	320		20	2°50'	339
	5	0°50'	285		22	3°15'	340
	6	1°05'	284		24	3°15'	355
	7	0°25'	280		28	3°05'	345
	9	1°00'	314		30	3°40'	341
2	11	0°35'	251	4	3	2°05'	8
	12	2°20'	328		5	1°30'	179
	13	1°40'	327		7	2°15'	350
	14	1°20'	328		9	1°25'	300
	15	1°20'	282		11	2°30'	187
	16	1°15'	272		13	1°40'	300
	17	1°00'	378		15	1°40'	176
	18	0°20'	68		17	0°55'	218
	19	0°55'	1		21	1°45'	176
	21	1°30'	324		23	1°40'	113
	22	2°15'	279		25	1°40'	17
	23	0°45'	327		27	2°15'	211
	24	0°50'	27		31	1°40'	34
	25	1°55'	344		33	1°05'	225
	27	1°55'	255	5	1	0°25'	112
					2	0°25'	157
					5	0°25'	292
					6	0°35'	285

Таблица 5

Лабораторные данные о примененном цементе

№ скважины	Марка цемента	Сроки схватывания			Сопротивление изгибу при хранении в воде, кг/см ²		Постоянство объема
		(морская вода, $\frac{B}{C}=0,5$)					
		т-ра, °С	начало схватывания	конец схватывания	т-ра, °С	через 2 дня	
1	Завод им. Воро- вского	26	3 ч. 55 м.	2 ч. 00 м.	26	33,8	Выдержи- вает
	"	75	1 ч. 35 м.	0 ч. 25 м.	75	63,7	"
2	"	26	3 ч. 25 м.	1 ч. 00 м.	26	34,5	"
3	"	24	5 ч. 05 м.	1 ч. 35 м.	24	32,1	"
3	"	75	1 ч. 40 м.	0 ч. 25 м.	75	63,9	"
		—			26	12,2*	"
					26	12,1*	"
4	Новоросий- ский завод	24	3 ч. 15 м.	1 ч. 15 м.	24	40,0	Выдержи- вает
5	Завод им. Во- ровского	20	3 ч. 55 м.	1 ч. 45 м.	26	31,4	"
					75	63,4	"

* Сопротивление на разрыв образцов цемента на пресной воде при хранении во влажном пространстве (уд. вес цементного раствора—1,5 г/см³, растекаемость—18 см). В первом случае проба из I чана, во втором—из II.

Таблица 6

Расчетные скорости восходящего потока цементного раствора при цементировке экспериментальных скважин

№ сква- жины	Диаметр скважины, м	Наружный диаметр колонны, м	Площадь кольцевого простран- ства, м ²	Продолжи- тельность закачки цем. раст- вора, сек	Объем прокачен- ного цем. раствора, м ³	Скорость подъема цемента, м/сек
1	0,248	0,168	0,026	55	1,00	0,590
2	0,298	0,168	0,048	60	1,56	0,546
	0,248	0,168	0,026	60	1,56	0,996
3	0,248	0,168	0,026	45	3,39	2,814
4	0,197	0,146	0,012	46	2,08	3,292
5	0,248	0,168	0,026	36	1,37	1,467

Примечание. Сква. № 2 пробурена двумя долотами размером 11 3/4" и 9 3/4".

Исследование обнаженных стволов скважин

На рис. 14 показано расположение экспериментальных скважин. Обнаженная часть стволов этих скважин обращена к оврагу у глино-карьера. На рис. 15 дан общий вид стволов скважин, расположенных в следующем порядке (слева направо): № 1, 5, 2, 4 и 3.

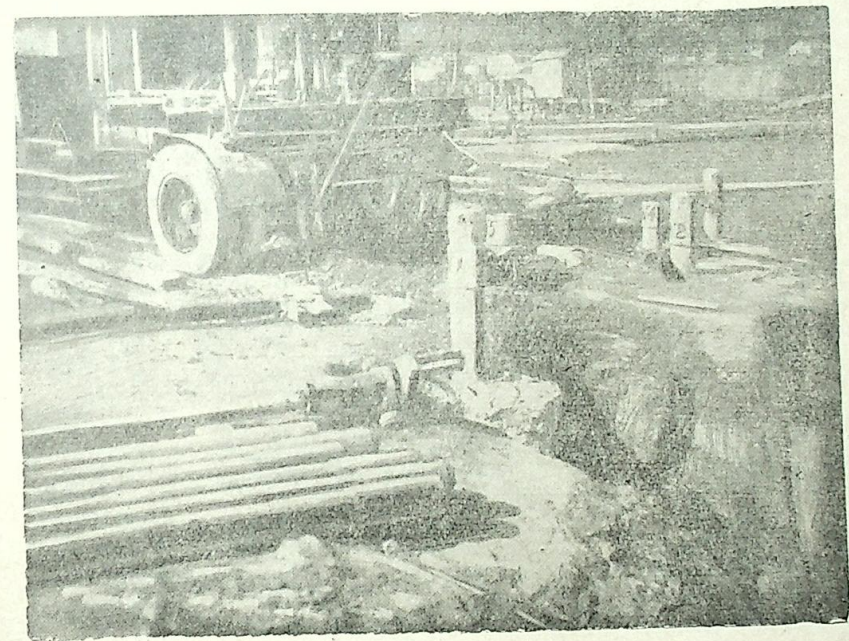


Рис. 14

Обнажение стволов экспериментальных скважин потребовало больших и трудоемких раскопочных работ. Вследствие технических осложнений (обвалов пород и притока грунтовых вод) стволы экспериментальных скважин были обнажены до глубины около 10 м.

У обнаженных стволов скважин были произведены измерения толщины цементного кольца и глинистой прослойки вокруг обсадной

колонны через каждые полметра; при чем в каждом „интервале“ для измерения были взяты три точки: слева, спереди и справа от обсадной колонны (если стать лицом к стволу скважины). Во всех скважинах замер начинался с глубины 1,5–2,0 м.

После обнажения стволов был визуально установлен следующий литологический состав пород, пройденных скважинами до глубины обнажения: от 0 до 1,5 м—наносы; от 1,5 до 2,3 м—глины; от 2,3 до 4 м—пески; от 4 до 10 м—глины.

Скважина № 1. Результаты замера толщины цементного кольца вокруг колонны и глинистой прослойки у стенок скважины даны в табл. 7. Как видно, на глубине 6,5 м глинистая прослойка полностью отсутствует, во всех других интервалах глинистая прослойка имеется, при чем толщина ее меняется в пределах 0,4–4,8 см. На глубине 4,5 м отмечена максимальная толщина цементного кольца—11,5 см (замер слева); в диаметрально противоположной точке толщина цементного кольца равна 5,8 см, что также превышает величину номинального просвета. Наименьшая толщина цемента—1,9 см находится на глубине 3 м (замер справа). Наибольшая суммарная

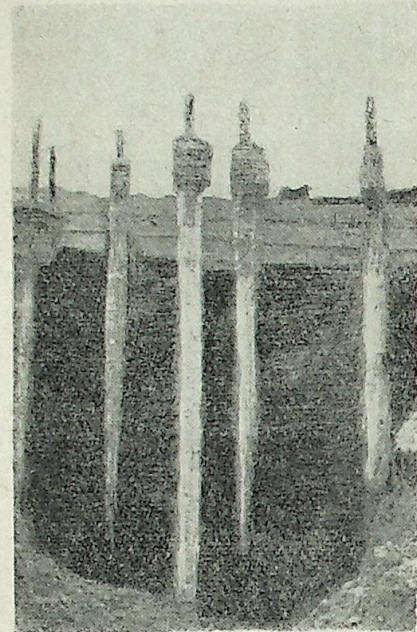


Рис. 15

толщина цементного кольца и глинистой прослойки—13,3 см находится на глубине 4,5 м (замер слева), а наименьшая—3,5 см на глубине 4 м (замер справа).

Таблица 7

Толщина цементного кольца и глинистой прослойки в затрубном пространстве скв. № 1

Глубина, м	Т о л щ и н а , с м					
	с л е в а		с п е р е д и		с п р а в а	
	глинистая прослойка	цемент	глинистая прослойка	цемент	глинистая прослойка	цемент
1,5	—	—	—	—	—	—
2,0	не опреде- лялась	2,8	не опреде- лялась	10,5	не опреде- лялась	5,0
2,5	—	7,0	—	6,2	—	2,0
3,0	1,0	6,2	—	7,0	1,8	2,5
3,5	2,0	3,0*	2,5	5,6	2,5	1,9
4,0	2,1	8,8	0,8	7,5	0,5	3,0
4,5	1,8	11,5	0,0	9,5	0,0	5,8
5,0	3,8	7,2	0,0	9,6	0,4	4,8
5,5	4,7	8,0	4,8	0,5	0,5	4,9
6,0	0,0	8,0	0,5	9,1	1,2	5,5
6,5	0,0	7,8	0,0	8,5	0,0	5,3

* На этом месте между цементом и колонной была глинистая корка толщиной 1 см.

На глубине 3,5 м (замер слева) между цементным кольцом и обсадной колонной обнаружена глинистая корка, толщиной 1 см.

На основании замеров составлена табл. 8, в которой даны средние диаметры цементного кольца и глинистой прослойки.

Таблица 8

Сравнение средних диаметров цементного кольца и глинистой прослойки с номинальным диаметром скв. № 1

Глубина, м	Номиналь- ный диаметр скважины $D_{ном}, см$	Средний диаметр цементного кольца $D_{ср}^{ц}, см$	Средний диаметр глинистой кольца $D_{ср}^{г}, см$	Разность $D_{ном} - D_{ср}^{ц}, см$	Разность $D_{ном} - D_{ср}^{г}, см$
2,0	24,80	33,48	—	— 8,68	—
2,5	24,80	26,98	28,73	— 2,13	— 8,93
3,0	24,80	27,26	29,96	— 2,46	— 5,16
3,5	24,80	24,46	28,13	+ 0,34	— 3,33
4,0	24,80	29,66	31,93	— 4,86	— 7,13
4,5	24,80	34,66	35,86	— 9,86	— 11,06
5,0	24,80	31,20	33,00	— 6,40	— 8,20
5,5	24,80	28,60	34,93	3,80	10,13
6,0	24,80	32,46	33,60	— 7,66	— 8,80
6,5	24,80	31,20	31,20	— 6,40	— 6,40

Средний диаметр цементного кольца определялся следующим образом:

$$D_{ср}^{ц} = D_{к} + \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{1,5}, см$$

где $D_{ср}^{ц}$ —средний диаметр цементного кольца, см;

$D_{к}$ —наружный диаметр колонны, см;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ —толщина цементного кольца слева, спереди и справа, см.

Средний диаметр глинистой прослойки определялся выражением:

$$D_{ср}^{г} = D_{к} + \frac{(\delta_1 + \Delta_1) (\delta_2 + \Delta_2) (\delta_3 + \Delta_3)}{1,5}, см$$

где $D_{ср}^{г}$ —средний диаметр глинистой прослойки, см;

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ —толщина глинистой прослойки слева, спереди и справа, см.

Остальные обозначения те же, что и выше.

Из табл. 8 видно, что номинальный диаметр² скв. № 1 всюду меньше среднего диаметра глинистой прослойки, а также среднего диаметра цементного кольца, определенных замером (исключение составляет глубина 3,5 м где $D_{ср}^{ц} \approx D_{ном}$).

На глубине 4,5 м разность среднего диаметра цементного кольца и номинального диаметра скважины доходит до максимальной величины—9,86 см. На этой же глубине величина $D_{ср}^{г} - D_{ном}$ доходит до 11,06 см.

² Номинальный диаметр скважины соответствует размеру долота.

Наконец, для сравнения номинального диаметра скважины, средних диаметров цементного кольца и глинистой прослойки с показаниями калибрового каротажа составлена табл. 9. Как видно из этой таблицы, диаметр скважины по калибровому каротажу заметно отличается от номинального диаметра скважины $D_{\text{скв}}^{\text{к}} > D_{\text{ном}}$.

Таблица 9

Сравнение диаметров скв. № 1, цементного кольца и глинистой прослойки с показаниями калибрового каротажа

Глубина, м	Диаметр скважины по калибровому каротажу $D_{\text{скв}}^{\text{к}}, \text{см}$	Номинальный диаметр скважины $D_{\text{ном}}, \text{см}$	Средний диаметр цементного кольца $D_{\text{ср}}^{\text{ц}}, \text{см}$	Средний диаметр глинистой прослойки $D_{\text{ср}}^{\text{г}}, \text{см}$	Разность $D_{\text{скв}}^{\text{к}} - D_{\text{ном}}, \text{см}$	Разность $D_{\text{скв}}^{\text{к}} - D_{\text{ср}}^{\text{ц}}, \text{см}$	Разность $D_{\text{скв}}^{\text{к}} - D_{\text{ср}}^{\text{г}}, \text{см}$
2,0	—	24,80	33,48	—	—	—	—
2,5	—	24,80	26,98	28,73	—	—	—
3,0	—	24,80	27,26	29,96	—	—	—
3,5	—	24,80	24,46	28,13	—	—	—
3,6	30,48	24,80	—	—	+ 5,68	—	—
4,0	31,75	24,80	29,66	31,93	+ 6,95	+ 2,09	- 0,18
4,2	30,48	24,80	—	—	+ 5,68	—	—
4,5	32,50	24,80	34,66	35,86	+ 7,70	- 2,16	- 3,36
4,8	34,29	24,80	—	—	+ 9,49	—	—
5,0	32,17	24,80	31,20	33,00	+ 7,37	+ 0,97	- 0,83
5,2	32,38	24,80	—	—	+ 7,58	—	—
5,5	30,48	24,80	28,60	34,93	+ 5,68	+ 1,88	- 4,45
6,0	34,10	24,80	32,46	33,60	+ 9,30	+ 1,64	+ 0,50
6,2	35,56	24,80	—	—	+ 10,76	—	—
6,5	34,80	24,80	31,20	31,20	+ 10,00	+ 3,60	+ 3,60

Диаметр скважины по калибровому каротажу всюду больше среднего диаметра цементного кольца. Средний диаметр глинистой прослойки только на глубине 5,5 м несколько отличается от показания калибрового каротажа $D_{\text{ср}}^{\text{г}} > D_{\text{скв}}^{\text{к}}$. В остальных интервалах разность между ними выражается долями сантиметра.

По данным замера толщины цементного кольца вокруг колонны, глинистой прослойки у стенки скважины и показания калибрового каротажа построена диаграмма (рис. 16), которая наглядно иллюстрирует изменение этих величин по стволу скважины.

Скважина № 2. Результаты замера толщины цементного кольца вокруг колонны и глинистой прослойки у стенок скв. № 2 даны в табл. 10. Из этой таблицы видно, что на глубине 6,5 м глинистая прослойка отсутствует; на глубине 4,5 м толщина глинистой прослойки доходит до максимальной величины—4,8 см (замер слева). Цементное кольцо имеет максимальную толщину—9,5 см на глубине 3 м (замер справа); причем здесь в цементном кольце была обнаружена каверна.

Сравнение средних диаметров цементного кольца и глинистой прослойки с номинальным диаметром данной скважины дано в табл. 11. Из этой таблицы, а также из рис. 17 видно, что вертикальный разрез скв. № 2 имеет несколько иной характер, чем у скв. № 1; в частно-

сти, замечается, что диаметр цементного кольца в скв. № 2 меньше номинального диаметра скважины, что является неблагоприятным фактором.

Таблица 10

Толщина цементного кольца и глинистой прослойки в затрубном пространстве скв. № 2

Глубина, м	Т о л щ и н а, см					
	с л е в а		с п е р е д и		с п р а в а	
	глинистой прослойки	цемента	глинистой прослойки	цемента	глинистой прослойки	цемента
1,5	*	6,2	*	5,0	2,4	7,2
2,0	2,0	6,5	*	4,5	1,5	6,8
2,5	1,6	3,6	2,5	6,0	4,0	5,8
3,0	2,2	5,0	3,2	6,5	2,5	**
3,5	2,8	6,0	1,8	9,0	2,0	9,2
4,0	2,2	3,8	1,8	8,0	2,2	5,9
4,5	4,8	4,0	4,5	7,2	4,5	5,0
5,0	1,3	6,6	1,4	8,3	1,2	3,9
5,5	1,4	6,9	1,0	8,2	2,0	8,1
6,0	1,8	6,6	0,0	9,5	1,8	7,1
6,5	0,0	6,2	0,0	9,0	0,0	7,0

* Замер глинистой прослойки начинался с глубины 1,5 м.

** На этом месте в цементном кольце была каверна.

Таблица 11

Сравнение средних диаметров цементного кольца и глинистой прослойки с номинальным диаметром скв. № 2

Глубина, м	Номинальный диаметр скважины $D_{\text{ном}}, \text{см}$	Средний диаметр цементного кольца $D_{\text{ср}}^{\text{ц}}, \text{см}$	Средний диаметр глинистого кольца $D_{\text{ср}}^{\text{г}}, \text{см}$	Разность $D_{\text{ном}} - D_{\text{ср}}^{\text{ц}}, \text{см}$	Разность $D_{\text{ном}} - D_{\text{ср}}^{\text{г}}, \text{см}$
1,5	29,80	29,06	30,66	+ 0,74	- 0,86
2,0	29,80	23,66	32,16	+ 1,14	- 2,36
2,5	29,80	27,06	32,46	+ 2,74	- 2,66
3,0	29,80	28,30	37,33	+ 1,50	- 3,76
3,5	29,80	32,93	37,33	- 3,13	- 7,53
4,0	29,80	28,60	32,73	+ 1,20	- 2,93
4,5	29,80	27,60	36,80	+ 2,20	- 7,70
5,0	29,80	30,00	32,60	- 0,20	- 2,80
5,5	29,80	33,60	36,53	- 3,80	- 6,73
6,0	29,80	32,66	35,06	- 2,86	- 5,26
6,5	29,80	31,60	31,60	- 1,80	- 1,80

Максимальная разность $D_{\text{ср}} - D_{\text{ном}} = 7,53 \text{ см}$ получена на глубине 3,5 м. Что касается диаметров этой скважины на отдельных интервалах, замеренных калибровым каротажом, то они везде меньше номинального диаметра скважины (лишь на глубине 2 м показания калибрового каротажа больше номинального диаметра на 0,7 см и меньше среднего диаметра глинистой прослойки (табл. 12). На рис. 18 и 19 показаны части обнаженного ствола скв. № 2.

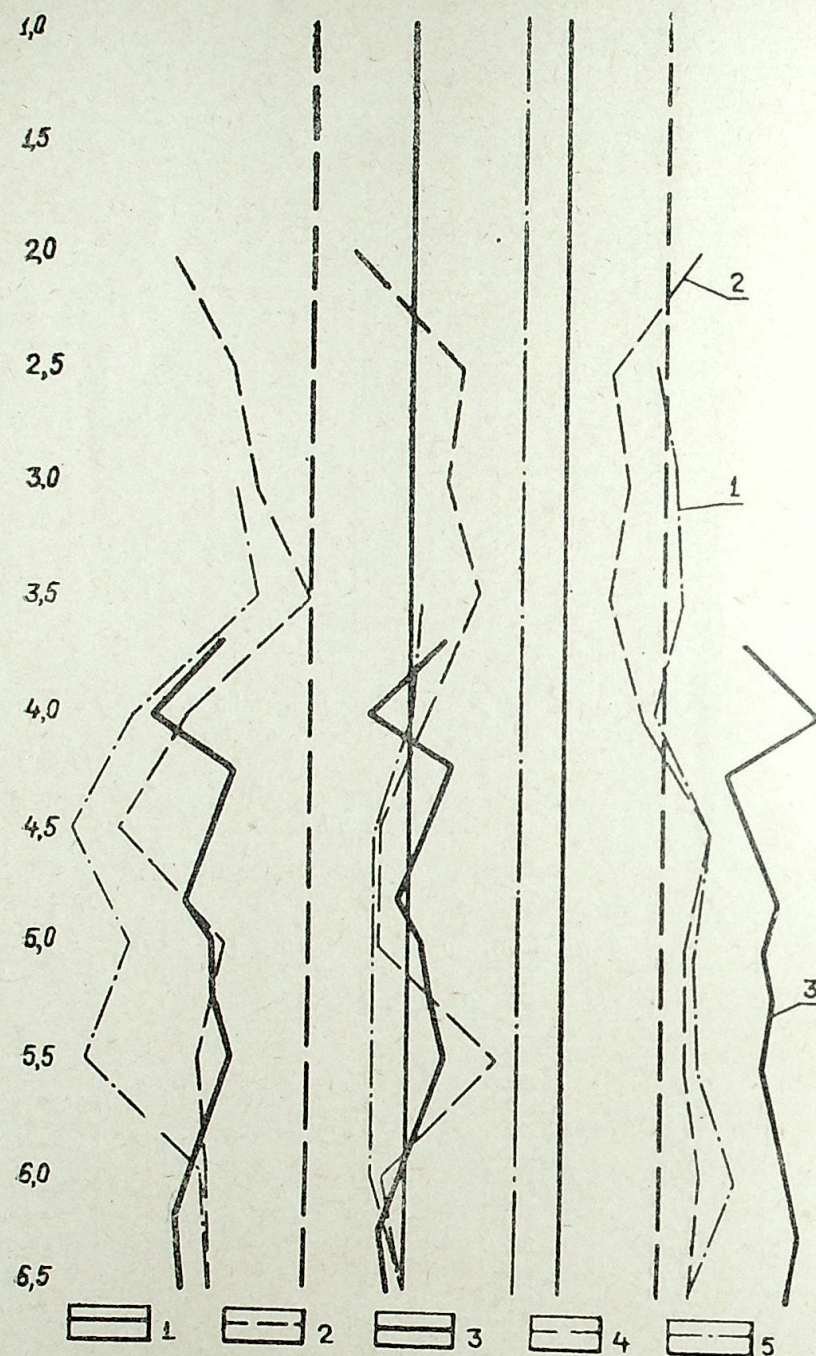


Рис. 16
Скважина № 1

1—схематический продольный разрез обсадной колонны— $6\frac{3}{8}$ "", 2—схематический продольный разрез теоретической скважины (диаметр теоретической скважины равен диаметру долота— $9\frac{3}{4}$ "", 3—схематический продольный разрез по диаграмме калибрового каротажа; 4—граница цементного кольца, 5—граница глинистого кольца. Примечание: Ось скважины, ось обсадной колонны и ось цементного и глинистого кольца условно совмещены. Схематические продольные разрезы скважины со стороны обрыва глинокарьера (глинистое кольцо—1, цементное кольцо—2 и калибровый каротаж—3) повернуты на 90° и условно нанесены от оси скважины, как от наружной поверхности обсадной колонны.

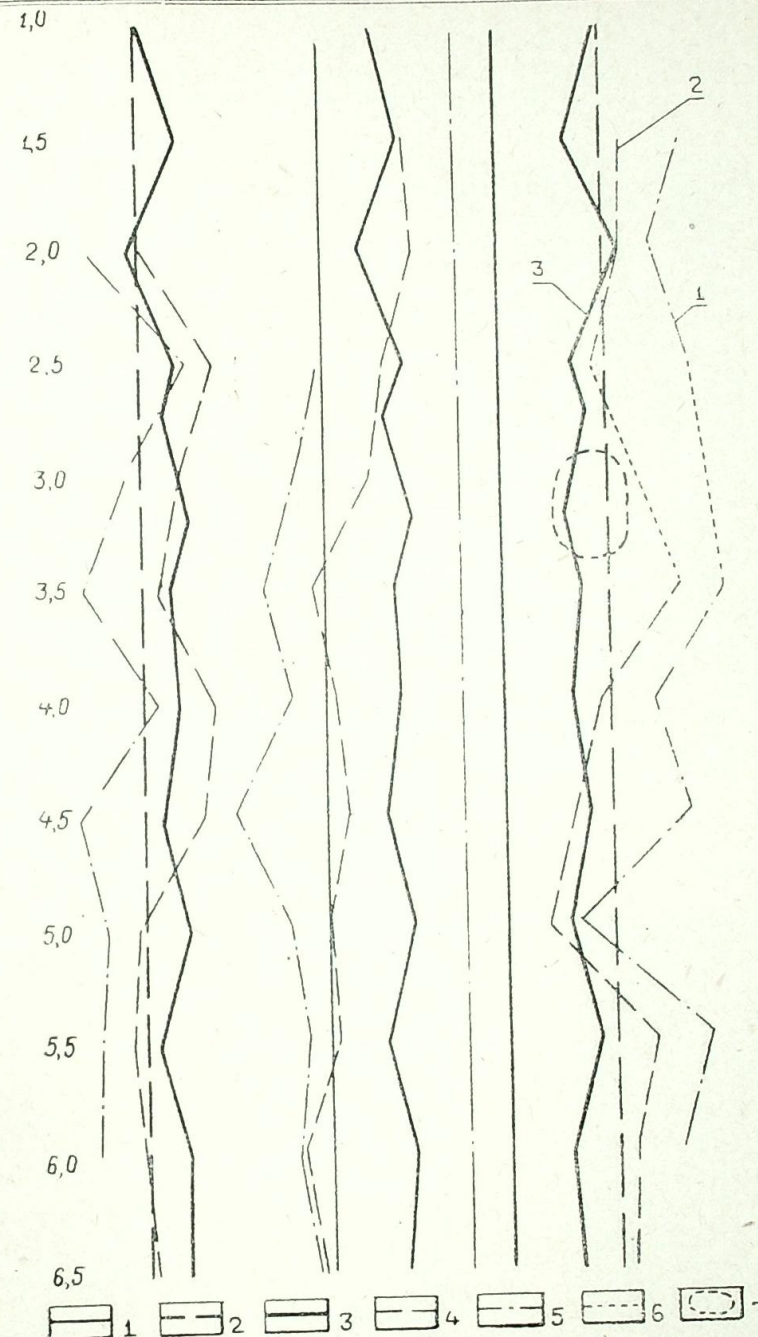


Рис. 17
Скважина № 2

1—схематический продольный разрез обсадной колонны— $6\frac{3}{8}$ "", 2—схематический продольный разрез теоретической скважины диаметр ее равен диаметру долота— $11\frac{3}{4}$ "", 3—схематический продольный разрез скважины по диаграмме калибрового каротажа; 4—граница цементного кольца; 5—граница глинистого кольца; 6—граница цементного и глинистого кольца, полученная соединением замеренных точек; 7—воздушный пузырь в цементе.

Примечания. Ось скважины, ось обсадной колонны и ось цементного и глинистого кольца условно совмещены. Схематические продольные разрезы скважины со стороны обрыва глинокарьера (глинистое кольцо—1, цементное кольцо—2 и калибровый каротаж—3) повернуты на 90° и условно нанесены от оси скважины, как от наружной поверхности обсадной колонны.

Таблица 12

Сравнение диаметров скв. № 2, цементного кольца и глинистой прослойки с показаниями калибрового каротажа

Глубина, м	Диаметр скважины по калибровому каротажу $D_{скв}^k$, см	Номинальный диаметр скважины $D_{ном}$, см	Средний диаметр цемен. кольца $D_{ср}^n$, см	Средний диаметр глинистого кольца $D_{ср}^r$, см	Разность $D_{скв}^k - D_{ном}$, см	Разность $D_{скв}^k - D_{ср}^n$, см	Разность $D_{скв}^k - D_{ср}^r$, см
1,5	27,30	29,80	29,06	30,66	-2,50	-1,76	-3,33
2,0	30,43	29,80	28,66	32,16	+0,68	+1,82	-1,68
2,4	27,10	29,80	—	—	-2,70	—	—
2,5	27,0	29,80	27,06	32,46	-2,20	+0,54	-4,86
2,6	27,94	29,80	—	—	-1,86	—	—
3,0	26,80	29,80	28,30	33,56	-3,00	-1,50	-6,76
3,1	26,67	29,80	—	—	-3,13	—	—
3,5	27,10	29,80	32,93	37,33	-2,70	-5,83	-10,23
4,0	26,76	29,80	28,60	32,73	-3,13	-1,93	6,06
4,5	27,94	29,80	27,60	36,80	-1,86	+0,34	-8,86
5,0	26,25	29,80	30,00	32,60	-3,55	-3,75	-6,35
5,5	28,79	29,80	33,60	36,53	-1,11	-4,81	-7,74
6,0	26,67	29,80	32,66	35,06	-3,13	-5,99	-8,39
6,5	27,09	29,80	31,60	31,60	-2,71	-4,51	-4,51

Скважина № 3. Обнажением и замерами толщины цементного кольца вокруг колонны и глинистой прослойки скв. № 3 установлено следующее: на глубинах 3—3,5 м (рис. 20) и 6—6,5 м имеются каверны до 2,5 см. С глубины 4 м и ниже толщина глинистой прослойки, резко уменьшаясь, доходит до нуля. Максимальная толщина глинистой прослойки в 6,5 см была обнаружена на глубине 3,5 м, а максимальная толщина цемента, равная 17 см, была обнаружена на глубине 4 м (табл. 13).

Номинальный диаметр скв. № 3 везде меньше среднего диаметра глинистой прослойки и цементного кольца (табл. 14).

$D_{ср}^n - D_{ном}$ и $D_{ср}^r - D_{ном}$ имеют свое максимальное значение на глубине 4 м (соответственно +18,00 и +18,66 см). Таким образом, на этой глубине средний диаметр цементного кольца превышает номинальный диаметр скважины более чем на 70%.

Исходя из данных замеров цементного кольца и глинистой прослойки составлена диаграмма (рис. 21), из которой наглядно усматривается, что:

а) диаметр цементного кольца значительно превышает диаметр долота, т. е. номинальный диаметр скважины;

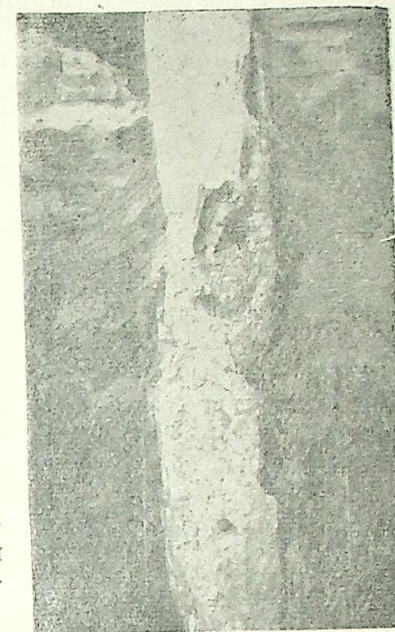


Рис. 20

Таблица 13

Толщина цементного кольца и глинистой прослойки в затрубном пространстве скв. № 3

Глубина, м	Толщина, см					
	слева		спереди		справа	
	глинистой прослойки	цемента	глинистой прослойки	цемента	глинистой прослойки	цемента
1,5	—	6,1	—	6,0	—	6,2
2,0	1,5	4,0*	0,8	4,6	0,8	4,5
2,5	1,2	6,2	1,1	5,2	1,0	2,9
3,0	1,6	5,0	1,2	4,8	4,5	**
3,5	2,0	12,5	5,8	*	6,5	**
4,0	0,5	17,0	0,5	10,5	0,0	11,5
4,5	0,3	9,5	0,0	9,3	0,0	12,5
5,0	0,0	10,2	0,0	10,8	0,0	13,0
5,5	0,0	9,2	0,0	11,2	0,0	10,0
6,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	4,0
6,5	0,0	0,0	0,0	3,5***	0,0	4,0
		4,3		1,9		

* На этом месте между колонной и цементом была каверна.

** На глубине 2,8 м и ниже была раковина.

*** На этом интервале имеется пустота глубиной 2,5 см. Числитель дроби показывает толщину наружного слоя цемента, а знаменатель—внутреннего, т. е. толщину цемента, непосредственно прилегавшего к колонне.

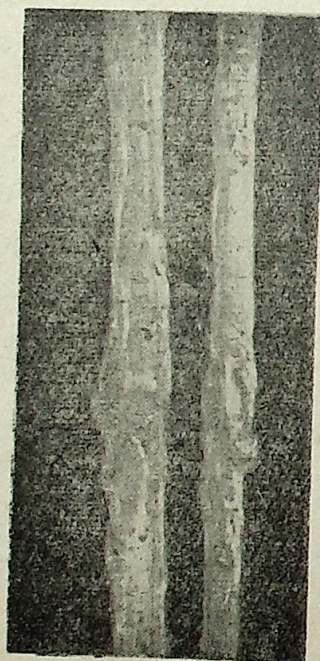


Рис. 18

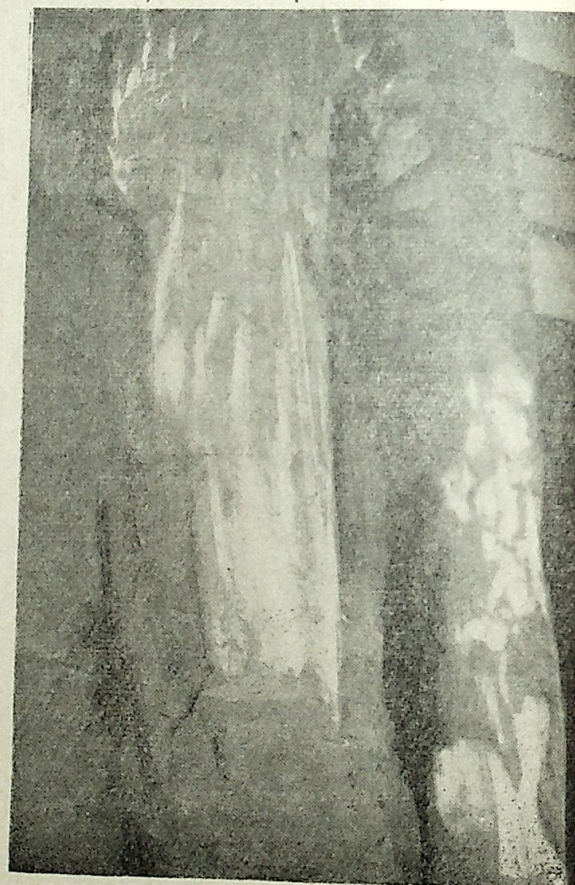


Рис. 19

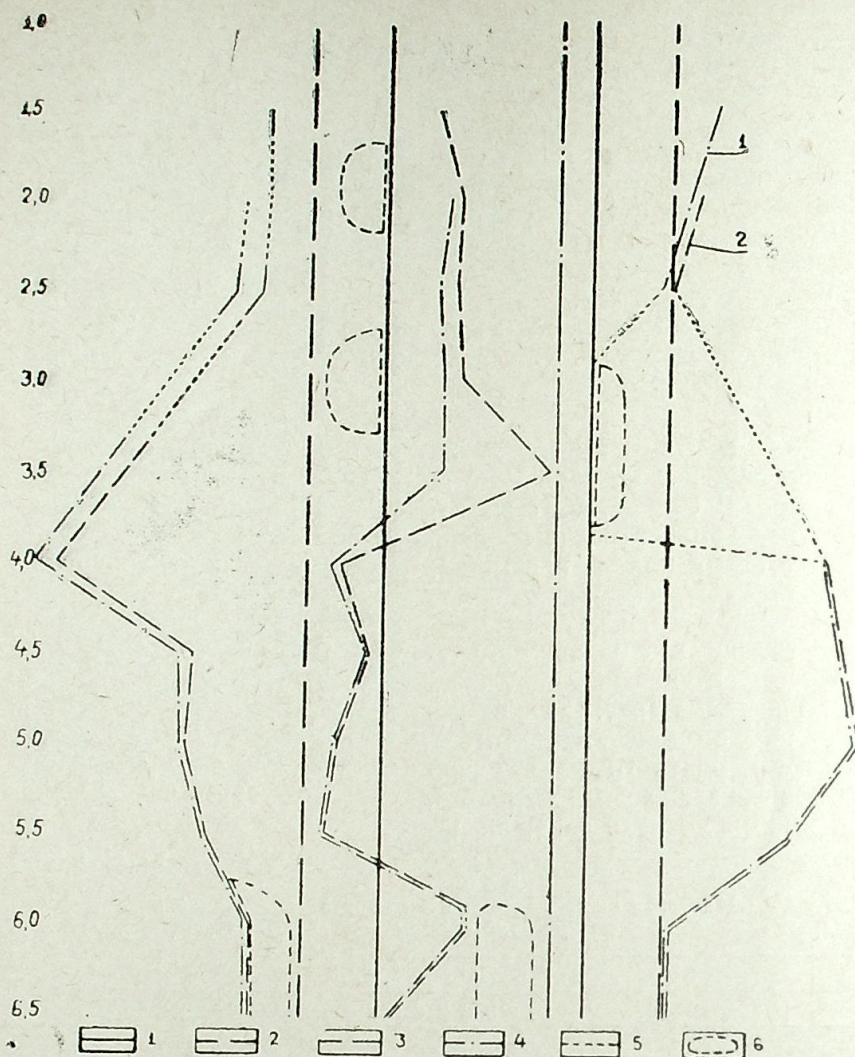


Рис. 21

Скважина № 3

1—схематический продольный разрез обсадной колонны—6 3/8"; 2—схематический продольный разрез теоретической скважины (диаметр теоретической скважины равен диаметру долота—9 3/4"); 3—граница цементного кольца; 4—граница глинистого кольца; 5—граница цементного и глинистого колец, полученная соединением замеренных точек; 6—воздушный пузырь в цементе.

Примечание. Ось скважины, ось обсадной колонны и ось цементного и глинистого колец условно совмещены. Схематические продольные разрезы скважины со стороны обрыва глинокарьера (глинистое кольцо—1, цементное кольцо—2) повернуты на 90° и условно нанесены от оси скважины, как от наружной поверхности обсадной колонны.

б) цементное кольцо на значительном протяжении совпадает с размерами диаметра глинистой прослойки.

Следует отметить, что скорость восходящего потока цементного раствора в скв. № 3 была выше, чем в скважинах № 1 и 2, чем, по-видимому, и объясняется относительно малая толщина глинистой прослойки в этой скважине.

Таблица 14

Сравнение средних диаметров цементного и глинистого кольца с номинальным диаметром скв. № 3

Глубина, м	Номинальный диаметр скважины $D_{ном}, см$	Средний диаметр цементного кольца $D_{ср}^ц, см$	Средний диаметр глинистого кольца $D_{ср}^г, см$	Разность $D_{ном} - D_{ср}^ц, см$	Разность $D_{ном} - D_{ср}^г, см$
1,5	24,80	29,00	—	—4,20	—
2,0	24,80	25,90	27,96	—1,10	—3,16
2,5	24,80	26,33	28,53	—1,53	—3,73
3,0	24,80	26,40	31,26	—1,60	—6,46
3,5	24,80	25,13	34,67	—0,33	—9,87
4,0	24,80	42,80	43,46	—18,00	—18,66
4,5	24,80	37,66	37,66	—12,86	—13,06
5,0	24,80	39,46	39,46	—14,66	—14,66
5,5	24,80	39,93	36,93	—12,13	—12,13
6,0	24,80	26,66	26,66	—1,86	—1,86
6,0	24,80	29,26	29,26	—4,46	—4,46

На рис. 22 показана часть обнаженного ствола скв. № 3.

Скважина № 4. В скв. № 4, начиная с глубины 4 м и более, глинистая прослойка отсутствует (табл. 15); ее максимальная толщина обнаружена на глубине 3 м (замер справа). Средний диаметр цементного кольца и глинистой корки этой скважины, особенно в нижних интервалах колеблется в очень узких пределах (табл. 16).

Таблица 15

Толщина цементного кольца и глинистой прослойки в затрубном пространстве скв. № 4

Глубина, м	Толщина, см					
	слева		спереди		справа	
	глинистой прослойки	цемента	глинистой прослойки	цемента	глинистой прослойки	цемента
1,5	*	5,0	*	6,3	0,5	6,5
2,0	0,4	6,3	*	6,2	0,5	6,4
2,5	0,4	6,1	*	5,2	0,8	7,2
3,0	0,9	4,9	1,0	5,1	1,3	5,0
3,5	1,0	4,2	2,3	5,5	1,0	5,7
4,0	0,0	0,5***	0,0	4,5	0,0	7,5**
		0,3				
4,5	0,0	3,1	0,0	3,6	0,0	4,5
5,0	0,0	4,0	0,0	3,4	0,0	3,8
5,5	0,0	4,0	0,0	3,4	0,0	4,0
6,0	0,0	3,9	0,0	3,2	0,0	3,9
6,5	0,0	4,0	0,0	3,3	0,0	4,0

* В этих местах толщина глинистой прослойки не определена.

** Между цементом и колонной была пустота.

*** На этом месте в цементе имеется глинистая корка толщиной 25 см (числитель показывает наружный слой, а знаменатель—внутренний).

Здесь средний диаметр цементного кольца и глинистой прослойки, как и в скв. № 1, везде больше номинального диаметра скважины. В этой скважине номинальный диаметр, средние диаметры глинистой прослойки и цементного кольца всюду в значительной степени меньше ее диаметра, определенного калибровым каротажем (табл. 17).

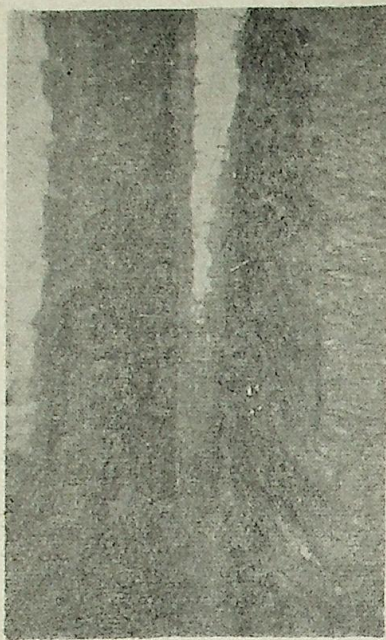


Рис. 22

Как видно из этой таблицы, а также из рис. 23, показания калибрового каротажа по этой скважине вызывают недоумение, так как трудно объяснить тот факт, что по показаниям калибрового каротажа диаметр скважины на 8 см больше диаметра глинистой прослойки, равно как и цементного кольца: между тем, как в предыдущих скважинах, так и здесь, диаметр цементного кольца превышает номинальный диаметр скважин. Таким образом, получается, что диаметр скважины по калибровому каротажу превышает номинальный ее диаметр более чем в 1,5 раза.

Скважина № 5. Замерами толщины глинистой прослойки у стенок скв. № 5 (таблицы 18 и 19) установлено, что в некоторых местах ствола прослойка, полученная от обработанного и утяжеленного гематитом глинистого раствора, резко отличается от прослойки номинального глинистого раствора; это особенно было заметно на глубине 2,5—4,5 м.

Таблица 16

Сравнение средних диаметров цементного и глинистого кольца с номинальным диаметром скв. № 4

Глубина, м	Номинальный диаметр скважины $D_{ном}, см$	Средний диаметр цементного кольца $D_{ср}^ц, см$	Средний диаметр глинистого кольца $D_{ср}^г, см$	Разность $D_{ном} - D_{ср}^ц, см$	Разность $D_{ном} - D_{ср}^г, см$
1,5	19,70	26,46	27,46	— 6,76	— 7,76
2,0	19,70	27,20	28,10	— 7,50	— 8,40
2,5	19,70	26,93	28,13	— 7,23	— 8,43
3,0	19,70	24,60	26,73	— 4,90	— 7,03
3,5	19,70	24,86	27,73	— 5,16	— 8,03
4,0	19,70	24,90	24,80	— 5,10	— 5,10
4,5	19,70	22,06	22,06	— 2,36	— 2,36
5,0	19,70	22,06	22,06	— 2,36	— 2,36
5,5	19,70	22,26	22,26	— 2,56	— 2,56
6,0	19,70	21,93	21,93	— 2,23	— 2,23
6,5	19,70	22,13	22,13	— 2,43	— 2,43

Таблица 17

Сравнение диаметров скв. № 4, цементного кольца и глинистой прослойки с показаниями калибрового каротажа

Глубина, м	Диаметр скважины по калибровому каротажу $D_{св}^к, см$	Номинальный диаметр скважины $D_{ном}, см$	Средний диаметр цементного кольца $D_{ср}^ц, см$	Средний диаметр глинистого кольца $D_{ср}^г, см$	Разность $D_{св}^к - D_{ном}, см$	Разность $D_{св}^к - D_{ср}^ц, см$	Разность $D_{св}^к - D_{ср}^г, см$
1,5	—	19,70	27,46	27,46	—	—	—
2,0	—	19,70	26,20	28,10	—	—	—
2,5	—	19,70	26,93	28,13	—	—	—
3,0	—	19,70	24,60	26,73	—	—	—
3,5	—	19,70	24,86	27,73	—	—	—
4,0	—	19,70	24,86	24,80	—	—	—
4,5	—	19,70	22,06	22,06	—	—	—
4,8	30,48	19,70	—	—	+ 10,78	—	—
5,0	30,48	19,70	22,06	22,06	+ 10,78	+ 8,42	+ 8,42
5,5	30,48	19,70	22,26	22,26	+ 10,78	+ 8,42	+ 8,42
6,0	30,06	19,70	21,93	21,93	+ 10,36	+ 8,14	+ 8,14
6,5	30,06	19,70	22,13	22,13	+ 10,36	+ 7,93	+ 8,93

Таблица 18

Толщины цементного кольца и глинистой прослойки в затрубном пространстве скв. № 5

Глубина, м	Толщина, см								
	слева			спереди			справа		
	глинистой прослойки		цемента	глинистой прослойки		цемента	глинистой прослойки		цемента
	нормального раствора	утяжеленного раствора		нормального раствора	утяжеленного раствора		нормального раствора	утяжеленного раствора	
1,5	*	—	2,5	*	—	3,5	1,8	—	5,2
2,0	*	—	3,8	*	—	6,8	*	—	5,5
2,5	2,2	3,0	0,0	0,6	1,0	4,6	1,3	1,2	3,5
3,0	3,0	2,0	0,5	0,0	2,5	3,2	2,0	0,2	3,5
3,5	1,2	1,5	3,0	3,0	—	2,8	2,5	—	2,8
4,0	7,0	0,5	1,5	0,5	0,8	5,0	1,5	1,2	8,2
4,5	5,0	—	1,8	0,0	—	7,5	5,0	—	3,5
5,0	3,0	—	2,1	1,2	—	1,7	3,3	—	2,8
5,5	2,0	—	3,0	1,1	—	1,8	2,2	—	3,2
6,0	0,8	—	4,0	0,5	—	3,0	1,0	—	2,7
6,5	0,5	—	4,0	0,7	—	0,8**	0,4	—	3,0

* На этих местах толщина глинистой прослойки не определялась.
** Ниже этого места была пустота—ни цемента, ни глинистой корки не было.

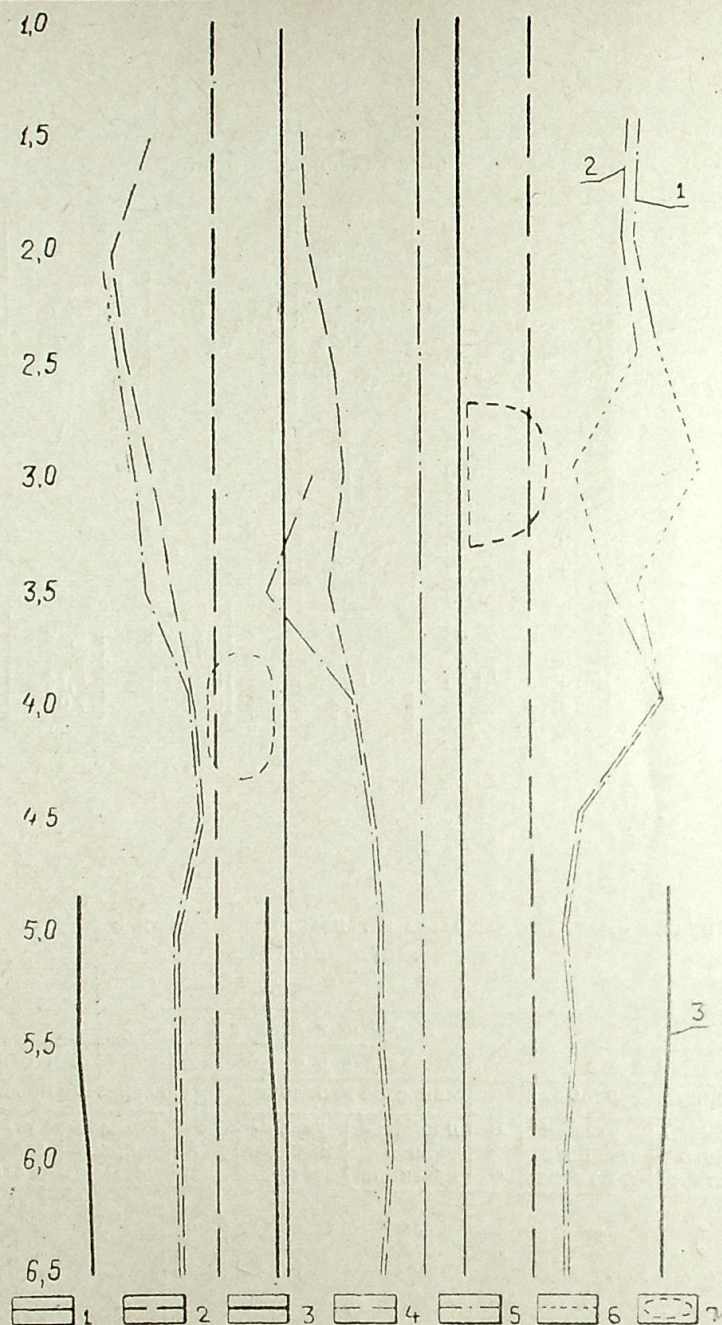


Рис. 23
Скважина № 4

1—схематический продольный разрез обсадной колонны—5 1/4", 2—схематический продольный разрез теоретической скважины (диаметр теоретической скважины равен диаметру долота—7 1/4"), 3—схематический продольный разрез скважины по диаграмме калибрового каротажа, 4—граница цементного кольца, 5—граница глинистого кольца, 6—граница цементного и глинистого колец, полученная соединением замеренных точек, 7—воздушный пузырь в цементе.

Примечание. Ось обсадной колонны и ось цементного и глинистого колец условно совмещены. Схематические продольные разрезы скважины со стороны обрыва глинокарьера (глинистое кольцо—1, цементное кольцо—2 и калибровый каротаж—3) повернуты на 90° и условно нанесены от оси скважины, как от наружной поверхности обсадной колонны.

Таблица 19

Сравнение диаметров скв. № 5, цементного кольца и глинистой прослойки

Глубина, м	Номинальный диаметр скважины $D_{ном}$, см	Средний диаметр цементного кольца $D_{ср}^ц$, см	Средний диаметр глинистого кольца $D_{ср}^г$, см	Разность $D_{ном} - D_{ср}^ц$, см	Разность $D_{ном} - D_{ср}^г$, см
1,5	24,80	24,26	27,86	+ 0,54	- 3,06
2,0	24,80	28,86	—	- 4,06	—
2,5	24,80	22,20	28,60	+ 2,60	- 3,8
3,0	24,80	21,60	28,13	+ 3,14	- 3,33
3,5	24,80	21,53	27,00	+ 3,27	- 2,20
4,0	24,80	26,60	34,26	1,80	- 9,46
4,5	24,80	25,33	32,00	- 0,53	- 5,20
5,0	24,80	21,20	26,20	+ 3,60	- 1,80
5,5	24,80	22,13	25,67	+ 2,67	- 0,37
6,0	24,80	22,60	24,13	+ 2,20	+ 0,67
6,5	24,80	22,20	23,86	+ 2,60	+ 0,94

Глинистые прослойки, полученные в стволе на этой глубине от нормального и утяжеленного растворов, были отличны друг от друга по цвету и по толщине (рис. 24). Однако, наряду с этим, в стволе этой же скважины, на глубине 4,5—5,5 м, образованные глинистые прослойки были обычными, без большой примеси гематита и с относительно меньшей толщиной.

Следует особо отметить, что на глубине 4 м толщина глинистой прослойки в этой скважине достигала 7,5 см, а толщина цементного кольца едва 1,5 см, т. е. толщина глинистой прослойки в пять раз превышала толщину цемента. Такое соотношение толщин глины и цемента не наблюдалось ни в одной из предыдущих скважин. По-видимому, наличие гематита отрицательно влияет на получение нормальной толщины цементного кольца.

Фактический диаметр этой скважины, как и всех других, заметно превышает номинальный.

На рис. 25 дана диаграмма замеренных и номинальных размеров ствола скв. № 5.

Из приведенных данных о замерах всех 5 экспериментальных скважин видно, что номинальный диаметр скважин всегда отличается от диаметра цементного кольца.

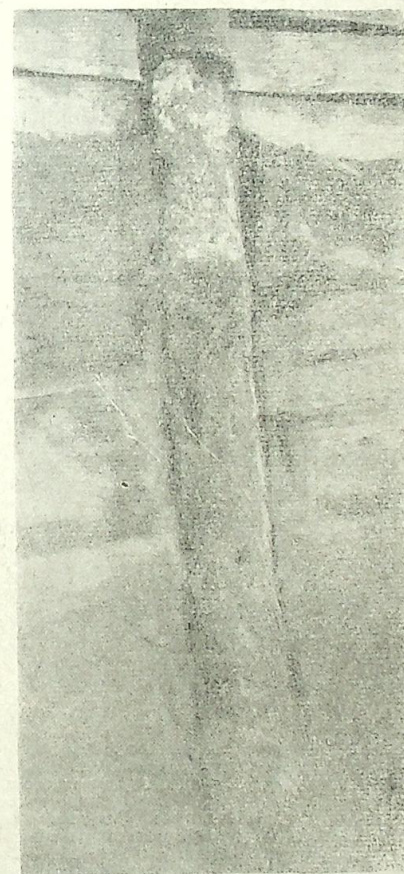


Рис. 24

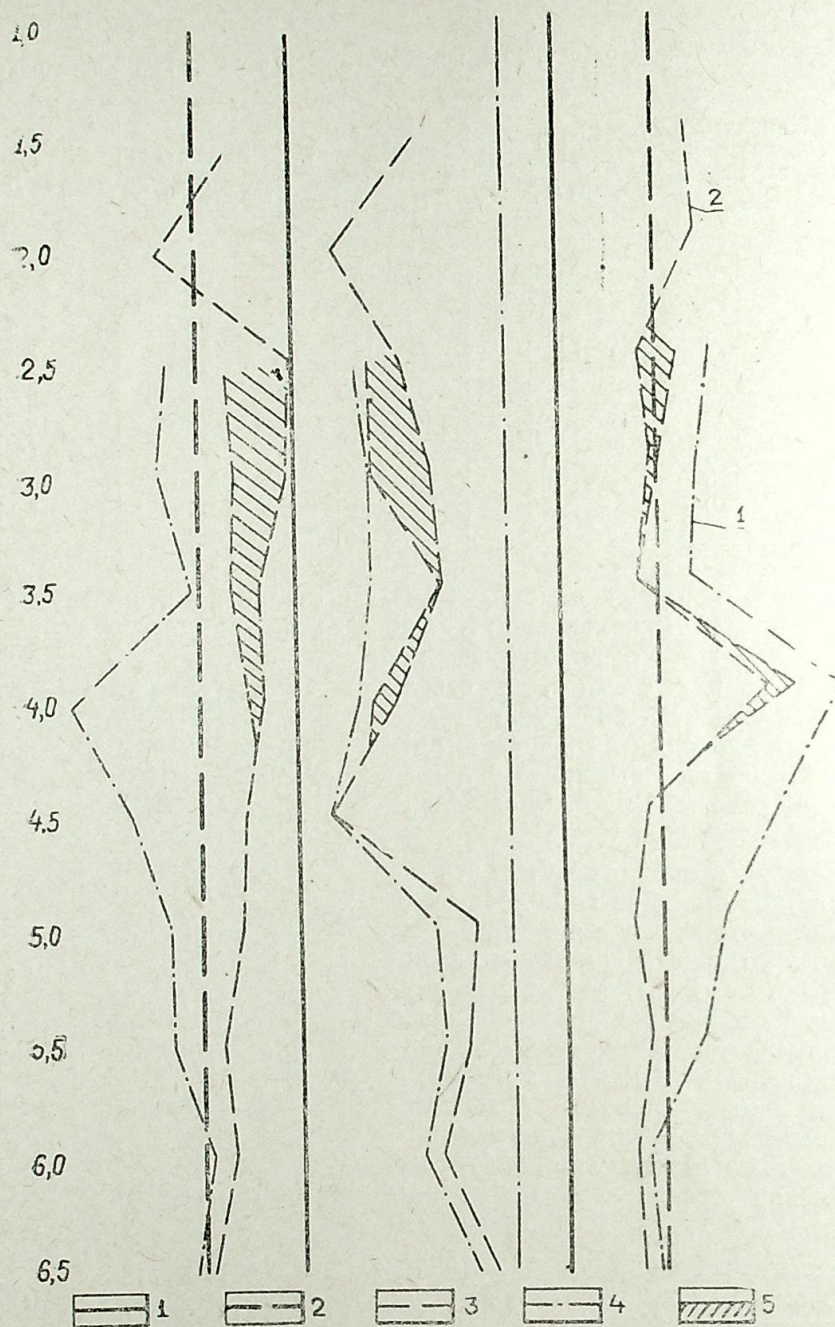


Рис. 25
Скважина № 5

1—схематический продольный разрез обсадной колонны— $6\frac{3}{8}$ ", 2—схематический продольный разрез теоретической скважины (диаметр теоретической скважины равен диаметру долота— $9\frac{3}{4}$ "), 3—граница цементного кольца, 4—граница глинистого кольца, 5—утяжеленный гематитом глинистый раствор

Примечание. Ось скважины, ось обсадной колонны и ось цементного и глинистого кольца условно совмещены. Схематические продольные разрезы скважины со стороны обрыва глинокарьера (глинистое кольцо—1, цементное кольцо—2) повернуты на 90° и условно нанесены от оси скважины как от наружной поверхности обсадной колонны

Расчетные скорости восходящего потока цементного раствора при цементировке экспериментальных скважин, приведенные в табл. 20, были подсчитаны по номинальному диаметру скважин. Вследствие отличия диаметра цементного кольца от номинального, фактическая скорость потока также отличалась от расчетной. Поэтому измерением средних диаметров цементного кольца на различных глубинах (таблицы 9, 11, 14, 16 и 19) были найдены осредненные диаметры цементного кольца для каждой скважины и после этого были подсчитаны средние скорости подъема цементного раствора в кольцевом пространстве.

Таблица 20

Скорости восходящего потока цемента при цементировке экспериментальных скважин

№ скважины	Осредненный диаметр цемент. кольца, м	Наружный диаметр колонны, м	Осредненная площадь цемент. кольца, м ²	Объем прокаченного в скважину цемент. раствора, м ³	Время прокачки цемент. раствора, сек	Средняя скорость восходящего потока цемента $v_{\text{ср}}$, м/сек	Расчетная скорость восходящего потока цемента $v_{\text{рас}}$, м/сек	Отношение, $\frac{v_{\text{рас}}}{v_{\text{ср}}}$
1	0,2908	0,168	0,04420	1,0	65	0,349	0,590	1,69
2	0,2992	0,168	0,04805	1,56	60	0,529	0,546	1,01
3	0,3141	0,168	0,05527	3,328	45	1,362	2,844	2,08
4	0,2412	0,146	0,02898	2,08	46	1,563	3,292	2,11
5	0,2351	0,168	0,02123	1,373	36	1,810	1,467	0,81

Сравнение расчетной и фактической скоростей восходящего потока цементного раствора приведено на рис. 26. Как видно из табл. 20, за исключением скв. № 5, во всех остальных скважинах средняя скорость восходящего потока цементного раствора меньше соответствующей расчетной скорости. В этом отношении сильно отличаются скважины № 3 и 4, где величина $\frac{v_{\text{ср}}}{v_{\text{рас}}} < 0,5$.

Анализ проведенных работ позволяет сделать некоторые выводы, направленные к улучшению качества цементировки скважин.

По нашему мнению, они представляют для нефтяников практический интерес, так как освещают неизвестными до этого цифрами и фактами хотя бы часть вопросов всего сложного процесса цементировки скважин.

Проведенные эксперименты показали, что существенным фактором, определяющим успешность цементировки скважин, при прочих равных условиях, является скорость восходящего потока цементного раствора.

При диаметрах скважины $7\frac{3}{4}$ " и колонны $5\frac{3}{4}$ " цементное кольцо в достаточной степени монолитно и прочно и ни в чем не уступает цементному кольцу при диаметрах скважины и колонны соответственно $9\frac{3}{4}$ " и $6\frac{3}{8}$ ". Поэтому с точки зрения качества цементировки уменьшение просвета скважины не должно вызывать сомнений.

Несмотря на относительную тщательность проработки ствола (механическая скорость расширения порядка 10 м/час), во всех экспе-

риментальных скважинах, пробуренных нормальным глинистым раствором без обработки, с водоотдачей 45—70 см³, между стенкой скважины и цементным кольцом была обнаружена глинистая прослойка, толщиной, достигающей в отдельных случаях до 5—6 см.

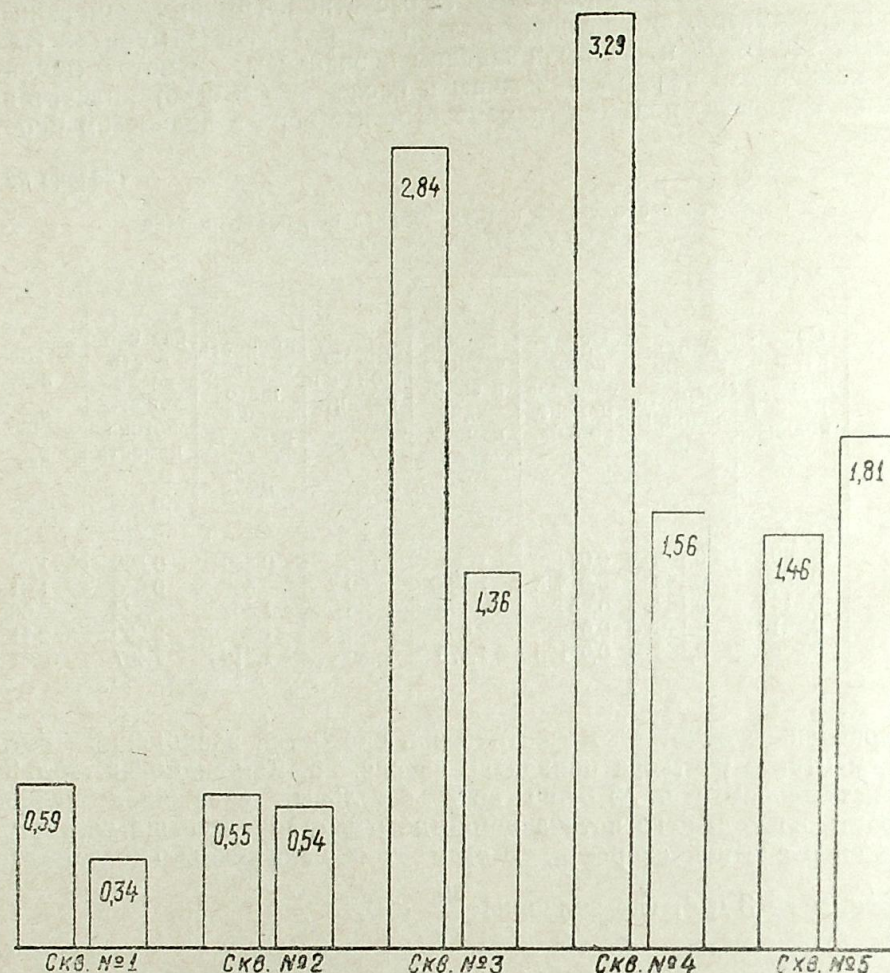


Рис. 26

Примечание. Цифрами показаны скорости восходящего потока цементного раствора в м/сек. На левых столбиках даны расчетные, а на правых — фактические скорости для каждой скважины.

Отклонение 5³/₄" колонны в 7³/₄" скважине при помощи фонарной планки, уже на расстоянии 2,5 м от места установки ее было полностью погашено. Следовательно, принятое на практике расстояние между фонарями (10—12 м) велико.

При практическом отсутствии разрыва во времени между окончанием спуска колонны и цементировкой, а также и при наличии такого разрыва во времени, достигающего более 30 часов, заметной разницы в форме и монолитности цементного кольца экспериментальных скважин не было наблюденно.

Замер диаметров экспериментальных скважин калибровым каротажом показал расхождение с непосредственно замеренными диаметрами, произведенными после обнажения стволов скважин.

Сэнаеэ яхын шэраитдэ гуюларын сементлэнмэсинин тэдгиги

ХҮЛАСЭ

Гуюларын сементлэнмэсн кейфийэтннэ тэ'сир кэстэрэн амиллэрин өйрэнилмэсн мэгсэдилэ 1949-чу илдэ Азэрбайчан ССР Элмлэр Академиясы Нефт Институтунда газыма технолокиясы лабораториясы тэрэфиндэн Бибиһейбэт саһэсиндэ сэнаеэ яхын шэраитдэ гуюларын сементлэнмэсинин тэчрүбэви тэдгигаты апарылмышды. Бу тэдгигатын материаллары о заман лазыми дэрэчэдэ чап эдилэ билмэмишди. Тэдгигатын орижиналлыгы, кениш мигяса апарылмасы вэ нэтичэлэри, бизчэ, инди дэ истэр элми, истэрсэ дэ тэчрүбэви эһэмийэтнни итирмэмишдир. Одур ки, бу материалын чап олунмасы файдалы көрүндү.

Сементлэнмэ просесини өйрэнмэк үчүн саһэдэ беш хүсуси гую газылды, бу гуюлара горуючу кэмир эндирилди вэ сонра да гуюлар сементлэнди. Бу тэчрүбэви гуюларын дэринлийи 12 м-дэн 40 м-э гэдэр иди. Гуюларын газылан вэ сементлэнэн заман, газыма режими вэ сементлэнмэсинин параметрлэри гейд эдилив, сонра тэһлил эдилирди.

Гуюларын диаметрлэри сэнаемиздэ гэбул эдилмиш гиймэтлэрэ мувафиг иди.

Сементлэнмиш гуюларын көвдэлэри сонрадан газылыб ачылды вэ истэр сементин, истэрсэ дэ кил габыгынын кэмэр вэ гую дивары этрафында ерлэшмэсн өйрэнилди.

Тэдгигат нэтичэсиндэ бир сыра мараглы масэлэлэр мүййэн эдилди; о чүмлэдэн айдын олду ки, сементлэмэ просесиндэ сементин галхма сүр'этннин эһэмийэти бөйүкдүр вэ гуюда аралыг масафэсинин кичилдилмэсн сементлэнмэсинин кейфийэтнни азалтмыр.

Т. Ə. МƏЛИКОВА

ЭЛЕКТРИК САҺƏЛƏРИНДƏ ЭМУЛСИЯЛАРЫН КОАЛЕСЕНСИЯЛАШМА ПРОСЕСИНИН ТƏДГИГИ

Эмулсияларын коалесенсиялашма просеси сабит кərкинлик, нормал тезликли (50 *герс*) дəйишən кərкинлик, униполяр вə дəйишən гүтблү далғашəкилли импульс кərкинликлəринин саһəлəриндə тəдгиг эдилмишдир.

Тəдгигат нефт вə трансформатор яғы—су гарышығындан ибарət эмулсиялар үзəриндə апарылмышдыр. Просес һәм телескопик окуляр васитəsi илə һəчм дахилиндə, һәм дə микроскоп алтында киношəклини чəкмək йолу илə мүстəви үзəриндə өйрəнилмишдир.

САБИТ КƏРКИНЛИК САҺƏСИНДƏ АПАРЫЛМЫШ ТƏДГИГАТ

1. Коалесенсия просесинин һəчм дахилиндə тəдгиги

Нефт эмулсиялары шəффаф олмадығы үчүн тəчрүбələr сүн'и сурəтдə һазырланмыш трансформатор яғы—су гарышығындан ибарət эмулсия үзəриндə апарылмышдыр. Тəдгигат кəстəрир ки, назик тəбəгəлəрдə нефт вə яғ эмулсияларын коалесенсиялашмасынын характери эйнидир. Бу эмулсияларын коалесенсиялашма просесинин һəчмдə дə эйни чүр кедəчəйини сөйлəмək олар. Буна кəрə яғ эмулсияларын үзəриндə апарылмыш тəдгигатын нəтичəлəri нефт эмулсияларына да аид эдилə билэр.

Тəчрүбə заманы эмулсиянын тəркибиндə 10 % су олмуш вə электрик саһəсинин тə'сир мүддəти 50 санийə иди.

Мүнтəзəм саһə. Дамчылар поляризасия нəтичəсиндə деформасия уғрайыр вə саһəнин гүввəт хəтлəri боюнча узанмыш эллипсоид шəклини алырлар.

Дикər тəрəфдən су дамчысынын өз хүсуси электрик йүкү олдуғу үчүн, электрофарез һадисəсинə əсасən əксишарəли электрода доғру һэрəkət эдир. Бу заман дамчылар əксишарəли электроддан итəлənən дамчыларла тоғгушарағ, онларла коалесенсиялашырлар. Бизим һалда дамчылар мənфи йүкə малик олдуғлары үчүн, коалесенсиялашмыш дамчыларын седиментасиясындан сонра эмулсиянын судан тəмизлəнмəsi эн əввəl мүсбət электродун яхынлығында мүшəһидə эдилир.

Т. Ә. Мәликова

ЭЛЕКТРИК САҢЭЛЭРИНДЭ ЭМУЛСИЯЛАРЫН КОАЛЕСЕНСИЯЛАШМА ПРОСЕСИНИН ТӘДГИГИ

Эмулсияларын коалесенсиялашма просеси сабит кәркинлик, нормал тезликли (50 *герс*) дәйишән кәркинлик, униполяр вә дәйишән гүтблү далғашәкилли импульс кәркинликләринин саһэләриндә тәдгиг әдилмишдир.

Тәдгигат нефт вә трансформатор яғы—су гарышығындан ибарәт эмулсиялар үзәриндә апарылмышдыр. Просес һәм телескопик окуляр васитәси илә һәчм дахилиндә, һәм дә микроскоп алтында киношәклини чәкмәк йолу илә мүстәви үзәриндә өйрәнилмишдир.

САБИТ КӘРКИНЛИК САҢЭСИНДӘ АПАРЫЛМЫШ ТӘДГИГАТ

1. Коалесенсия просесинин һәчм дахилиндә тәдгиги

Нефт эмулсиялары шәффаф олмадығы үчүн тәчрүбәләр сүн'и сурәтдә һазырланмыш трансформатор яғы—су гарышығындан ибарәт эмулсия үзәриндә апарылмышдыр. Тәдгигат кәстәрир ки, назик тәбәгәләрдә нефт вә яғ эмулсияларын коалесенсиялашмасынын характери эйнидир. Бу эмулсияларын коалесенсиялашма просесинин һәчмдә дә эйни чүр кедәчәйини сөйләмәк олар. Буна көрә яғ эмулсиялары үзәриндә апарылмыш тәдгигатын нәтичәләри нефт эмулсияларына да аид әдилә биләр.

Тәчрүбә заманы эмулсиянын тәркибиндә 10 % су олмуш вә электрик саһәсинин тәсир мүддәти 50 санийә иди.

Мүнтәзәм саһә. Дамчылар поляризасия нәтичәсиндә деформасия уғрайыр вә саһәнин гүввәт хәтләри боюнча узанмыш эллипсоид шәклини алырлар.

Дикәр тәрәфлән су дамчысынын өз хүсуси электрик йүкү олдуғу үчүн, электрофарез һадисәсинә әсасән әксишарәли электрода доғру һәрәкәт эдир. Бу заман дамчылар әксишарәли электроддан итәләнән дамчыларла тоғушарағ, онларла коалесенсиялашырлар. Бизим һалда дамчылар мәнфи йүкә малик олдуғлары үчүн, коалесенсиялашмыш дамчыларын седиментасиясындан сонра эмулсиянын судан тәмизләнмәси ән әввәл мүсбәт электродун яхынлығында мүшәһидә әдилир.

Эмулсияда суюн дисперс дамчылары поляризасия нәтижәсіндә яранмыш электрик гүввәтләринин тәсири алтында гүввәт хәтләри боюнча бир-биринин ардынча дүзүлмәйә башлайырлар, бу да электродлар арасында гыса гапанмая сәбәб олур.

Градиент бөйүк олдугда һәм дахилиндә демулсасия просесинин пиләшмәсинин әсас сәбәби олан дисперсләшмә башлайыр. Бундан башга, саһә кәркинлийинин бөйүк градиентләриндә гаршы-гаршыя һәрәкәт эдән дамчыларын сүр'әтләри артдығы үчүн, онлар тоггуш-дугда гисмән парчаланырлар, нәтижәдә коалесенсиялашма просеси әлавә олараг пиләшир, галыг суюн мигдары анчаг 4 %-ә гәдәр әнир.

Гейри-мүнтәзәм саһә. Саһә мүстәви илә ити учлу электрод арасында ярадылмыш, тәчрүбәләр, ити учлу электрод һәм мүсбәт вә һәм дә мәнфи потенциала малик олдуғу һалларда апарылмышдыр.

Мүнтәзәм саһәдә олдуғу кими, гейри-мүнтәзәм саһәдә дә дамчылар деформасия уғрайырлар. Ити учлу электродун потенциалы мүсбәт олдугда, коалесенсиялашма электродун яхынлығында онун мәнфи потенциалы малик олдуғу һалдакындан даһа интенсив кедир. Буну ашағыдакы кими изаһ этмәк олар.

Гейри-мүнтәзәм электрик саһәсинә электрик йүкләри олан дамчылар ерләшдирдикдә, онлара ашағыдакы гүввәтләр тәсир эдәчәкдир:

f_1 —дамчынын йүкү илә саһә арасындакы тәсир гүввәси;

f_2 —гейри-мүнтәзәм саһә илә дамчыдан яранмыш дипол арасындакы тәсир гүввәси;

f_3 —дамчылардан яранмыш диполларын гаршылыгы тәсир гүввәси.

Саһә гейри-мүнтәзәм олдугда f_2 гүввәси дамчыны һәм ишә саһәнин даһа бөйүк градиентли һиссәсинә—ити учлу электрода доғру һәрәкәт этдирир; f_3 гүввәси исә электродларын ишарәләриндән асылы олмаяраг, дамчылары яхынлашдырмаға чалышыр. f_1 гүввәси электродларын вә дамчыларын йүкләринин ишарәсиндән асылы олараг дамчылары я ити уча, я да ки мүстәвийә доғру һәрәкәт этдирир.

Ити учлу электродун потенциалы мүсбәт дамчыларын йүкләри мәнфи олдугда, градиентин бөйүк олмасы нәтижәсіндә, дамчылар интенсив сурәтдә ити учун яхынлығына тошлашыр, электроддан йүк алараг, өз йүкләринин ишарәсини дәйишир вә онларын ардынча ити уча яхынлашан мәнфи йүклү дамчылар бирләширләр.

Саһәнин кичик градиентли һиссәсиндә—мүстәвинин яхынлығында f_1 вә f_2 гүввәләри хейли дәрәжәдә азалырлар. Бу һиссәдә коалесенсия дамчылар яхынлашан заман онларын арасындакы мәсафәнин 4-чү дәрәжәсинә әкс мүтәнасиб олараг, артан f_3 гүввәсинин тәсири алтында кедир.

Һәм ити учлу электрод, һәм дә дамчыларын йүкү мәнфи ишарәли олдугда f_1 гүввәси ити учдан мүстәвийә доғру, f_2 гүввәси гүввәт хәтләринин сыхлашмасы истигамәтинә, йә'ни мүстәвидән ити уча доғру йөнәлдилмиш олур. Бу гүввәтләрин нисбәтиндән асылы олараг, дамчы бу вә я дикәр истигамәтдә һәрәкәт эдәчәкдир. Тәчрүбә көстәрир ки, ити учун яхынлығында саһәнин кәскин сурәтдә гейри-мүнтәзәм олан һиссәсиндә f_2 гүввәси даһа бөйүк олур вә дамчылар ити уча доғру һәрәкәт эдир. Анчаг дамчылар f_1 вә f_2 гүввәләринин фәрги тәсир этдийи үчүн, онларын һәрәкәт сүр'әти вә коалесенсиялашмалары ити учун мүсбәт потенциала малик олдуғу һалдакындан хейли зәиф кедир.

Ити учун яхынлығында дамчыларда әйни адлы йүкләрин олмасы нәтижәсіндә коалесенсия просеси дә чәтивләшир. Дамчыларын коалесенсиялашмалары әсас әтибарилә саһәнин нисбәтән мүнтәзәм олдуғу ердә—мүстәвинин яхынлығында кедир. Бу һиссәдә f_1 гүввәси даһа

бөйүк олур, дамчылар мүстәвийә доғру һәрәкәт эдир, орада енидән йүкләнир вә өзләринин ардынча кәлән мәнфи йүклү дамчыларла коалесенсиялашырлар. Лакин мүстәвинин яхынлығында саһәнин градиент кичик олдуғу үчүн, дамчыларын һәрәкәти вә коалесенсиялашмалары ити учун мүсбәт ишарәли олдуғу һалдакындан зәиф олур.

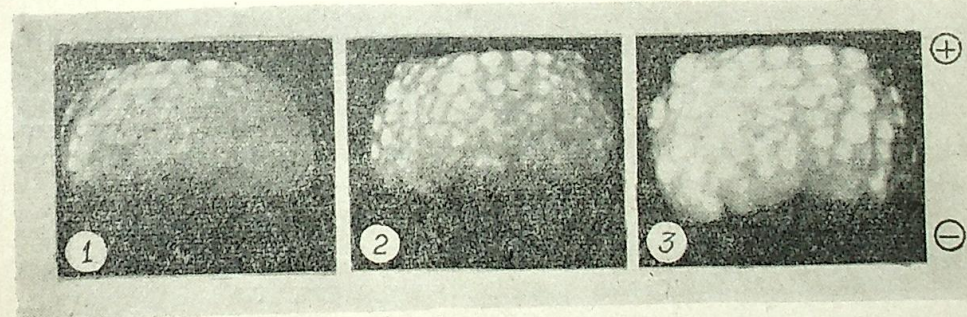
Бизим тәчрүбәләрдә мәнбәин кәркинлийи 10 кВ вә электродлар арасындакы мәсафә мүнтәзәм саһәдә электродлар арасындакы мәсафә гәдәр олдугда, эмулсиядакы галыг суюн мигдары 4,3% олмушдур.

Сабит кәркинлик саһәсиндә просес эффектив кетмир, чүнки градиент кичик олдугда дисперс дамчылар арасында яранан электрик гүввәләри дамчыларын күлли мигдарда коалесенсиялашмалары үчүн кифайәт әтмир, градиент бөйүк олдугда исә, электрик саһәси нисбәтән узун заман тәсир этдийинә көрә дамчыларын зәнчирвари дүзүлмәләри гыса гапанмая сәбәб олур. Бундан әлавә, электрик саһәсинин бөйүк градиентләри әкс просесә, йә'ни дамчыларын дисперсләшмәсинә сәбәб олур.

2. Коалесенсия просесинин микроскоп алтында киношәклини чәкмәк йолу илә тәдгиги

Шүшә лөвһә үзәринә чәкилмиш назик нефт эмулсиясы тәбәгәсиндә кедән коллесенсия просеси реал шәраитдә электродегенераторда кедән просеси тамамилә тәмсил әтмир. Бу, онунла изаһ эдилир ки, һәм дахилиндә дисперс дамчалар сәрбәст асылы вәзийәтдә олдуғу һалда, назик тәбәгәдә онлар бир дәрәжәдә шүшә лөвһәйә япышмыш һалда олурлар. Анчаг бу чүр тәдгигат дисперс дамчаларын коалесенсиялашманын просесинин динамикасыны кейфийәтчә өйрәнмәк үчүн чох вачибдир. Коалесенсиялашманын динамикасыны өйрәнмәк үчүн һадисәнин микроскоп алтында санийәдә 16, 24 вә 64 кадр сүр'әтилә киношәкили чәкилмишдир. Тәчрүбәләр мүнтәзәм вә гейри-мүнтәзәм электрик саһәләриндә тәркибиндә 10+30%-ә гәдәр су олан эмулсиялар үзәриндә апарылмышдыр.

1-чи шәкилдә мүнтәзәм саһәдә тәркибиндә 30% су олан эмулсиянын дисперс дамчыларынын коалесенсиясынын динамикасы көстәрилир. Мәгәләдә, коалесенсиялашманын динамикасынын там шәклини вермәк мүмкүн олмадығы үчүн, онун айры-айры этаплары көстәрилир. 1-чи шәклин кадрлары 0,3 кВ/см градиентли саһәдә чәкилмишдир вә кәркинлик тәтбиг эдилән анда 10 санийәдән 20 санийәйә гәдәр кечмиш вахта уйғун кәлир. 1-чи кадр кәркинлийинин 10 санийәйә тәсир әтмәси мүддәтинә, 3-чү кадр исә 20 санийә тәсир әтмәси мүддәтинә уйғун кәлир.

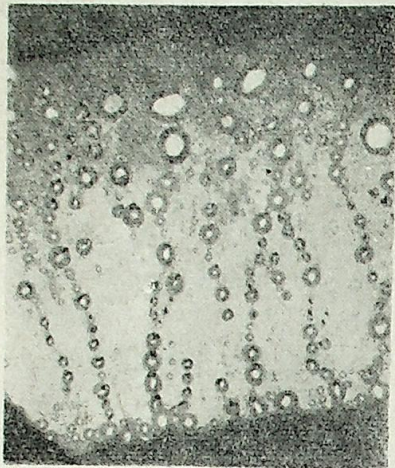


1-чи шәкил

Шәкилдән көрүндүйү кими дамчыларын коалесенсиялашмасы мүсбәт электроддан башлайыб, тәдричлә электродлар арасындакы саһәнин

дикер һиссәләринә яйылыр. Суюн мигдары чох олдуғуна көрә дисперс дамчыларын коалесенсиялашма просеси чох ити сүр'әтлә кедир.

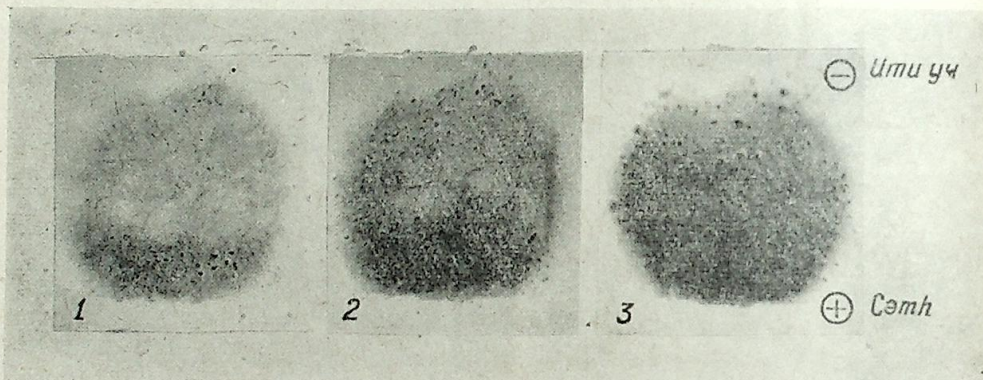
2-чи шәкил, тәркибиндә 10 % су олан дисперс дамчыларын 1,3 кв/см. градиентли саһәдә зәнчирвари дүзүлмәләрини вә коалесенсиялашмаларыны көстәрир. Бу шәкил саһәнин тә'сир этмәйә башламасындан 30 санийә кечмиш вахта уйғун кәлир.



2-чи шәкил

2-чи шәкилдән көрүндүйү кими, коалесенсиялашмыш ән ири дамчылар мүсбәт электродун яхынлығында йығышырлар. Ири дамчылар электрик саһәсинин формасыны дәйишдириләр. Буна көрә дә ири дамчылар арасында зәнчир формасында сырая дүзүлмүш хырда дамчыларын истигамәти саһәнин истигамәтиндән бир гәдәр фәргләнир, йә'ни хырда дамчылардан тәшкил эдилмиш зәнчирвари дүзүлүшүн истигамәти әсас этибарилә ири дамчылар арасындакы саһәнин истигамәти илә мүәййән эдилир.

3-чү шәкилдә гейри-мүнтәзәм саһәдә тәркибиндә 10% су олан эмулсияда дисперс дамчыларын коалесенсиялашмасынын динамикасы көстәрилмишдир. Саһәнин градиенти 1 кв/см, тә'сир мүддәти 5 санийәдән 30 санийәйә гәдәрдир, 5,15 вә 30 санийә тә'сир мүддәтләринә 1,2 вә 4-чү кадрлар уйғун кәлирләр. Бу һалда



3-чү шәкил

даһа интенсив коалесенсиялашма мүсбәт ишарәли мүстәвинин яхынлығында башлайыр. Мәнфи ишарәли ити учлу электродун яхынлығында просес нисбәтән зәиф кедир. Даһа сонра коалесенсиялашма тәдричлә электродлар арасында ерләшән дисперс дамчылары әһатә эдир. Йә'ни просес тамамилә һәчм дахилиндә кедән просесә уйғун кәлир.

КОАЛЕСЕНСИЯ ПРОСЕССИНИН НОРМАЛ ТЕЗЛИКЛИ ДӘЙИШӘН КӘРКИНЛИК САҺӘСИНДӘ ТӘДГИГИ

1. Просесин һәчм дахилиндә тәдиги

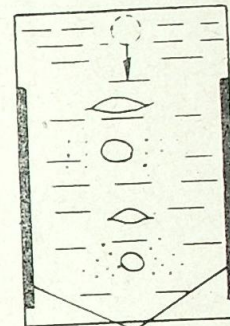
Тәчрүбәләрин шәраити сабит кәркинликдә апарылмыш тәчрүбәләрин шәраити кими олмушдур. Тәдгигат һәм мүнтәзәм вә һәм дә гейри-мүнтәзәм саһәләрдә апарылмышдыр.

Мүнтәзәм саһә. Дәйишән кәркинлик саһәсиндә дә дамчыларын коалесенсиясы сабит кәркинлик саһәсиндәки кими, F_1 вә F_3 гүввәләри тә'сири алтында кедир. Анчаг бурада F_1 гүввәсинин тә'сири алтында дамчылар бир истигамәтә доғру кетмәйиб, рәгси һәрәкәт эдирләр вә бу заман кичик өлчүлү дамчыларын һәрәкәтләринин сүр'әтләри вә амплитудалары да бөйүк олур. Дамчыларын коалесенсиясы әсас әтибарилә F_3 гүввәси тә'сири илә олур, F_1 гүввәсинин тә'сири алтында даһа бөйүк сүр'әтлә һәрәкәт эдән кичик өлчүлү дамчылар бөйүк дамчылар яхынлашыб, онларла коалесенсия эдирләр. Саһәнин кәркинлийи бөйүк олдуғда, дамчылар деформасия эдир вә онларын шиш учлары кичик һиссәләрә парчаланырлар, сәтһи кәрилмә гүввәсинин тә'сири или дамчылар күрә шәкли алмаға чалышырлар. Саһә градиенти бир даһа артырылдығда, дамчыларын тәкрар парчаланмасы баш верир (4-чү шәкил).

Дәйишән кәркинлик саһәсиндә дисперс дамчыларын зәнчирвари сырая дүзүлмәләри сабит кәркинлик саһәсиндәкиндән зәиф олур. Нәтичәдә электрик саһәси тә'сир этмәйә башладығы илк анларда эмулсия даһа бөйүк кәркинлик дүшүр вә саһәнин градиенти даһа бөйүк олур. Кәркинлийин тә'сир этмәйә башладығы илк анларда градиентин даһа бөйүк олмасы, дамчылар бүтүн һәчмдә мүнтәзәм коалесенсия этдикдә, просесин дәйишән чәрәян саһәсиндә даһа интенсив кетмәсини тә'мин эдир. Буна көрә дәйишән кәркинлик саһәсиндә галыг суюн мигдары сабит кәркинлик саһәсиндәкиндән аз олур (3,3%).

Саһәнин градиентини һәддиндән артыг галдырмаг мүмкүн дейил, чүнки бу заман сабит кәркинлик саһәсиндә олдуғу кими, дисперс дамчылар арасында яранан гөвсләр дөврәнин ғыса гапазмасына сәбәб олурлар.

Гейри-мүнтәзәм саһәдә F_1 вә F_3 гүввәтләриндән башга, F_2 гейри-мүнтәзәм саһә илә дамчыларын деполлары арасындакы гаршылығлы тә'сир гүввәси дә яраныр. Бу һалда да сабит кәркинлик саһәсиндә олдуғу кими, коалесенсия просеси саһәнин гейри-мүнтәзәмлийинин тә'сири нәтичәсиндә ити учлу электродун яхынлығында даһа интенсив кедир. Саһәнин башга һиссәләриндә просес тәгрибән мүнтәзәм кедир; галыг суюн мигдары 3 % тәшкил эдир.

Электродлар
4-чү шәкил

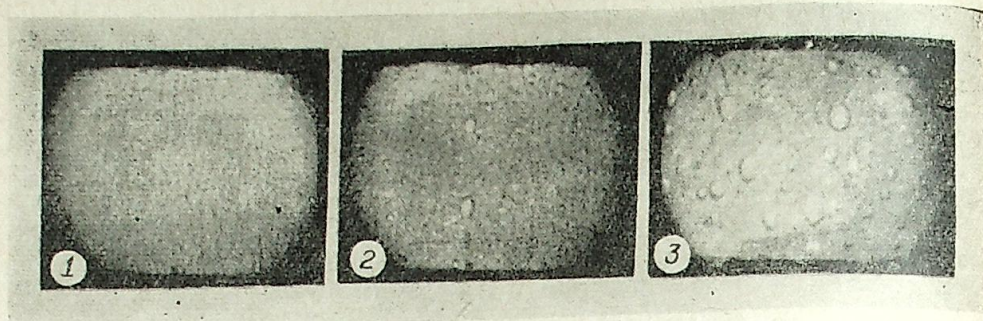
2. Просесин микроскоп алтында киношәклини чәкмәк йолу илә тәдгиг эдилмәси

Тәчрүбәләр мүнтәзәм вә гейри-мүнтәзәм саһәләрдә тәркибиндә 10 % су олан эмулсиялар үзәриндә апарылмышдыр.

5-чи шәкил 1 кв/см градиентли мүнтәзәм саһәдә кедән коалесенсия просесинин динамикасыны көстәрир. Кадрлар саһәйә тә'сир этмәйә башладығы андан сонра, 5-чи санийәдән 30-чу санийәйә гәдәр олан вахта уйғундур. 1-чи кадр 5 санийәйә, 3-чү кадр 30 санийәйә уйғун кәлир. Шәкил, санийәдә 24 кадр сүр'әтилә чәкилмишдир. Алынмыш кадрлар көстәрир ки, сабит кәркинликдән фәргли олараг дәйишән кәркинликли мүнтәзәм саһәдә дамчыларын коалесенсиясы электродлар арасындакы мөсафәнин һәр ериндә эйни сүр'әтлә кедир.

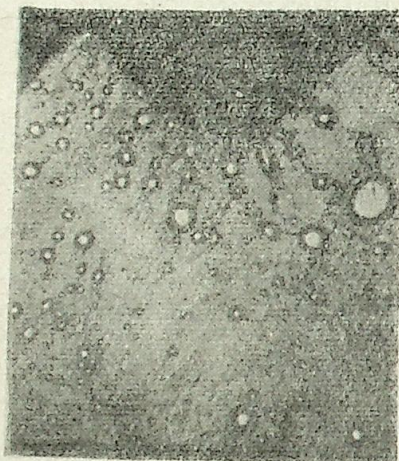
6-чы шәкил, градиенти 0,8 кв/см олан дисперс дамчыларын гейри-мүнтәзәм саһәйә коалесенсия этмә просесини көстәрир; саһәнин тә'сир мүддәти 30 санийәдир. Бу шәкилдән көрүндүйү кими, мүнтәзәм

саһэдән фәргли олараг бурада коалесенсия ити учлу электродун яхынлығында башга һиссәләрдән даһа интенсив кедир.



5-чи шәкил

Коалесенсия просесини ярадан әсас гүввә гоншу дамчыларын диполлары арасындакы тә'сир гүввәсидир. Су дамчылары коалесенсия этдикчә, онларын арасындакы мәсәфәнин артмасы нәтижәсіндә бу гүввәт кәскин сурәтдә азалыр, нәтижәдә коалесенсия просесинин давамь чәтинләшиб вә я тамамилә гейримүмкүн олур. Бурадан көрүндүйү кими, дамчыларын мүвәффәгийәтлә коалесенсия әтмәләри үчүн электрик саһәсинин тә'сир әтдийи илк анда онун градиентинин артырмаг йолуну сечмәк олар. Анчаг сабит кәркинлик саһәсиндә олдуғу кими, бурада да дамчылар зәнчирвари дүзүлдүйү заман градиентин артырылмасы электродлар арасында гыса гапанмая вә беләликлә дә электрик саһәсинин йох олуб, коалесенсия просесинин даянмасына сәбәб олур.



6-чы шәкил

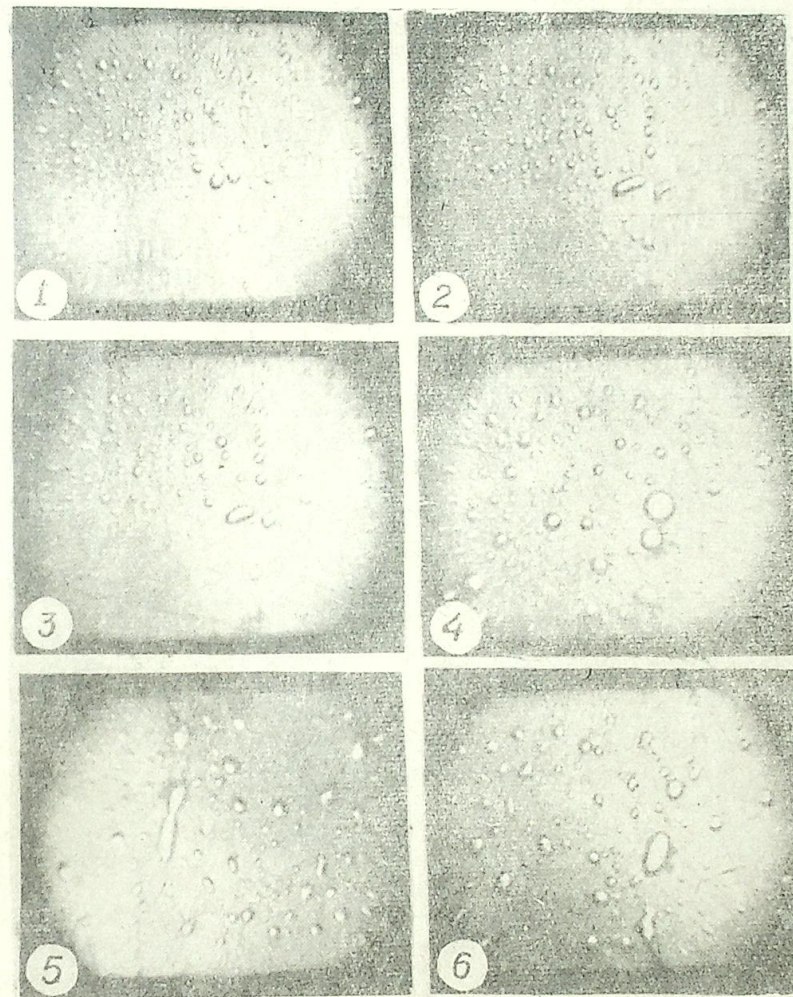
КОАЛЕСЕНСИЯ ПРОСЕСИНИН УНИПОЛЯР ДАЛҒА ШӘКИЛЛИ ИМПУЛС КӘРКИНЛИЙИ САҢӘСИНДӘ ТӘДГИГИ

Бу чүр саһә алмаг үчүн Аркадев-Маркс схеми үзрә йығылмыш импулс кенераторундан истифадә әдилмишдир. Коалесенсия просеси заманы әмүлсиянын кечиричилиийи дәйишдийи үчүн, кенератордан алынан далғанын узунлуғу да дәйишир. Далғанын ән бөйүк узунлуғу 50 мк санийәдән артыг олмур.

1. Коалесенсия просесинин һәчм дахилиндә өйрәнилмәси. Кенераторун зәрбә вахтындакы кәркинлийи 24 кВ, импулсларын тезлийи 25 олмушдур. Тәдгигат һәм мүнτζәәм вә һәм дә гейри-мүнτζәәм саһәләрдә апарылмышдыр.

Мүнτζәәм саһә. Кейфийәтчә коалесенсия просеси сабит кәркинлик саһәсиндә олдуғу кими кедир. Анчаг бу һалда импулсларын мүддәләри аз олдуғу үчүн F_1 гүввәсинин тә'сири алтында дамчыларын мүсбәт электрода доғру истигамәтләнмиш һәрәкәти бөйүк өлчүләрдә мүшанидә әдилмир. Бунула белә мүсбәт электродун яхынлығында олан дамчыларын бу электрода доғру чүз'и дә олан һәрәкәт

әтмәләри вә онларын әкс ишарәли йүкү олан дамчыларла гаршылашмалары, коалесенсия просесинин мүсбәт электродун яхынлығында башланмасына сәбәб олур. Сабит вә нормал тезликли дәйишән кәркинликләрә нисбәтән импулс кәркинлийи саһәсиндә градиенти хейли артырмаг мүмкүн олур. Чүнки бу һалда саһә гыса мүддәтдә тә'сир әтмәдийинә көрә, дамчылар зәнчирвари дүзүлүб, электродлар арасында гыса гапанма яратмаға имкан тапмырлар. Әйни заманда саһәнин тә'сир әтдийи илк анда градиентин артырылмасы F_2 гүввәсинин артмасына, бу исә өз нөвбәсиндә күлли мигдарда дамчыларын коалесенсия әтмәсинә сәбәб олур. Тәчрүбәләр 12 кВ/см градиентли саһәдә апарылмышдыр, галыг суюн мигдары 2% олмушдур.



7-чи шәкил

Гейри-мүнτζәәм саһә. Кейфийәтчә ити учлу электродун мүсбәт вә я мәнфи олмасынын тә'сири сабит кәркинлик саһәсиндә олдуғу кимилир.

Ити учлу электрод мүсбәт олдуғда F_1 вә F_2 гүввәләринин истигамәтләринин әйни олмасы нәтижәсіндә ити учун яхынлығында дамчыларын интенсив коалесенсиялашмасы башланыр, сонра просес электродун

тродлар арасындагы бүтүн саһәни эһатә эдир, һәм дә гейри-мүнтәзәм саһәдә ити учун яхынлығында дамчыларын һәрәкәти көрүнүр.

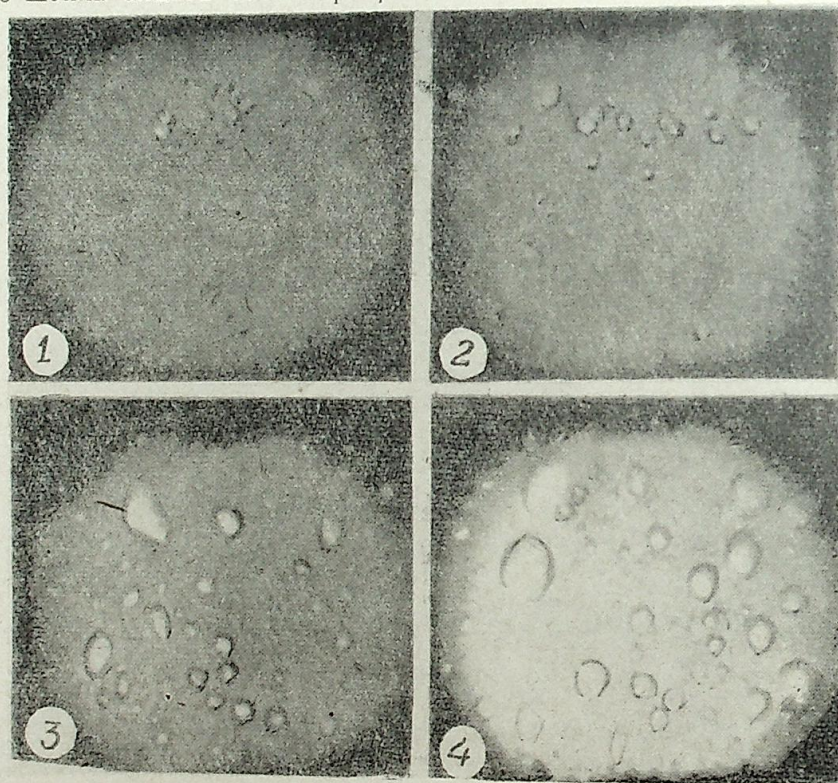
Ити учлу электрод мәнфи потенциаллы олдуғда, коалесенсиялашма эйни заманда һәр ики электродун янында башлайыр.

Эйни бир эмулсия үчүн, бүтүн башга шәртләр эйни олдуғда, галыр суюн мигдары гейри-мүнтәзәм саһәдә 1,5% олур.

2. Коалесенсия просесинин микроскоп алтында шәклини чәкмәк үсулу илә тәдгиги. Тәдгигат мүнтәзәм вә гейри-мүнтәзәм саһәдә, тәркибиндә 10% су олан эмулсия үзәриндә апарылмышдыр.

7-чи шәкил, мүнтәзәм саһәдә тезлийи 25 олан импульсларын тәсири илә кедән коалесенсия просесинин динамикасыны көстәрир. Саһәнин градиенти 4 кВ/см олмушдур. Шәкил санийәдә 64 кадр сүрәти илә чәкилмишдир вә саһә тәсир этмәйә башладығы 3-чү санийәдән 13-чү санийә арасындагы вахты эһатә эдир;

1-чи кадр 3-чү санийәйә, 6-чы кадр 13-чү санийәйә уйғун кәлир. Кадрлардан көрүндүү кими, импульс кәркинлийи саһәсиндә сабит вә нормал тезликлә дәйишән кәркинликләри нисбәтән даһа бөйүк градиентләр алмаг мүмкүн олдуғу үчүн, дамчылар даһа ири дамчылар коалесенсия эдирләр, һәм дә онларын зәнчирвари дүзүлмә просеси эәиф кедир. Нүмайиш этдирилән кадрлар F_3 гүввәсинин дамчыларын коалесенсиясындагы ролуну чох яхшы көстәрирләр. Йүксәк градиентли электрик саһәсиндә дамчылар хейли деформасия уғрайыр вә бир-бириләринә доғру дартылараг, коалесенсия эдирләр, саһәнин тәсири кәсилдикдә сәтһи кәрилмә гүввәсинин нәтичәсиндә дамчылар күрә шәкли алмаға чалышырлар.



8-чи шәкил

Гейри-мүнтәзәм саһәдә ити учлу электрод мүсбәт олдуғу һалда кедән коалесенсия просесинин динамикасыны 8-чи шәкил көстәрир.

Дикәр шәртләр мүнтәзәм саһәдәкинин эйнидир. Шәкилдән көрүндүү кими, саһә тәсир этмәйә башладығы илк анларда дамчыларын коалесенсиясы ити учлу электродун янында кедир.

Беләликлә, демәк олар ки, импульсларын тәсир мүддәти чох гыса олдуғу үчүн униполяр далға формалы кәркинлик саһәсиндә градиенти хейли артырмагла, дисперс су дамчаларынын эффектив сурәтдә коалесенсия этмәләринин әлдә этмәк олар. Кәркинлик далғасынын амплитудасы эйни олдуғда, гейри-мүнтәзәм саһәдә даһа яхшы нәтичәләр алыныр.

Эйни шәраитдә импульсларын тезлийини артырлығда коалесенсия этмиш дамчылар саһә бою дартылараг электродлар арасында гыса гапанмая сәбәб олурлар. Бу импульс арын тезлийини артырмаг йолу илә коалесенсия просесини яхшылашдырмағын мүмкүн олмадығыны көстәрир.

Бунун үчүн, тезлийи артырмагла бәрәбәр, эйни заманда кечиричи көрпүчүкләрин яранмасыны чәтинләшдирмәк лазымдыр. Ахырынчыны я дәйишән гүтблү импульс кәркинлийиндән истифадә этмәклә, я да яранмыш көрпүчүкләри механики сурәтдә дағыматла әлдә этмәк олар.

КОАЛЕСЕНСИЯ ПРОСЕСИНИН ДӘЙИШӘН ГҮТБЛҮ ИМПУЛС КӘРКИНЛИЙИ САҢӘСИНДӘ ТӘДГИГИ

Дәйишән гүтблү импульс кәркинлийи алмаг үчүн 9-чу шәкилдә көстәрилән Азәрбайжан ССР ЭА Энеркетика Институтунда проф. Ч. М. Чуварлы тәрәфиндән тәклиф эдилмиш схемдән истифадә эдилмишдир.

Схем алчаг тәрәфиндә кәркинлийи тәнзим эдилән йүксәк кәркинлик трансформаторундан, йүксәк тәрәфә бағланмыш R мүғавимәти вә C тутумундан, P кәсичи бошалдычысындан ибарәтдир. Дәйишән гүтблү импульс кәркинлийи электродекидратора бу бошалдычынын көмәйи илә тәтбиг эдилир.

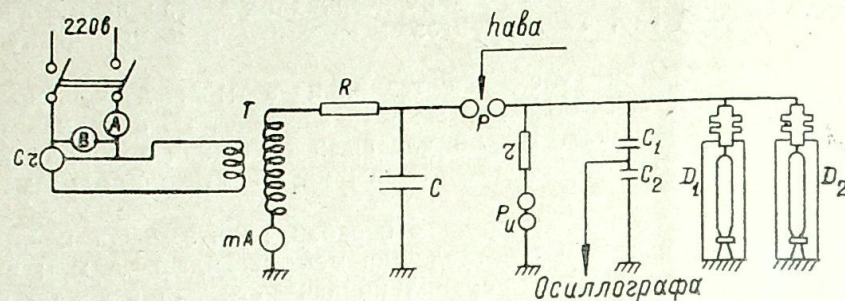
Нормал кәркинлийин һәр ярымдөврүндә R мүғавимәти илә ардычыл гоюлмуш C конденсатору мәнбәин кәркинлийинин амплитуда гиймәтиндән бир гәдәр аз олан I_0 кәркинлийинә гәдәр долур. Бу заман P бошалдыч сынын ғығылчым мәсафәси дешилир вә конденсаторун кәркинлийи бүтүнлүклә эмулсияя тәтбиг олунур; конденсатор эмулсияя бошалдығда, она тәтбиг олунмуш кәркинлик экспоненсиал эйри үзрә дәйишилир. Эмулсия әслиндә актив мүғавимәт олдуғу үчүн, P бошалдычысы дешилдикдә, ғығылчым аралығында мәнбәин кәркинлийи илә эйни фазада олан чәрәян ахыр. Гөвс үфүрүләрәк, һәмин чәрәян сыфьрдан кечдикдә сөндүрүлүр вә конденсатор енидән долмаға башлайыр. Сонра просес тәкрар олунур. Бу схемдә импульсларын тезлийи санийәдә 100 зәрбәйә бәрәбәр олур.

1. Коалесенсия просесинин һәчм дахилиндә өйрәнилмәси. Тәдгигат һәм мүнтәзәм вә һәм дә гейри-мүнтәзәм саһәләрдә апарылмышдыр. I_0 -24 кВ олмушдур. Кейфийәтчә просес униполяр импульс кәркинликләи электрик саһәсиндә олдуғу кими кедир.

Мүнтәзәм саһә. Дәйишән кәркинлийин сабит кәркинлийә көрә олан үстүнлүкләри дәйишән гүтблү импульс кәркинликләри үчүн дә өз гүввәсиндә галыр, йәни F_1 гүввәси һәр дәфә өз истигамәтини дәйишдийи үчүн, дамчыларын зәнчирвари дүзүлүб кечиричи көрпүчүкләр яратмалары чәтинләшир. Нәтичәдә эмулсияя тәсир эдән импульсларын тезлийини артырмагла (санийәдә 100 зәрбә) даһа эффектив коалесенсия просеси мүмкүн олур. Саһәнин тәсир этмә мүддәти бәрәбәр, гради-

ентлэр эйин олдугда, галыг суюн мигдары униполяр кэркинлик саһэсиндэкиндэн (2 %) даһа аз олур (1,4 %).

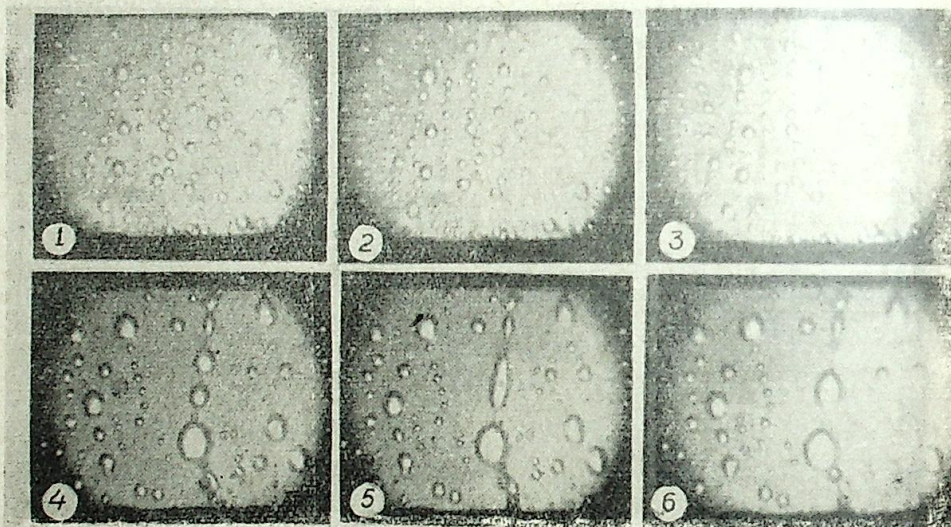
Гейри-мүнтэзэм саһэ. Кэркинлик тэ'сир этмэйэ башладыгы илк анда коалесенсия просеси ити учлу электродун яхынлыгында даһа интенсив кедир, сонра да саһэ мүнтэзмлэшир, просес бүтүн яйылыр. F_1 гүввэсинин тэ'сири мүнтэзэм саһэдэ олдуғу кимидир.



9-чу шәкил

Тэтбиг эдилэн кэркинлийин гиймәти вә саһэнин тэ'сир мүддәти мүнтэзэм саһэдәкинә бәрабәр олдугда, галыг суюн мигдары 1 %-ә гәдәр азалыр.

2. Коалесенсия просесинин микроскоп алтында киношәклини чәкмәклә тәдгиги. Тәдгигат мүнтэзэм вә гейри-мүнтэзэм саһәләрдә тәркибиндә 10 % су олан әмүлсиялар үзәриндә апарылмышдыр.

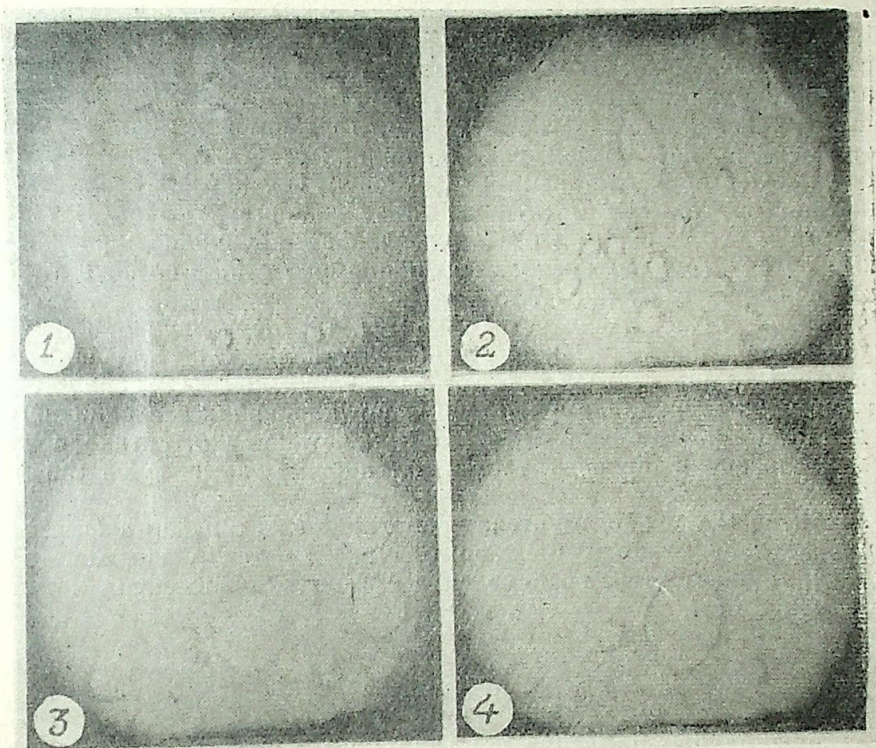


10-чу шәкил

10-чу шәкилдә мүнтэзэм саһэдә кедән коалесенсия просесинин динамикасы көстәрилмишдир, дикәр тәрәфдән шәртләр униполяр кэркинлик саһэсиндәки кимидир, саһэнин тэ'сир мүддәти 13 санийәдир, шәкил санийәдә 64 кадр сүр'әтилә чәкилмишдир. Саһэ тэ'сир этмәйә башладыгдан 5 санийә, йә'ни 500 импульсдан сонра чәкилмиш 1-чи кадр көстәрир ки, йүксәк дисперсиялы дамчылар артыг бу мүддәт

әрзиндә коалесенсия әдиб гуртарырлар. Заман кечдикдә дамчылар даһа ири күтләләрә коалесенсияләшәрирлар. 10-чу шәклин 4+6-чы кадрлары да дамчыларын коалесенсия әтмәсинин механизмини яхшы көстәрирләр; F_3 гүввэсинин тэ'сири алтында бир-бири илә гаршылашан микроканаллар яраныр, дамчылар арасында яранан микроканалларын мүгавимәтләри бөйүк олдуғундан онлар гыса гапанмая сәбәб олмурлар.

Гейри-мүнтэзэм саһэдә коалесенсия просесинин динамикасы 11-чи шәкилдә көстәрилмишдир. Просесин башлангычында F_1 , F_2 вә F_3 гүввәләри бөйүк олдуғу үчүн, ити учлу электродун яхынлыгында интенсив коалесенсия просеси башлайыр, сонрадан ири күтләләрә коалесенсия әтмә электродлар арасындакы саһэнин дикәр һиссәләриндә баш верир.



11-чи шәкил

10-чу шәклин 6-чы кадры вә 11-чи шәклин 4-чү кадры саһэнин тэ'сир әтмә мүддәтинин эйни бир анына – 13-чү санийәйә уйғун кәлир. Бу кадрларын мүгайисәси гейри-мүнтэзэм саһэнин үстүнлүйүнү чох айдын көстәрир. 11-чи шәклин 4-чү кадрында әслиндә йүксәк дисперсиялы дамчылар йохдур вә яранмыш күтләләр 10-чу шәклин 6-чы кадрындакыларындан хейли бөйүкдүрләр, мүнтэзэм саһэдә исә бир гәдәр хырда дамчылар галыр ки, буну 6-чы кадрдан көрмәк олар. Беләликлә, тәдгигат көстәрир ки, дәйишән гүтблү импульс кэркинлийин саһэсиндә дамчылар F_1 гүввэсинин тэ'сири алтында мүхтәлиф истигамәтләрдә һәрәкәт әтдикләри үчүн, коалесенсия просеси униполяр импульс кэркинлийи саһэсиндәкиндән даһа яхшы кедир, һәм дә гейри-мүнтэзэм саһэдә градиент бөйүк олдуғу үчүн даһа яхшы эффект алыныр.

Нәтичә

1. Мүнтәзәм elektrik саһәсиндә дисперс дамчыларын коалесенсиялашмасы саһә илә дамчыларын йүкләри арасындакы вә гоншу дамчыларын диполлары арасындакы гаршылыглы тә'сир гүввәләри нәтичәсиндә алыныр.

Гейри-мүнтәзәм саһәдә бу гүввәләрә гейри-мүнтәзәм саһәнин дамчыларынын диполларына кәстәрдийи тә'сир гүввәси әләвә әдилер.

2. Коалесенсия просеси ярадан әсас гүввә гоншу дамчыларын диполлары арасындакы тә'сир гүввәсидир. Бу, — һәм дә elektrik саһәсиндә дамчыларә тә'сир әдән дикәр гүввәтләр, саһәнин градиентиндән чох асылыдыр, градиент чохалдыгда коалесенсия просеси дә яхшылашыр.

3. Импульс кәркинлийи саһәсиндә даһа яхшы коалесенсия просеси алыныр, чүнки бу һалда саһәнин тә'сир мүддәти аз олдуғундан, дисперс дамчылар электродлар арасында мөһкәм кечиричи зәнчирләр дүзәлмәдикләринә кәрә, саһәнин градиентини эффектив коалесенсия просеси үчүн лазым олан гиймәтә гәдәр галдырмаг мүмкүн олур.

4. Униполяр далғалы импульс кәркинлийи саһәсиндә даһа чох дисперс дамчыларын коалесенсия әтмәси үчүн саһәнин әмүлсияя тә'сир мүддәтини артырдыгда (импульсларын тезлийини артырмагла) тәркинбидә чохлу су олан мөһкәм әмүлсияларда кечиричи көрпүчүкләр яраныр вә электродлар арасында дәйишилмәйә сәбәб олур, нәтичәдә коалесенсия просеси даяныр.

5. Коалесенсия әтмәнин ән яхшы нәтичәләри дәйишән гүтблү импульс кәркинлийи саһәсиндә алыныр. Бу һалда саһә илә дамчылар арасындакы тә'сир гүввәси һәр дәфә импульсун ишарәси дәйишдикдә, өз истигамәти дәйишдийи үчүн, униполяр кәркинлик саһәсинә нисбәтән дамчыларын зәнчирвари дүзүлмәләри чәтинләшир, нәтичәдә даһа яхшы коалесенсия просеси тә'мин олунур вә галыг суюн мигдары азалыр.

6. Мүнтәзәм вә гейри-мүнтәзәм саһәләрдә электродлар арасындакы мәсафә вә кәркинликләр бәрабәр олдугда вә дикәр шәртләр әйни галдыгда, гейри-мүнтәзәм саһәдә даһа эффектив коалесенсия просеси әлдә әдилер.

Т. А. Меликова

Исследование процесса коалесценции в электрических полях

РЕЗЮМЕ

В статье излагаются результаты исследований процесса коалесценции эмульсий в электрических полях напряжений постоянного, переменного промышленной частоты, импульсного униполярной волны и импульсного переменного поля.

Исследования проводились как в равномерном, так и в неравномерном электрических полях над искусственными и естественными нефтяными эмульсиями с различным содержанием воды, а также над эмульсией трансформаторного масла — вода.

В результате многочисленных экспериментов выявлено, что процесс коалесценции происходит в основном в результате поляризации капелек и взаимодействия поля и диполей их. В неравномерном поле появляется

также сила, обусловленная действием неравномерности поля на диполь капелек.

Эксперименты показали, что нефтяные эмульсии не могут быть успешно разрушены в полях постоянного и переменного напряжения промышленной частоты, так как цепочкообразование плотной упаковки капелек приводит к короткому замыканию между электродами и прекращению процесса коалесценции. Кроме того, в случае малого содержания воды в эмульсии, увеличение градиента электрического поля вызывает диспергирование водяных капелек, что также сказывается в процессе обезвоживания эмульсий.

В полях импульсного напряжения, вследствие незначительности времени воздействия импульсной волны напряжения на эмульсию, дисперсные капельки не успевают выстраиваться в плотные цепочки, вызывающие короткое замыкание между электродами, поэтому градиенты электрического поля при импульсном воздействии могут быть значительно повышены, что обеспечивает успешную коалесценцию.

Особенно успешно коалесценция протекает в поле импульсного напряжения переменной полярности, что хорошо иллюстрируют исследования процесса при помощи микрокиносъемки.

Л. М. МИРЗОЕВА

ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СКОЛЬЖЕНИЯ
В ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЕ (ГАЗ—ТВЕРДОЕ ВЕЩЕСТВО)
ПРИ ЕЕ ДВИЖЕНИИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ

Благодаря широкому распространению в технике процессов, связанных с движением газовых потоков в смеси с твердыми частицами, в частности при исследовании процессов, связанных с каталитическим „флюидным“ крекингом, большое значение имеет правильное понимание взаимодействия между фазой и стенкой транспортирующих труб, определение коэффициента сопротивления частиц в газовом потоке, относительной и абсолютной скоростей фаз, величины скольжения, а также падения давления при перемещении указанной смеси в трубах и аппаратах.

В этом направлении за последние годы нашими исследователями сделано немало работ, доказывающих актуальность разрешения данных вопросов.

Исследования проф. С. И. Обрядчикова и инж. Б. Н. Марушкина [4] показали возможность установления концентраций катализатора или уровней его в аппаратах путем замера перепада давлений по высоте аппарата, исходя из выражения,

$$\Delta p F = g_k H F, \quad (1)$$

где Δp — разность давлений в исследуемом участке, мм рт. ст.,

H — высота участка, м,

g_k — количество порошка в единице объема смеси, кг/м³ смеси,

F — площадь сечения аппарата, м².

Вес катализатора уравнивается силой сопротивления среды.

Однако в промышленных условиях часто необходимо установить количество циркулирующего в аппаратах катализатора, которое определяется из выражения (1) с некоторым коэффициентом, учитывающим явление скольжения между фазами:

$$g_k = \frac{\Delta p}{B H} \quad (2)$$

где B — коэффициент, равный отношению скоростей газового потока

и твердой фазы $\left(\frac{C}{W}\right)$,

На основании опытов этот коэффициент принимают равным от 2 до 3 [2, 7, 1].

Л. М. МИРЗОЕВА

ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СКОЛЬЖЕНИЯ В ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЕ (ГАЗ—ТВЕРДОЕ ВЕЩЕСТВО) ПРИ ЕЕ ДВИЖЕНИИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ

Благодаря широкому распространению в технике процессов, связанных с движением газовых потоков в смеси с твердыми частицами, в частности при исследовании процессов, связанных с каталитическим „флюидным“ крекингом, большое значение имеет правильное понимание взаимодействия между фазой и стенкой транспортирующих труб, определение коэффициента сопротивления частиц в газовом потоке, относительной и абсолютной скоростей фаз, величины скольжения, а также падения давления при перемещении указанной смеси в трубах и аппаратах.

В этом направлении за последние годы нашими исследователями сделано немало работ, доказывающих актуальность разрешения данных вопросов.

Исследования проф. С. И. Обрядчикова и инж. Б. Н. Марушкина [4] показали возможность установления концентраций катализатора или уровней его в аппаратах путем замера перепада давлений по высоте аппарата, исходя из выражения,

$$\Delta p F = g_k H F, \quad (1)$$

где Δp —разность давлений в исследуемом участке, мм рт. ст.,

H —высота участка, м,

g_k —количество порошка в единице объема смеси, кг/м³ смеси,

F —площадь сечения аппарата, м².

Вес катализатора уравнивается силой сопротивления среды.

Однако в промышленных условиях часто необходимо установить количество циркулирующего в аппаратах катализатора, которое определяется из выражения (1) с некоторым коэффициентом, учитывающим явление скольжения между фазами:

$$g_k = \frac{\Delta p}{B H} \quad (2)$$

где B —коэффициент, равный отношению скоростей газового потока

и твердой фазы $\left(\frac{C}{W}\right)$,

На основании опытов этот коэффициент принимают равным от 2 до 3 [2, 7, 1].

Приведенные выше выражения носят чисто эмпирический характер и не учитывают многих факторов, влияющих на движение подобного рода двухфазных систем.

Исследования Г. И. Худякова [5] посвящены изучению характера движения частиц в газовом потоке, установлению величины коэффициента сопротивления их в указанных условиях, а также определению абсолютной и относительной скоростей частиц в потоке.

В результате были получены зависимости изменения коэффициента сопротивления последних от критерия Рейнольдса. Опыты проводились при значениях критерия Re от 0 до 600 и концентрациях смеси до 3 г/л.

О. И. Haniu и М. С. Molstad [6] занимались вопросами перепада давления в вертикальных трубах при транспортировке твердых частиц газами.

Все перечисленные факторы имеют важное значение при исследовании процесса теплоотдачи указанных двухфазных систем, в связи с чем нами проведены, наряду с исследованием процесса теплоотдачи, также теоретическое и экспериментальное рассмотрение связи величины скольжения с действительным соотношением фаз двухфазной системы при ее транспортировке в вертикальной трубе снизу вверх, в зависимости от скорости и температуры несущей фазы.

Интересующие нас расчетные формулы, вывод которых представлен в статье автора [3], следующие:

$$\sigma = \frac{U}{C'} \quad (3)$$

$$U = \sqrt{\frac{8}{3} g \frac{\gamma_{\text{ч}}}{\gamma_{\text{г}}} d_{\text{ч}}} \quad (4)$$

$$K_G' = \frac{1}{1-\sigma} K_G \quad (5)$$

$$C' = C \frac{1 - K_G' \frac{\gamma_{\text{ч}}}{\gamma_{\text{г}}}}{1 - K_G \frac{\gamma_{\text{г}}}{\gamma_{\text{ч}}}} \quad (6)$$

где σ — коэффициент скольжения;

U — относительная скорость движения твердых частиц, м/сек;

C' — абсолютная скорость движения газа в вертикальном участке трубы, м/сек;

C — средняя скорость газа, м/сек;

$\gamma_{\text{г}}$, $\gamma_{\text{ч}}$ — удельный вес газа и материала твердых частиц кг/м³;

K_G' , K_G — действительная и расходная весовые концентрации смеси (кг тв. ч./кг г.).

С учетом перепада давления Δp на исследуемом участке трубы выражение U имеет вид:¹

$$U = \sqrt{\frac{8}{3} g \frac{d_{\text{ч}}}{\gamma_{\text{г}}} \left(\gamma_{\text{ч}} - \frac{\Delta p}{L} \right)} \quad (7)$$

где L — длина испытываемого участка, м.

¹ См. отчет Энергетического ин-та АН Азербайджанской ССР за 1956 г.

Опыты проводились с алюмосиликатным порошком со средним диаметром частиц $d_{\text{ч}} = 0,19$ мм, при следующем диапазоне изменения параметров:

$$30 \geq K' \geq 0, \quad 11 \geq C \geq 5, \quad 350 \geq t_{\text{см}} \geq 150,$$

где $t_{\text{см}}$ — температура смеси воздуха с твердыми частицами на входе в испытываемую трубу, °С;

K' — действительная концентрация частиц в потоке (кг тв. ч./м³ в).

Несущей фазой служил воздух.

При обработке опытных данных по установлению величины скольжения σ и относительной скорости U в каждом опыте, нами использовались данные при исследовании коэффициента теплоотдачи указанной двухфазной системы.

Вывод формул (3), (5), (6) и (7) произведен в самом общем виде с охватом широкого диапазона изменения параметров, а именно: изменения концентраций смеси и скорости потока от 0 до ∞ .

В исследуемом нами случае изменение указанных параметров таково, что в этих пределах, выведенные выражения могут быть упрощены без особого ущерба для точности результатов.

Ввиду малости члена $\frac{\gamma_{\text{г}}}{\gamma_{\text{ч}}}$ при относительно небольших концентрациях, член $(1 + K_G \frac{\gamma_{\text{г}}}{\gamma_{\text{ч}}}) \cong 1$, тогда $C' \cong C$ (максимальная погрешность 0,4%), а

$$\sigma = \frac{U}{C} \quad (8)$$

Далее, так как Δp в опытах было невелико, U подсчитывалось из выражения (4), при этом максимальная погрешность составляла не более 2%.

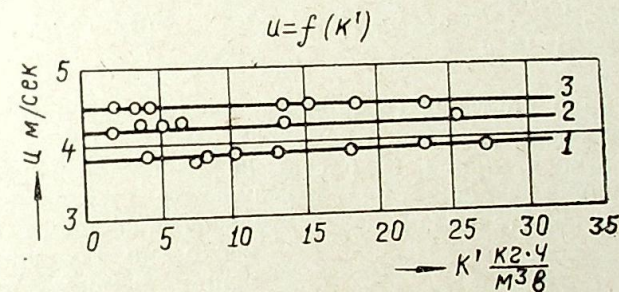


Рис. 1

$$1 - \frac{\gamma_{\text{сп}}}{\gamma_{\text{ч}}} = 0,333 \cdot 10^{-3}; \quad 2 - \frac{\gamma_{\text{сп}}}{\gamma_{\text{ч}}} = 0,289 \cdot 10^{-3}; \quad 3 - \frac{\gamma_{\text{сп}}}{\gamma_{\text{ч}}} = 0,245 \cdot 10^{-3}$$

Обработка опытных данных производилась в следующем порядке.

По температуре и скорости несущей фазы при определении действительной концентрации смеси в испытываемом участке трубы подсчитывалось значение U из выражения (4), σ из выражения (8) и, далее, расходная концентрация из выражения (5). Расчетные данные представлены в виде графиков (рис. 1, 2, 3). На графиках даны зависимости U и σ от действительной концентрации смеси в испытываемом участке трубы, а также зависимости σ от критерия $Re_{\text{сп}}$, в функции от отношения $\frac{\gamma_{\text{г}}}{\gamma_{\text{ч}}}$.

Из графиков видно, что относительная скорость движения частиц не зависит от концентрации. Она увеличивается с увеличением средней температуры несущей среды. Величина скольжения также не зависит от концентрации, увеличиваясь с уменьшением средней скорости несущей фазы.

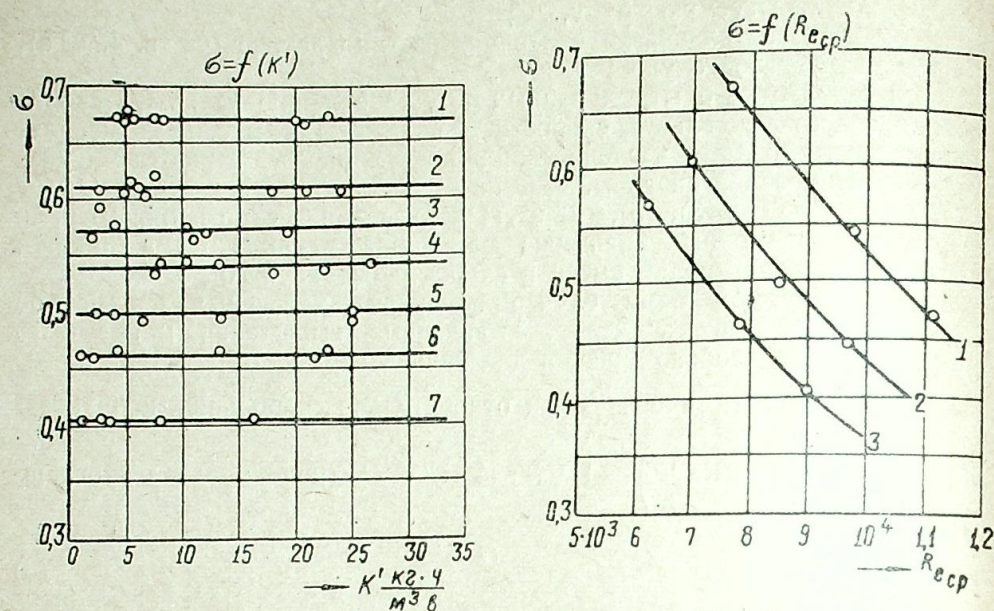


Рис. 2

1— $C_{cp}=5,78$ м/сек; 4— $C_{cp}=7,89$ м/сек;
2— $C_{cp}=6,92$ м/сек; 5— $C_{cp}=8,61$ м/сек;
3— $C_{cp}=7,27$ м/сек; 6— $C_{cp}=9,65$ м/сек;
7— $C_{cp}=11,10$ м/сек

Рис. 3

1— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,333 \cdot 10^{-3}$; 2— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,289 \cdot 10^{-3}$;
3— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,245 \cdot 10^{-3}$.

С увеличением критерия Рейнольдса скольжение σ увеличивается, убывая с уменьшением средней температуры воздуха.

Величина относительной скорости, найденная по формуле (4), не отражает влияния внешних сил, в результате столкновения частиц между собой и со стенкой. В действительности, скорости скольжения

несколько больше и их значения устанавливались нами по данным опытов.

По данным опытов устанавливались значения расходных концентраций K , соответствующие им действительные концентрации частиц в испытуемом участке и, далее, из соотношения (8) подсчитывались опытные значения величины скольжения σ_0 в каждом опыте.

Приведенные выше зависимости были построены и по данным опытов (рис. 4, 5, 6), которые показали, что относи-

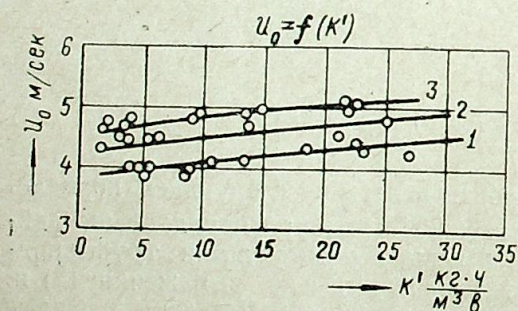


Рис. 4

1— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,333 \cdot 10^{-3}$; 2— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,289 \cdot 10^{-3}$;
3— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,245 \cdot 10^{-3}$.

тельная скорость движения частиц с увеличением концентрации K' несколько увеличивается. С погрешностью не более 5%, принимая σ независимой от концентрации, были построены кривые $\sigma = f(Re_f)$ при различных соотношениях $\frac{\gamma_{г}}{\gamma_{ч}}$. Некоторое увеличение σ и U с увеличением K' объясняется увеличением сопротивления движения частиц под влиянием воздействия окружающей среды.

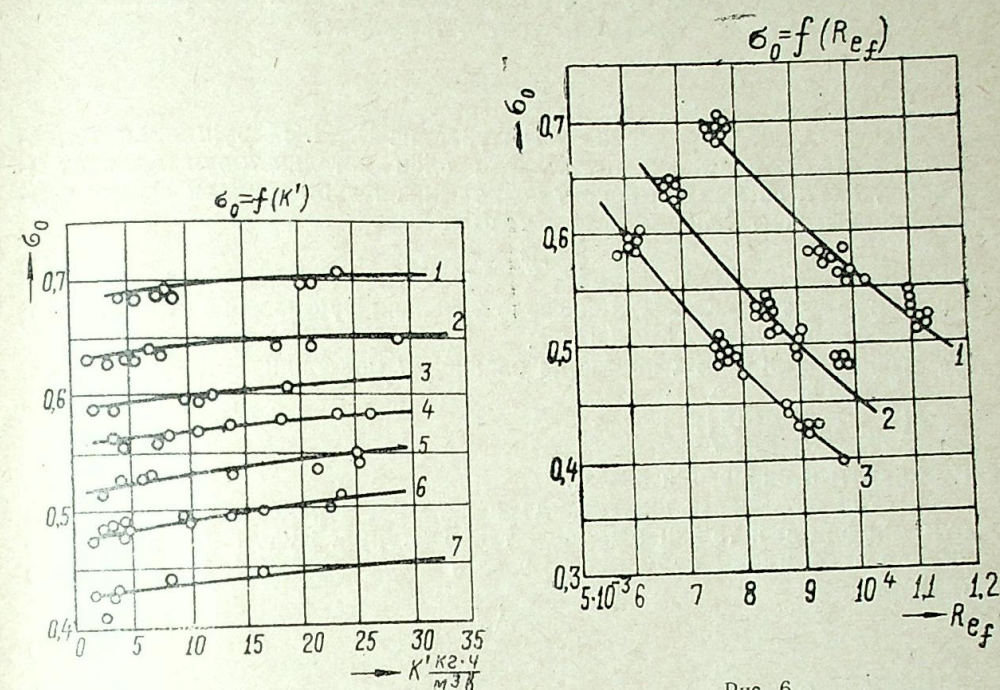


Рис. 5

1— $C_{cp}=5,78$ м/сек; 4— $C_{cp}=7,89$ м/сек;
2— $C_{cp}=6,92$ м/сек; 5— $C_{cp}=8,61$ м/сек;
3— $C_{cp}=7,27$ м/сек; 6— $C_{cp}=9,65$ м/сек;
7— $C_{cp}=11,10$ м/сек

Рис. 6

1— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,333 \cdot 10^{-3}$; 2— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,289 \cdot 10^{-3}$;
3— $\frac{\gamma_{cp}}{\gamma_{ч}} = 0,245 \cdot 10^{-3}$.

В результате опытных данных установлено, что σ меняется от 0,38 до 0,70 или $\frac{C}{W}$ меняется от 1,6 до 3, в зависимости от условий движения двухфазной системы, т. е. скорости и температуры несущей фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Индюков К. М., Рустамов М. И., Штейншнейдер Е. М. Определение количества циркулирующего катализатора в системе крекинга с движущимся порошкообразным катализатором. «Химия и технология топлива», № 4, 1956.
2. Крамской В. П. Кандидатская диссертация, Баку, 1948.
3. Мирзоева Л. М. Определение концентрации твердой фазы в двухфазной среде при движении в вертикальной трубе снизу вверх. «Изв. АН Азерб. ССР», № 9, 1957.
4. Обрядчиков С. И. и Марушкин Б. Н. Исследование процесса с подвижным катализатором. «Нефтяное хозяйство», № 11, 1946.
5. Худяков Г. И. О движении твердых частиц в газозвеси. «Изв. АН СССР», № 7, 1953.

6. Harlu O. И. а. Molstad М. С. Перепад давления в вертикальных трубах при транспортировке твердых части газами. Ind. Eng. Chem. 1949, 41, 1.
 7. Daniels L. S. Техника флюидного каталитического крекинга. Refiner, 1099, 1946,

Л. М. Мирзеева

Шагули боруда икифазлы гарышығын (газ-бәрк маддә) һәрәкәт этдийи заман онун сүрүшмә әмсалынын тәчрүби сурәтдә тапылмасы

ХҮЛАСӘ

Проф. С. М. Обрядчиков илә мүнәндис Б. Н. Марушкинин тәдгигаты кәстәрмишдир ки, апаратларда олан катализаторун концентрациясы, яхуд сәвиййәси, апарат бою тәзйигин дүшмәсиндән асылы оларга, ашағыдакы тәнлийә әсасән тапыла биләр:

$$\Delta p \cdot F = g_k H F \quad (1)$$

һарада: Δp —тәдгиг әдилән һиссәдә тәзйигин дүшмәси (мм, ч. с. илә);
 H —һиссәнин һүндүрлүйү (м-лә);

g_k —гарышығын ваһид һәчминдә олан бәрк маддәнин мигдары
 $\left(\frac{\text{кг б һ}}{\text{м}^3 \text{ гар}} \text{ м-лә} \right);$

F —апаратын ән кәсийи (м-лә).

Адәтән истәһсалат шәраитиндә апаратларда һәрәкәт әдән катализаторун мигдарынын тәйин әдилмәси тәләб олунур. Бунун (1) тәнлийинә фазлар арасындакы сүрүшмәни нәзәрә алан әмсалы әлавә әтмәклә тапырлар:

$$g_k = \frac{\Delta p}{BH} \quad (2)$$

Бурада: B —газ вә бәрк маддәләрин мütлэг сүр'әтләринин һисбәтинә бәрабәр олан әмсалдыр.

Бу әмсал тәчрүбә нәтичәләринә әсасланараг 2-дән 3-ә гәдәр көтүрүлүр (1, 2, 7).

Бизим тәчрүбәләримиз нәтичәсиндә алынган сүрүшмә әмсалы 1,6—3-ә гәдәр дәйишир вә икифазлы гарышығын һәрәкәт этдийи шәраитиндән, башга сөзлә, газ фазынын сүр'әти вә температурундан асылдыр (4, 5, 6-чы шәкилләр).

Ю. А. ИБАД-ЗАДЕ

ПОСТРОЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ САМОРАЗМЫВАЮЩЕГОСЯ РУСЛА

В практике гидротехнического строительства имеют место случаи, когда для отвода русла реки на новое место выкапывают (или взрывают) пионерную траншею (прорезь) небольшого размера $\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20} \text{ Н. В.} \right)$

с расчетом размыва русла до требуемых размеров самим потоком. В этом случае размыв происходит первоначально равномерно, и сечение прорези, имея определенную правильную форму, постепенно увеличивается; увеличивается и доля расхода воды, поступающая в прорезь. Этот процесс продолжается до достижения сечением прорези размеров, пропускающих полностью расход реки. В этот период новое русло имеет временную устойчивость. Поэтому и определение формы поперечного сечения саморазмывающегося русла нужно отнести именно к этому периоду, так как, после прохождения полного расхода реки по новому руслу, дальнейшая деформация русла уже будет подчиняться общей закономерности русловых процессов.

Обычно для определения формы поперечного сечения русла многие исследователи исходят из понятия устойчивого сечения, т. е. такого в котором нет ни размыва, ни намыва.

Фактически в естественных руслах, в особенности в среднем и нижнем течении рек, в котором поток протекает по гребням собственных отложений, такого устойчивого русла не наблюдается. С изменением режима питания русло претерпевает определенные деформации.

Наиболее правильное решение вопроса о форме русла может быть найдено, исходя из баланса наносов. Однако при этом не все факторы, влияющие на формы русла, поддаются математическому учету.

Поэтому для решения интересующего нас вопроса приходится идти на некоторую схематизацию, а именно:

а) рассматриваем два поперечных сечения прорези, расположенные друг от друга на небольшом расстоянии, что дает нам возможность полагать, что исследуемый участок прямолинеен в плане;

б) полагаем, далее, что грунты рассматриваемого участка однородны. Это дает нам возможность полагать, что сопротивление грунтов размыву во всех точках смоченного периметра—одинаково;

в) движение воды равномерное и прямолинейное с постоянным режимом;

г) весь продукт размыва выносится за пределы рассматриваемого участка;

д) наносы, приносимые сверху, не осаждаются и проносятся дальше, за пределы нового русла. В этих условиях на создание русла максимальной пропускной способности поток тратит минимум энергии.

При этих предположениях выделим в живом сечении потока элементарный столб воды (рис. 1). Потеря энергии этого столба при перемещении его за единицу времени (т. е. мощности) равна

$$dE = -\gamma y dx \cdot v_x (h_1 - h_2), \quad (1)$$

где v_x — поступательная скорость выделенного столба,

$$h_1 - h_2 = I v_x$$

где I — уклон русла.

Тогда полная потеря мощности всего потока равна:

$$E = -2 \int_0^{\frac{B}{2}} \gamma y I v_x^2 dx \quad (2)$$

Гидравлический радиус элемента:

$$R_x = \frac{\omega}{z} = \frac{y}{\sqrt{1 + y'^2}} \quad (3)$$

и, соответственно, поступательная скорость элемента

$$v_x = \frac{C I^{\frac{1}{2}} y^{\frac{1}{2}}}{(1 + y'^2)^{\frac{1}{4}}}, \quad (4)$$

где коэффициент Шези по Н. Н. Павловскому:

$$C = \frac{1}{n} R_x^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{n} \frac{y^{\frac{2}{3}}}{(1 + y'^2)^{\frac{2}{3}}} \quad (5)$$

или

$$v_x = \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n} \frac{y^{\frac{1}{2} + \frac{2}{3}}}{(1 + y'^2)^{\frac{1}{4} + \frac{2}{3}}}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (2), находим

$$E = -2 \int_0^{\frac{B}{2}} \frac{\gamma I^2}{n^2} \frac{y'^{2(1+\frac{2}{3})}}{(1 + y'^2)^{\frac{1}{2} + \frac{2}{3}}} dx. \quad (7)$$

Здесь γ , n и I , как постоянные для данного русла величины, могут быть вынесены за знак интеграла.

Величина γ , согласно Н. Н. Павловскому, определяется по формуле

$$\gamma = 2,5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,1), \quad (8)$$

или в общей форме $\gamma = \alpha \sqrt{n}$, (8')

где

$$\alpha = 1,3 - 1,5.$$

Учитывая эмпирический характер (8), можно с достаточной точностью пользоваться (8'). Поэтому (7) можно переписать в виде

$$E = -2 \int_0^{\frac{B}{2}} \frac{\gamma I^2}{n^2} \frac{y'^{2(1+\alpha\sqrt{n})}}{(1 + y'^2)^{\alpha\sqrt{n} + \frac{1}{2}}} dx \quad (7')$$

Уравнение (7'), выражающее потерю мощности потока, позволяет поставить следующую вариационную задачу.

Из всех возможных форм русла спрямления (на рис. 1 б: 1, 2, и 3), выраженной функцией $y = f(x)$, в действительности имеет место такая, на формирование которой поток теряет минимальную мощность.

Таким образом, для построения поперечной формы русла спрямления следует функционал (7') исследовать на экстремум.

Однако можно показать, что исследование (7) доставит условный экстремум. В этом случае форма русла изобразится прямой линией ($y=0$), что соответствует потере энергии равной нулю, т. е. случаю отсутствия расхода, не отвечающему поставленной задаче. В вариационном исчислении подобные задачи, как правило, решаются постановкой дополнительных условий, позволяющих составить вспомогательный функционал, дающий безусловный экстремум. Назовем подобную вариационную задачу с применением вспомогательного функционала обобщенной изопериметрической [3, стр. 133]. В рассматриваемом случае в качестве дополнительного условия можно поставить следующее. Так как каждой форме русла соответствует своя потеря энергии, то очевидно, что при сохранении постоянной поверхности трения, или, что то же, смоченного периметра, в действительности будет образована такая форма русла, которая обусловит минимальную потерю мощности потока. Иными словами, приняв длину смоченного периметра для всех возможных форм русла постоянной, следует варьировать как формой, так и наибольшей глубиной и шириной русла.

Сформулированное условие записывается в виде:

$$z = 2 \int_0^{\frac{B}{2}} \sqrt{1 + y'^2} dx. \quad (9)$$

Используя (7') и (9), составляем вспомогательный функционал

$$S = E + \lambda z = 2 \int_0^{\frac{B}{2}} \left[-\frac{\gamma I^2 y'^{2(1+\alpha\sqrt{n})}}{n^2 (1 + y'^2)^{\alpha\sqrt{n} + \frac{1}{2}}} + \lambda \sqrt{1 + y'^2} \right] dx, \quad (10)$$

где λ — постоянный параметр.

В упомянутом курсе по вариационному исчислению доказывается, что экстремум (10) доставляет также и экстремум (7').

Введем обозначения

$$F^* = -\frac{\gamma I^2}{2} \frac{y^{2(1+\alpha\sqrt{n})}}{(1+y'^2)^{\alpha\sqrt{n}+\frac{1}{2}}} + \lambda\sqrt{1+y'^2}. \quad (10')$$

Так как (10') не содержит x , то уравнение Эйлера, доставляющее экстремум функционала, имеет следующий вид [3, стр. 122]:

$$F^* - y' \frac{\partial F^*}{\partial y'} = C_1, \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} F_{y'}^* = \frac{\partial F^*}{\partial y'} &= \frac{\gamma I^2 (2\alpha\sqrt{n}+1) y^{2(1+\alpha\sqrt{n})} (1+y'^2)^{\alpha\sqrt{n}-\frac{1}{2}}}{n^2 (1+y'^2)^{2\alpha\sqrt{n}+1}} + \\ &+ \frac{\lambda y'}{\sqrt{1+y'^2}} = \\ &= \frac{\gamma I^2}{n^2} \frac{(2\alpha\sqrt{n}+1) y^{2(1+\alpha\sqrt{n})} y'}{(1+y'^2)^{\alpha\sqrt{n}+\frac{1}{2}}} + \frac{\lambda y'}{\sqrt{1+y'^2}} \end{aligned} \quad (11')$$

Подставляя в (11), получаем

$$\begin{aligned} \frac{\gamma I^2}{n^2} \frac{y^{2(1+\alpha\sqrt{n})}}{(1+y'^2)^{\alpha\sqrt{n}+\frac{1}{2}}} + \lambda(1+y'^2)^{\frac{1}{2}} - \\ - \frac{\gamma I^2}{n^2} \frac{(2\alpha\sqrt{n}+1) y^{2(1+\alpha\sqrt{n})} y'}{(1+y'^2)^{\alpha\sqrt{n}+\frac{1}{2}}} - \frac{\lambda y'}{\sqrt{1+y'^2}} = C_1. \end{aligned} \quad (11'')$$

Здесь следует отметить, что исследуемая вариационная задача имеет подвижные границы. При варьировании, точки 1, 2, 3 и т. д. перемещаются по горизонтальной прямой $\left(\frac{B}{2}, 0\right)$.

При этом касательные к возможным кривым русла у уреза (рис. 1 б) во всех случаях составляют угол, не превышающий угла естественного откоса насыщенного водой грунта.

Для вариационных задач, когда крайняя точка может перемещаться лишь вдоль горизонтальной прямой, так называемое условие трансверсальности имеет вид [3, стр. 92]:

$$\left[F^* - y' \frac{\partial F^*}{\partial y'} \right]_{\substack{x=\frac{B}{2} \\ y=0 \\ y'=\text{tg } \varphi}} = 0.$$

Последнее условие позволяет из (10'), (11) и (11') (полагая $y=0$, $y'=\text{tg } \varphi$) получить

$$\lambda = C_1 / \cos \varphi \quad (12)$$

Кроме того, имеем другое граничное условие, согласно которому при $y=h_{\max}$, в силу симметрии $y'=0$.

Тогда из (11'') следует:

$$C_1 = -\frac{\gamma I^2}{n^2} \frac{h_{\max}^{2(1+\alpha\sqrt{n})}}{\left(1 - \frac{1}{\cos \varphi}\right)}. \quad (12')$$

Используя (12) и (12') из (11''), получаем:

$$\begin{aligned} \left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^{2(1+\alpha\sqrt{n})} [1 + (2\alpha\sqrt{n}+1)y'^2] \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi}\right) = \\ = [1 + y'^2]^{\alpha\sqrt{n}} \left[(1+y'^2)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{\cos \varphi} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Дифференциальное уравнение (13) в элементарных функциях не выражается и может быть решено приближенно.

После разложения $(1+y'^2)^{\alpha\sqrt{n}}$ и $(1+y'^2)^{\frac{1}{2}}$ в биномиальные ряды формулу (13) можно переписать в приближенном виде:

$$\begin{aligned} \left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^{2(1+\alpha\sqrt{n})} [1 + (2\alpha\sqrt{n}+1)y'^2] = 1 + \alpha\sqrt{n} y'^2 + \frac{y'^2}{2\left(1 - \frac{1}{\cos \varphi}\right)} + \\ + \frac{\alpha\sqrt{n} y'^4}{2\left(1 - \frac{1}{\cos \varphi}\right)} \end{aligned}$$

Пренебрегая из-за малости последним членом правой части, получим:

$$y' = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^{2(1+\alpha\sqrt{n})}}{\left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^{2(1+\alpha\sqrt{n})} (1 + 2\alpha\sqrt{n}) - \alpha\sqrt{n} + \frac{0,5}{\frac{1}{1 - \frac{1}{\cos \varphi}} - 1}}} \quad (14)$$

Проверим соблюдение граничных условий приближенного дифференциального уравнения (14).

При $y/h_{\max}=1$ величина $y'=0$, что отвечает условию задачи.

Далее, при $y=0$

$$\text{tg } \varphi \approx y' \approx \sqrt{\frac{1}{\frac{0,5}{\frac{1}{\cos \varphi} - 1} - \alpha\sqrt{n}}} \quad (14')$$

(14') является приближенным выражением для $\text{tg } \varphi$.

Преобразуем (14) в виде:

$$(x = \pm \int \sqrt{\frac{\left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^{2(1+\alpha\sqrt{n})} (1 + 2\alpha\sqrt{n}) - \alpha\sqrt{n} + \frac{0,5}{\frac{1}{\cos \varphi} - 1}}{1 - \left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^{2(1+\alpha\sqrt{n})}}} dy + C. \quad (15)$$

Подинтегральная функция имеет ту особенность, что при $\frac{y}{h_{\max}} = 1$ превращается в бесконечность. Однако можно показать, что рассматриваемый интеграл при всех условиях сходится. Для этой цели воспользуемся признаком Коши. Пусть для достаточно близких к единице значений $\frac{y}{h_{\max}}$ подинтегральная функция имеет вид:

$$f(y) = \frac{g(y)}{\left[1 - \left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^{2(1+\alpha\sqrt{n})}\right]^{\lambda}},$$

где $g(y)$ — числитель подинтегральной функции (15). Так как $g(y)$ при всех возможных изменениях y является конечной функцией, то для сходимости (15) достаточно, чтобы $\lambda < 1$.

В нашем случае это условие выполняется, так как $\lambda = \frac{1}{2}$. Квадратура, представленная в (15), в элементарных функциях не выражается и может быть вычислена приближенно. Для этой цели предварительно введем обозначения:

$$2(1 + \alpha\sqrt{n}) = m; \quad 1 + 2\alpha\sqrt{n} = m - 1; \quad \alpha\sqrt{n} = \frac{m}{2} - 1.$$

Тогда (15) можно записать в виде

$$x = \pm \int \frac{\left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^m (m-1) - \frac{m}{2} + 1 + \frac{0,5}{\frac{1}{\cos \varphi} - 1}}{1 - \left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^m} dy + C,$$

или, после несложных преобразований,

$$x = \mp A \int \sqrt{\frac{1-m}{A^2} + \frac{1}{1 - \left(\frac{y}{h_{\max}}\right)^m}} dy + C, \quad (16)$$

где

$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left(m + \frac{\cos \varphi}{1 - \cos \varphi} \right)}.$$

Формула (16) не удовлетворяет известным признакам Чебышева и поэтому в элементарных функциях не выражается и может быть вычислена приближенно. Однако особенностью подинтегральной функции является то, что она не может быть выражена в виде рядов, пригодных для практических вычислений.

Так, указанную функцию вообще нельзя представить в виде строки Маклорена¹, биномиальный ряд получается расходящимся, тригонометрически чрезвычайно сложным и т. п. Поэтому лучше всего решение задачи выполнить приемами численного интегрирования.

Уравнение (16) удобнее преобразовать подстановкой

$$\frac{y}{h_{\max}} = u, \quad dy = h_{\max} du.$$

Тогда получим

$$x = \pm Ah_{\max} \int \sqrt{\frac{1-m}{A^2} + \frac{1}{1-u^m}} du + C. \quad (18)$$

¹ Так как производные всех порядков $f'(0) \dots f''(0)$ обращаются в нуль.

Таблица 1

Значения u^m и $\frac{1}{1-u^m}$	$n = 0,030$		$n = 0,025$		$n = 0,020$		$n = 0,017$		$n = 0,01$		u
	$u^{2,46}$	$\frac{1}{1-u^{2,46}}$	$u^{2,40}$	$\frac{1}{1-u^{2,40}}$	$u^{2,36}$	$\frac{1}{1-u^{2,36}}$	$u^{2,32}$	$\frac{1}{1-u^{2,32}}$	$u^{2,26}$	$\frac{1}{1-u^{2,26}}$	
0,0	0,	1,0	0,0	1,0	0	1,0	0	1,0	0,	1,0	0,0
0,1	0,00347	1,003	0,004	1,003	0,00437	1,003	0,0048	1,002	0,0055	1,002	0,1
0,2	0,0191	1,015	0,0209	1,02	0,0224	1,023	0,0245	1,025	0,0263	1,025	0,2
0,3	0,022	1,025	0,0246	1,025	0,0274	1,028	0,031	1,032	0,0392	1,032	0,3
0,4	0,102	1,11	0,105	1,12	0,106	1,12	0,109	1,123	0,11	1,123	0,4
0,5	0,152	1,22	0,19	1,235	0,195	1,242	0,200	1,25	0,209	1,25	0,5
0,6	0,282	1,39	0,29	1,41	0,296	1,42	0,304	1,44	0,313	1,44	0,6
0,7	0,417	1,71	0,426	1,74	0,43	1,75	0,438	1,78	0,448	1,78	0,7
0,8	0,578	2,37	0,585	2,41	0,59	2,44	0,596	2,47	0,605	2,47	0,8
0,9	0,773	4,40	0,777	4,48	0,78	4,56	0,783	4,61	0,79	4,61	0,9
0,95	0,881	8,40	0,883	8,56	0,885	8,71	0,887	8,85	0,89	8,85	0,95
0,99	0,96	25,0	0,965	28,8	0,968	31,13	0,975	40	0,98	40	0,99
1,0	1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0

В табл. 1 приводим значения u^m и $\frac{1}{1-u^m}$.

Пользуясь табл. 1, вычислим значение функции

$$f(u) = A \sqrt{\frac{1-m}{A^2} + \frac{1}{1-u^m}} \quad (19)$$

и результаты сведем в таб. 2.

Для интегрирования (18) строим график $f(u)$ (рис. 2).

Тогда уравнение (18) можно переписать в виде

$$x = \pm h_{\max} \sum_{u=0}^u f(u) \Delta u + C,$$

где $\sum_{u=0}^u f(u) \Delta u$ — площадь, заключенная между осью абсцисс и соответствующими ординатами $u=0$ и u . Произвольную постоянную определяем из граничного условия, согласно которому при $y=0$ (соответственно $u=0$) $x = \frac{B}{2}$,

где B — ширина русла поверху. Так как при $u=0$

$$\sum_{u=0}^u f(u) \Delta u = 0,$$

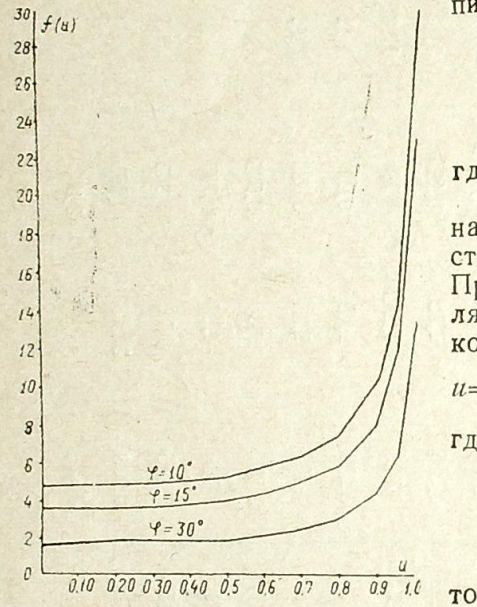


Рис. 2

График значения $f(u)$ (при $n=0,025$).

$$x = \frac{B}{2} \mp h_{\max} \sum_{u=0}^u f(u) \Delta u. \quad (20)$$

Далее, используя условие, что при $x=0$, $u=1$, находим:

$$\frac{B}{h_{\max}} = \pm 2 \sum_{u=0}^{u=1} f(u) \Delta u. \quad (20')$$

(20') устанавливает зависимость между шириной и наибольшей глубиной русла.

(20') можно переписать в виде:

$$x = h_{\max} \left[\pm \sum_{u=0}^{u=1} f(u) \Delta u \mp \left| \sum_{u=0}^u f(u) \Delta u \right| \right] =$$

$$= \mp h_{\max} \left[- \sum_{u=1}^{u=0} f(u) \Delta u + \sum_{u=0}^u f(u) \Delta u \right],$$

или

$$x = \mp h_{\max} \sum_u f(u) \Delta u. \quad (21)$$

Таблица 2

Значения функции $f(u)$														
φ°	A	$\frac{1-m}{A^2}$	$u =$											
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
			$n = 0,017$											
10	4,84	- 0,0389	4,751	4,76	4,83	4,84	5,05	5,34	5,85	6,40	7,55	10,38	14,4	30,7
15	3,82	- 0,0907	3,54	3,65	3,69	3,71	3,88	4,11	4,44	4,97	5,81	8,12	11,60	23,12
20	3,00	- 0,147	2,77	2,77	2,81	2,82	2,96	3,16	3,41	3,83	4,65	6,34	8,96	18,95
25	2,43	- 0,227	2,14	2,14	2,16	2,16	2,30	2,46	2,68	3,03	3,63	5,09	7,15	15,33
30	2,09	- 0,303	1,74	1,75	1,78	1,79	1,89	1,92	2,23	2,54	3,04	4,35	6,11	13,40
$n = 0,020$														
10	4,85	- 0,04	4,75	4,73	4,81	4,83	5,05	5,38	5,75	6,40	7,56	10,40	14,40	30,32
15	3,83	- 0,0938	3,64	3,65	3,70	3,71	3,89	4,11	4,46	4,99	5,91	8,14	11,33	24,22
20	3,00	- 0,151	2,76	2,77	2,80	2,82	2,95	3,14	3,41	3,83	4,58	6,34	8,84	18,92
25	2,43	- 0,232	2,13	2,14	2,16	2,17	2,29	2,45	2,70	3,03	3,64	5,09	7,15	15,62
30	2,10	- 0,31	1,74	1,75	1,77	1,78	1,91	2,04	2,24	2,55	3,09	4,36	6,14	13,25
$n = 0,025$														
10	4,87	- 0,041	4,77	4,77	4,84	4,85	5,08	5,39	5,77	6,41	7,59	10,41	15,24	30,35
15	3,83	- 0,0958	3,64	3,65	3,69	3,71	3,89	4,12	4,46	4,98	5,92	8,50	11,33	24,19
20	3,01	- 0,155	2,77	2,77	2,81	2,82	2,96	3,15	3,42	3,83	4,68	6,35	8,86	19,00
25	2,44	- 0,238	2,13	2,12	2,17	2,18	2,29	2,45	2,68	2,98	3,65	5,16	7,17	15,40
30	2,10	- 0,318	1,73	1,74	1,76	1,78	1,89	2,03	2,23	2,54	3,07	4,35	6,10	13,25

Из (19) следует, что $f(u)$ при $u=1,0$ неограниченно возрастает. Однако возрастание ординаты кривой вблизи точки разрыва происходит асимптотически, благодаря чему, как уже указывалось, площадь, согласно (20'), имеет органическое значение.

Для практических расчетов можно ограничиться значением $u=0,99$, что и принято в табл. 2 и рис. 2.

Вычислим, пользуясь рис. 2 и таблицей 2 значения $x/h_{\max}$ для случаев $\varphi=10, 15, 20$ и 30° и при значениях $n=0,017$ и $0,025$.

Результаты подсчетов сводим в табл. 3.

Таблица 3

		Значения $x/h_{\max}$											
φ°	n	u											
		0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	
10	0,017	1,832	6,352	5,877	5,393	4,898	4,378	3,778	3,166	2,468	1,522	0,902	
15	0,017	4,796	4,437	4,07	3,70	3,32	2,92	2,4925	2,422	1,8834	1,1874	0,6944	
20	0,025	4,006	3,729	3,450	3,168	2,879	2,574	2,246	1,884	1,458	0,908	0,558	
25	0,025	3,174	2,962	2,747	2,329	2,306	2,069	1,813	1,53	1,2	0,76	0,457	
30	0,025	0,807	2,633	2,458	2,281	2,098	1,852	1,639	1,351	1,017	0,645	0,385	

Из уравнения (20') и табл. 3 следует, что с изменением φ отношение $\frac{B}{h_{\max}}$ резко изменяется. Так, например, при $\varphi=10^\circ$ отношение $\frac{B}{h_{\max}}=13,66$, при $\varphi=20^\circ$, $\frac{B}{h_{\max}}=8,00$, а при $\varphi=30^\circ$, $\frac{B}{h_{\max}}=5,62$.

Определим остальные элементы русла спрямлений.

Площадь живого сечения определим по формуле (рис. 3):

$$\omega = 2 \int_0^{h_{\max}} x dy = 2 \sum_{i=0}^{i=h_{\max}} x_i \Delta y = 2 h_{\max}^2 \sum_{u=0}^{u=1} x_i \Delta u \quad (22)$$

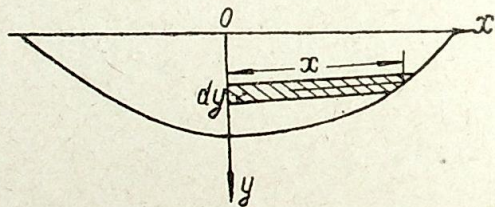


Рис. 3

Пользуясь табл. 3, вычисляем $\frac{\omega}{2h_{\max}^2}$ и сводим в табл. 4.

Смоченный периметр

$$z = 2 \int_0^{\frac{B}{2}} \sqrt{1+y'^2} dx = 2 \int_0^{h_{\max}} \sqrt{1+x'^2} dy.$$

Таблица 4

Значения $\frac{z}{2h_{\max}}$, $\frac{R}{h_{\max}}$ и $\frac{\omega}{2h_{\max}^2}$					
φ° n	10 0,017	15 0,017	20 0,025	25 0,025	30 0,025
$\frac{z}{2h_{\max}}$	8,57	5,39	4,067	3,147	2,791
$\frac{R}{h_{\max}}$	0,485	0,537	0,60	0,619	0,625
$\frac{\omega}{2h_{\max}^2}$	4,132	2,89	2,43	1,953	1,741

Дифференцируя (18) по y , получаем,

$$\left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = x'^2 = 1 - m + \frac{A^2}{1-u^m}. \quad (23)$$

Соответственно:

$$\begin{aligned} z &= 2h_{\max} \sum_0^{1,0} \sqrt{2-m+\frac{A^2}{1-u^m}} \Delta u = \\ &= 2h_{\max} \sum_0^{1,0} \sqrt{1-x'^2} \Delta u \end{aligned} \quad (24)$$

Пользуясь данными табл. 1 и формулой (23), в табл. 5 приводим значения x'^2 и $\sqrt{1+x'^2}$, а по ним подсчитаны значения $z/2h_{\max}$, сведенные в табл. 4.

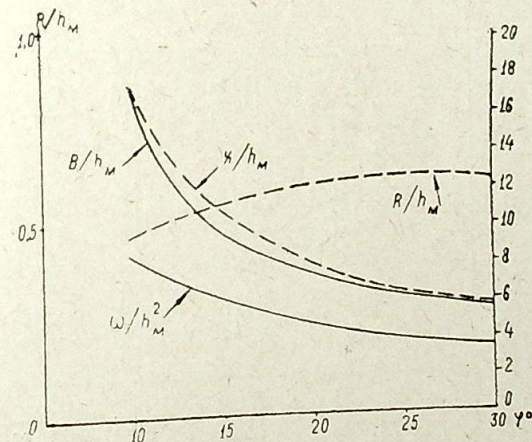


Рис. 4

Графическое изображение зависимости гидравлических элементов потока от φ (для $n=0,025$) приведено на рис. 4, который показывает, что с увеличением φ отношения $\frac{B}{h_{\max}}$ и $\frac{z}{h_{\max}}$ уменьшаются, т. е. для

Измеренные величины (30/VII 1948 г.)

$Q=251 \text{ м}^3/\text{сек}$; $B=60,2 \text{ м}$; $h_{\max}=7,78 \text{ м}$; $\omega=318 \text{ м}^2$; $R=5,04 \text{ м}$; $z=63,0 \text{ м}$; $\varphi=20^\circ$; $n=0,047$; $I=0,00015$; $v_{\text{ср}}=0,79 \text{ м/сек}$.

Проверим соответствие теоретических выводов наблюдаемым величинам. Значения ω и R берем из табл. 4 для $\varphi=20^\circ$.

Имеем:

$$\omega=2,37 h_{\max}^2; R=0,60 h_{\max}.$$

Подставляя значения ω и R в формулу расхода найдем:

$$Q = \frac{2 \cdot 2,37 h_{\max}^2}{0,047} (0,6 h_{\max})^{5/2} \sqrt{0,00015}.$$

Учитывая, что $v = 1,3 \sqrt{0,047} = 1,3 \cdot 0,215 = 0,28$, находим:

$$Q = 12,6 \cdot 0,6^{0,78} \cdot h_{\max}^{2,78}$$

или

$$h_{\max} = \left(\frac{251}{12,6 \cdot 0,6^{0,78}} \right)^{1/2,78} = 8,11 \text{ м}.$$

Остальные гидравлические элементы легко находятся из составленных таблиц.

Ширина прорези (табл. 3) при $\varphi=20^\circ$:

$$B = 2 \cdot 4,006 \cdot 8,11 = 64,89 \text{ м}.$$

Площадь поперечного сечения (табл. 4):

$$\omega = 2 h_{\max}^2 \cdot 2,37 = 47,74 \cdot 8,11^2 = 319 \text{ м}^2,$$

Гидравлический радиус (табл. 4):

$$R = 0,6 h_{\max} = 0,6 \cdot 8,11 = 4,87 \text{ м}.$$

Смоченный периметр (табл. 4):

$$z = 4,067 \cdot 2 \cdot 8,11 = 65,2 \text{ м}.$$

Теоретически вычисленные и фактически замеренные гидравлические элементы сведены в табл. 8, из которой следует, что расхождение находится в пределах точности замера.

Таблица 8

Сравнительная таблица гидравлических элементов потока

	По предлагаемому методу	Фактически замерены	% расхода
$h_{\max} \text{ (м)}$	8,11	7,78	+ 4,0
$B \text{ (м)}$	64,89	60,2	+ 7,0
$\omega \text{ (м}^2\text{)}$	319	318	+ 1,0
$R \text{ (м)}$	4,87	5,04	- 2,0
$z \text{ (м)}$	65,2	63,0	+ 3,5

Вышеприведенная теория дает возможность построить форму русла.

Координаты для построения формы русла определяем из табл. 3 для $\varphi=20^\circ$ и сводим в табл. 9.

Таблица 9

Координаты поперечного сечения русла		
u	$y = u \cdot h_{\max}$	x
0,	0	$4,006 \cdot 8,11 = 32,44$
0,1	0,811	$3,729 \cdot 8,11 = 30,3$
0,2	1,622	$3,45 \cdot 8,11 = 27,9$
0,3	2,433	$3,168 \cdot 8,11 = 25,6$
0,4	3,244	$2,879 \cdot 8,11 = 23,4$
0,5	4,05	$2,574 \cdot 8,11 = 20,8$
0,6	4,87	$2,246 \cdot 8,11 = 18,2$
0,7	5,68	$1,884 \cdot 8,11 = 15,25$
0,8	6,49	$1,458 \cdot 8,11 = 11,80$
0,9	7,30	$0,909 \cdot 8,11 = 7,36$
0,95	7,7	$0,558 \cdot 8,11 = 4,52$
1,0	8,11	0

По данным табл. 9 строим форму русла (рис. 5).

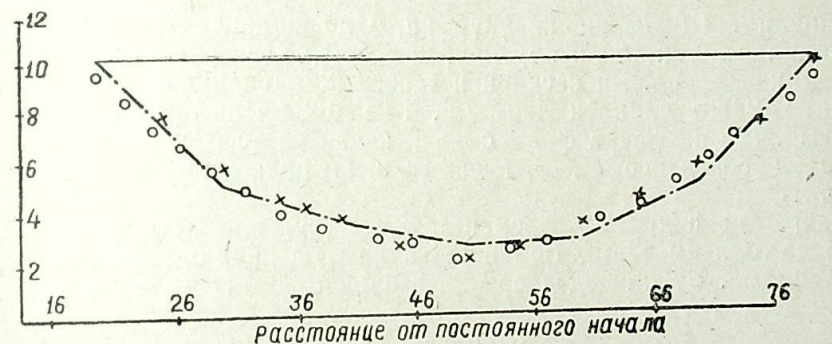


Рис. 5

Поперечный профиль по створу № 7 спрямления № 4

В заключение отметим, что по вышеизложенной методике можно построить форму русла и для неоднородных грунтов, т. е. когда русло не симметричное и размыв русла происходит неравномерно. В этом случае опять-таки используется вышеприведенная зависимость (18), а по построенной кривой суммирование производится как по кусочно-гладкой функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроскин И. И. Дмитриев, Г. Т. Пикалов. Ф. И. Гидравлика. 1954.
2. Караушев А. В. Гидравлика рек и водохранилищ. 1955.
3. Эльгольц А. Э. Вариационные исчисления. 1952.

Ю. Э. Ибадзадэ

Өзү ююлан мөчранын эн кәсийинин формасынын тәйини

ХУЛАСӘ

Вәһид заман мүддәтиндә ики эн кәсик арасындакы энерги (1) тәнлийи илә ифадә олунур ки, бу да (3)–(5) тәнликләрини нәзәрә алсаг (7) тәнлик шәклинә дүшүр.

Мүхтәлиф форманын алынмасына мүхтәлиф энерги сәрф олунур. Одур ки, вариасион мәсәләни һәлл этмәк үчүн эн кәсийин формасынын, энинин вә максимал дәринлийинин дәйишдийини гәбул әдирик. Бу да (9) тәнликлә ифадә олунур. Вариасион мәсәләни һәлл этдикдә 13-чү әсас дифференсиал тәнлийи алырыг. Бу тәнлийин там интегралы алынмадығындан һиссә-һиссә интеграл алыныр.

$$(16) \text{ тәнлийин интегралыны алмаг үчүн } f(u) = A \sqrt{\frac{1-m}{A^2} + \frac{1}{1-u^m}}$$

функциясынын графикани гуруруг.

$$\text{Онда (16) тәнлийи белә язмаг олар: } x = + h_m \sum_{u_0}^u f(u) \Delta u + c.$$

Нәтичәдә (20) тәнлийи алырыг ки, бу да мөчранын эни илә дәринлийи арасындакы мүнәсибәти кәстәрир. (18) тәнликдән алынмыш $\frac{B}{h_m}$ -ин гиймәтләри хүсуси ($n=0,025$) һалы үчүн 4-чү шәкилдә кәстә-

рилмишдир. Шәкилдән көрүнүр ки, φ дәйишдикчә v/h_m гиймәти дә дәйишир. Алынған тәнликләр мөчранын гидравлик элементләрини тапмаға имкан верир. Эн кәсийинин саһәси (22) тәнликдән вә исланмыш приметр (24) тәнликдән тапылыб, 4 вә 6-чы чәдвәлләрдә топланылмышдыр. Һәммин мөчра формасындан кечән мае сәрфи (26) тәнликдән вә ондал сонра исә B , ω , R -ин вә и. а. гидравлик элементләрини тапырыг.

Мөчранын гидравлик элементләри бу үсул илә һесабланыб 10-чу чәдвәлдә топланылмышдыр. Һәммин чәдвәлдә мүшәһидә олунан әдәлләрдә язылмышдыр. Бу ики әдәлләрин бир-биринә яхын олдуғу 10-чу чәдвәлдән көрүнүр.

М. С. АРУТЮНОВ

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА СЕРОВОДОРОДОВ КОРРОЗИИ СТАЛИ В ПЛАСТОВЫХ ВОДАХ

Коррозия стального оборудования нефтяных скважин в пластовых водах является типичным электрохимическим процессом коррозии в электролите.

Поверхность металла, погруженного в электролит, представляет собой систему коррозионных пар, между электродами которых возникает электрический ток. Участки металла выполняющие роль анода корродируют.

Скорость коррозии зависит от силы образующего тока, разности потенциалов между катодными и анодными участками поверхности, в некоторых случаях, и от омического сопротивления среды.

В коррозионном электрохимическом процессе наблюдается явление поляризации, которое приводит к уменьшению скорости коррозии.

Явление это заключается в том, что при замыкании коррозионной пары значительно изменяются потенциалы анода и катода и уменьшается разность значений их потенциалов.

Поляризация сопровождается уменьшением силы коррозионного тока, а следовательно, и скорости коррозионного процесса.

С целью изучения электродных процессов у нержавеющих сталей различных марок в пластовых водах при доступе воздуха и без него и определения действия электролита—пластовой воды, на электродный потенциал сталей проведено исследование поляризационных кривых.

Материалом для исследования служили нержавеющие стали марок IX18H9T, 3X13 и ШХ15.

Испытания проводились в жесткой и щелочной пластовых водах в присутствии H_2S , CO_2 , N_2 и CH_4 . Ниже приводится химический состав (в %) вышеуказанных пластовых вод.

И о н ы	Пластовая вода	
	жесткая	щелочная
Na' + K'	3,010	1,920
Ca"	0,0723	0,0097
Mg"	0,0604	0,0490
Cl"	0,8000	2,8120
SO ₄	0,0054	0,0020
HCO ₃ '	0,1652	0,1892

Экспериментальная установка для снятия поляризационных кривых показана на рис. 1.

Прибор состоит из двух стеклянных сосудов 3 и 4, соединенных между собой краном 18.

Сосуды служат для исследуемого 1 и вспомогательного 2 электродов. Во время испытания без доступа воздуха, верхнее отверстие сосуда 4 герметически закрывалось резиновой пробкой. Резиновая пробка в своей средней части имеет небольшое отверстие для проводника от электрода 2. Сосуды 3 и 4 в своей нижней части имеют сливные краны 19 и 20.

Каломельный электрод 5 сообщается с исследуемым образцом (электрод 1) при помощи стеклянной трубки, заполненной насыщенным раствором KCl с агар-агаром.

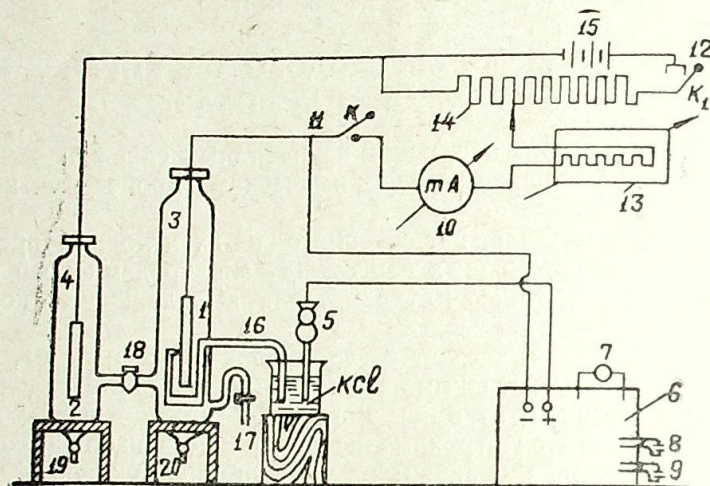


Рис. 1

Установка для снятия поляризационных кривых

1—исследуемый электрод—катод; 2—вспомогательный электрод—анод; 3, 4—сосуды; 5—каломельный электрод; 6—потенциометр; 7—гальванометр для потенциометра; 8—батарея 1,3–1,5 в; 9—нормальный элемент Вестона; 10—гальванометр для измерения поляризационного тока; 11—ключ для включения батарей; 12—ключ для замыкания цепи; 13—магазин сопротивлений; 14—делитель напряжения; 15—батарея 6 в; 16—агар-агаровый мостик; 17—отводная трубка; 18—соединительный кран; 19, 20—краны.

Испытуемый образец (электрод 1) представляет собой стальную пластину размером $110 \times 10 \times 6$ мм, изолированную битумом таким образом, чтобы рабочая поверхность (не изолированная) составляла 1 дм^2 . Перед испытанием все исследуемые образцы нержавеющей стали предварительно полировались, обезжиривались спиртобензольной смесью и спиртом и сушились.

Пластовая вода насыщалась газом за 10 мин. перед опытом.

В течение всего опыта через электролит по трубке 17 пропускался один из вышеуказанных газов. Сила тока измерялась миллиамперметром 10, чувствительностью $1^\circ = 1,95 \text{ ма}$. Потенциал исследуемого электрода измерялся потенциометром 6. Потенциал сначала измерялся без наложения поляризующего тока, а затем изучаемый электрод 1 поляризовался анодно или катодно, при помощи дополнительного электрода 2 при различных плотностях тока (от 0,15 до 8 ма/дм^2).

Испытания при доступе воздуха

Испытания при доступе воздуха проводились при открытых верхних отверстиях сосудов 3 и 4.

Загрузка сосудов электролитом производилась при открытом кране 18. Потенциал без наложения тока измерялся в течение 24 час. (стабилизация потенциала электрода). Измерения производились через каждые 10 мин.

При снятии анодных и катодных поляризационных кривых (при наложении тока) потенциал измерялся несколько раз, пока в интервале 4–5 мин. происходило изменение потенциала не более, чем 0,01 в. Тогда величину потенциала считали установившейся.

Полученные величины потенциалов сталей выражены по отношению к нормальному водородному электроду.

На рис. 2 показаны кривые анодной и катодной поляризации сталей 1X18H9T, 3X13 и ШХ15.

Оценивая коррозионную устойчивость по крутизне катодных кривых [1] исследуемых образцов сталей в щелочной и жесткой пластовых водах (см. рис. 2) видим, что для указанных сталей катодная поляризация происходит в большей степени в жесткой пластовой воде, чем в щелочной. Щелочную воду следует считать более коррозионной по сравнению с жесткой. Начальные электродные потенциалы (после стабилизации) у стали 1X18H9T в щелочной среде +0,080 в, а в жесткой +0,117 в, что явно указывает на разблагораживание (смещение в отрицательную сторону) стальной поверхности в щелочной воде. То же мы наблюдаем и у сталей 3X13 и ШХ15. Начальный потенциал стали 3X13 в щелочной воде равен +0,010 в, а в жесткой среде +0,050 в.

У стали ШХ15 начальный потенциал в щелочной воде равен +0,200 в, жесткой—0,150 в. Начальные потенциалы сталей ШХ15 и 3X13 расположены значительно отрицательнее по сравнению с потенциалом стали 1X18H9T, что определяет их коррозионную стойкость. Такое же соответствие между коррозионной стойкостью стали и электродным потенциалом стали наблюдал И. Л. Розенфельд [2]

Сравнивая кривые катодной поляризации указанных марок нержавеющей сталей можно прийти и к выводу, что сталь 1X18H9T как в

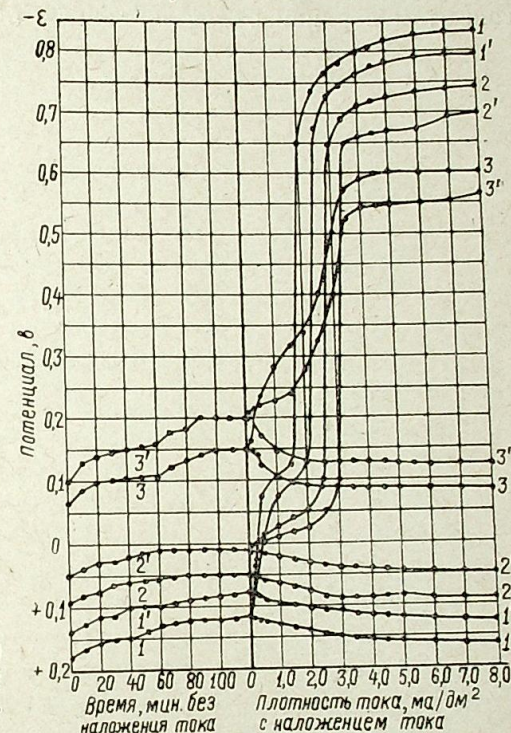


Рис. 2

Кривые анодной и катодной поляризации сталей 1X18H9T, 3X13 и ШХ15 в пластовых водах при доступе воздуха.
1', 2', 3'—щелочная вода; 1, 2, 3—жесткая вода;
1, 1'—сталь 1X18H9T; 2, 2'—сталь 3X13; 3, 3'—сталь ШХ15.

равен +0,010 в, а в жесткой среде +0,050 в.

жесткой, так и в щелочной пластовых водах является более коррозионно-устойчивой по сравнению со сталями 3Х13 и 3Х15.

Анодная поляризация у стали 1Х18Н9Т и 3Х13 практически одинакова: у стали 3Х15 она несколько больше. Однако, как сказано выше, в рассматриваемом случае скорость коррозии определяется катодной поляризацией.

Испытания без доступа воздуха и при насыщении электролита газами

Испытания без доступа воздуха и при насыщении электролита (пластовой воды) газами— H_2S , CO_2 , N_2 и CH_4 , производились при закрытом верхнем отверстии сосуда 4.

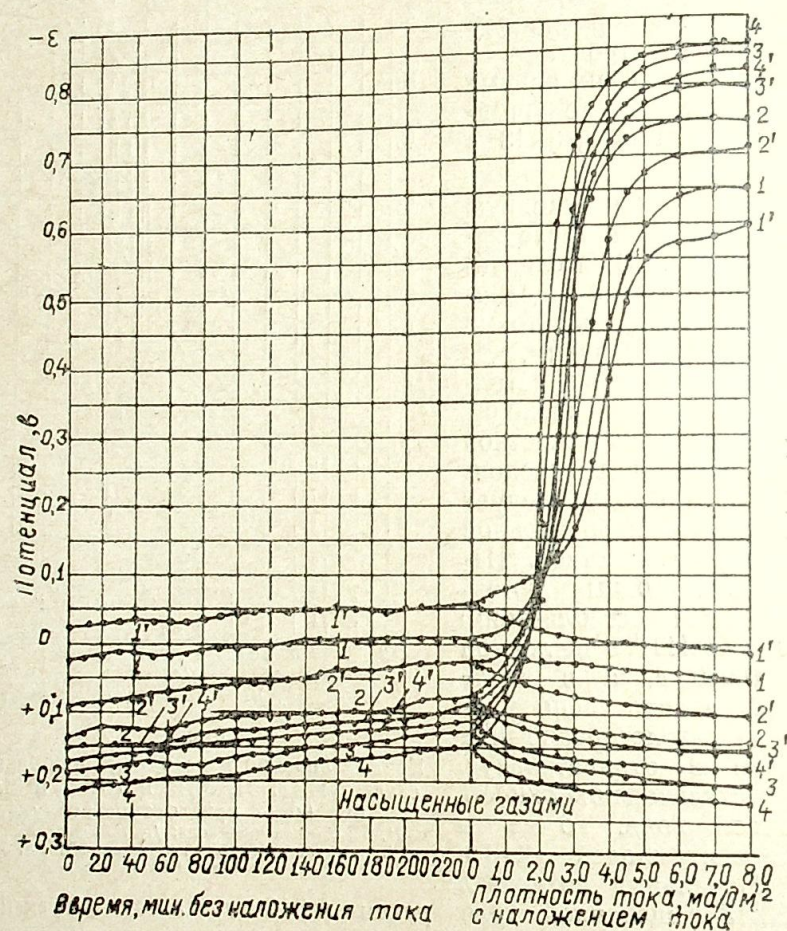


Рис. 3

Кривые анодной и катодной поляризации стали 1Х18Н9Т в пластовых водах при насыщении газами без доступа воздуха.
1, 1'—насыщенная H_2S ; 2, 2'— CO_2 ; 3, 3'— N_2 ; 4, 4'— CH_4 ; 1, 2, 3, 4—жесткая вода; 1', 2', 3', 4'—щелочная вода.

Для вытеснения воздуха из системы производилось заполнение сосудов 3 и 4 электролитом при открытом кране 18.

После заполнения сосуда 4 до края верхнего отверстия, кран 18 закрывался. В сосуде 4 устанавливался вспомогательный электрод 2,

и верхнее отверстие закрывалось резиновой пробкой. Место вывода провода (от электрода) через резиновую пробку промазывалось замазкой, приготовленной из перхлорвиниловой смолы. Затем, при закрытии верхнего отверстия. В заполненный электролитом сосуд 3, до края электрод 1 из исследуемой стали.

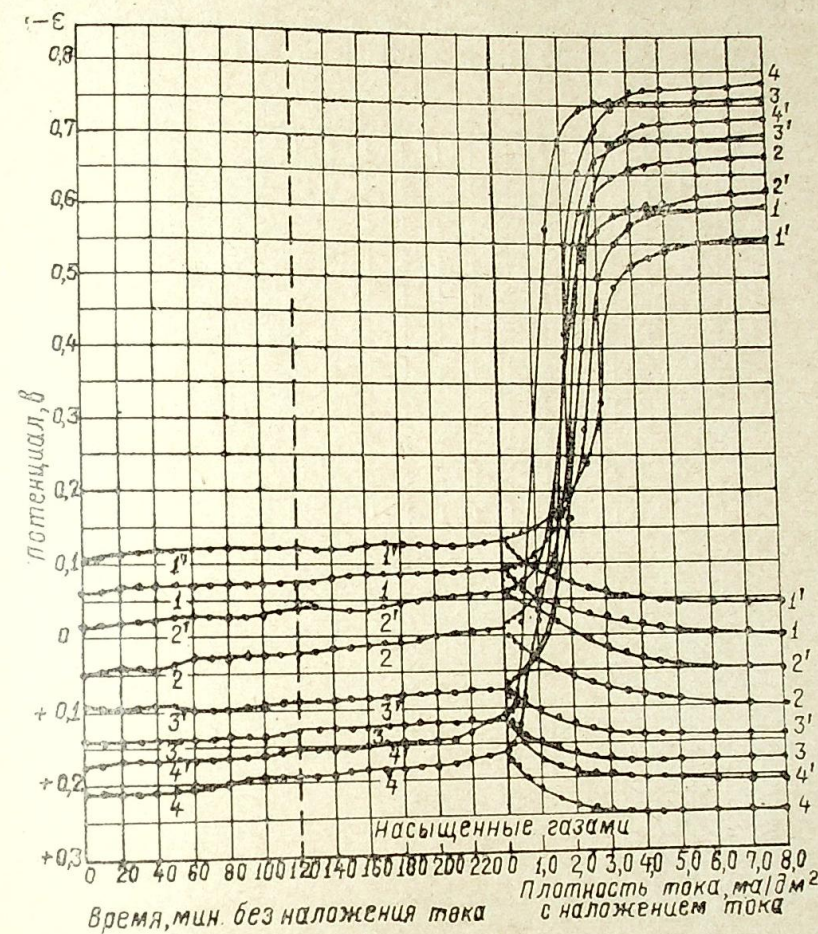


Рис. 4

Кривые анодной и катодной поляризации сталей 3Х18 в пластовых водах при насыщении газами без доступа воздуха.
1, 1'—насыщенная H_2S ; 2, 2'— CO_2 ; 3, 3'— N_2 ; 4, 4'— CH_4 ; 1, 2, 3, 4—жесткая вода; 1', 2', 3', 4'—щелочная вода.

При открытом кране 18 через трубку 17 производили насыщение электролита одним из перечисленных выше газов. Этот газ по трубке 17 поступал в сосуд 3. Скорость движения газа—два пузырька в секунду.

Измерение потенциала производилось через 25—30 мин. после начала насыщения электролита газом.

Кривые анодной и катодной поляризации показаны на рис. 3, 4 и 5. Кривые анодной и катодной поляризации стали 1Х18Н9Т (см. рис. 3) во всех случаях.

Начальный потенциал в щелочной, чем в жесткой пластовой воде. Наиболее отрицателен в присутствии H_2S . При насыщении

H_2S начальных электродный потенциал достигает величины $-0,060$ в в щелочной воде и $-0,010$ в жесткой.

Начальный потенциал той же стали при насыщении CO_2 , N_2 , и CH_4 положительнее, что говорит о разблагораживающем действии электролита, содержащего H_2S .

Примерно такую же картину наблюдаем и для стали 3X13 (рис. 4), лишь с несколько более отрицательным значением электродного потенциала. Начальный потенциал этой стали при насыщении сероводородом в щелочной воде $-0,130$ в, а в жесткой $-0,090$ в.

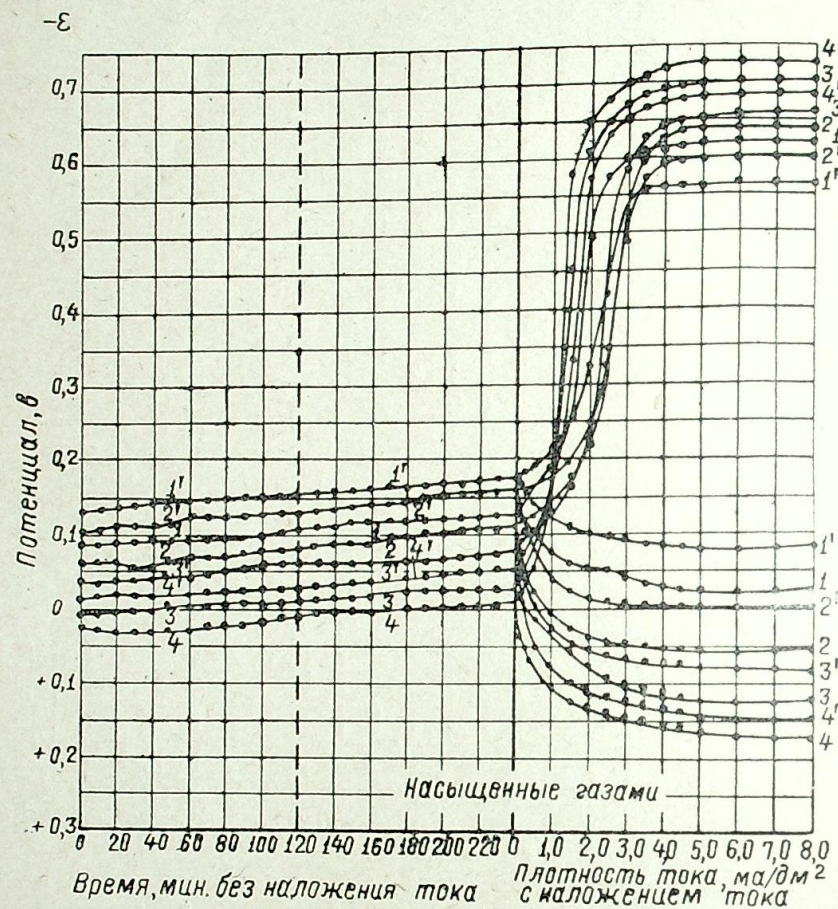


Рис. 5.

Кривые анодной и катодной поляризации стали ШХ15 в пластовых водах при насыщении газами без доступа воздуха.

1, 1' — насыщенная H_2S ; 2, 2' — CO_2 ; 3, 3' — N_2 ; 4, 4' — CH_4 ; 1, 2, 3, 4 — жесткая вода; 1', 2', 3', 4' — щелочная вода.

Кривые катодной поляризации у указанных сталей круто устремлены вверх, но потенциал, отвечающий процессу водородной депольаризации, всегда меньше у пластовых вод, содержащих сероводород.

Кривые анодной поляризации примерно одинаковы для указанных двух сталей. При этом природа газа, насыщающего электролит, не оказывает существенного влияния.

Несколько иная картина наблюдается у стали ШХ15 (рис. 5). Начальный потенциал этой стали независимо от влияния среды во всех случаях отрицателен относительно нормального электрода. Начальный

потенциал при насыщении H_2S в щелочной воде равен $-0,160$ в, а в жесткой $-0,110$ в.

Следует отметить, что у стали ШХ15 электродный потенциал в пластовой воде, насыщенной углекислым газом, более отрицателен, чем при насыщении воды сероводородом.

Кривые катодной поляризации менее круты, чем у описанных выше нержавеющих сталей.

Изучение анодной поляризации стали ШХ15 показало известное значение анодного контроля.

При насыщении пластовой воды азотом и метаном, наблюдается значительная поляризация анода.

В присутствии сероводорода поляризация анода значительно меньше. Этим отчасти следует объяснить усиленную коррозию низколегированных сталей в водах содержащих, сероводород.

Итоги проведенных опытов позволяют сделать следующие выводы.

1. Из исследованных марок нержавеющей сталей наиболее коррозионноустойчивой является сталь 1X18H9T.
2. Во всех случаях для указанных сталей щелочная вода является более коррозионной средой.
3. Сероводород в отличие от газов CO_2 , N_2 и CH_4 в процессе исследования поляризационных кривых показал себя наиболее агрессивным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Г. В. Общая теория электрохимической противокоррозионной ащиты. „ДАН СССР“ т. 74, № 4, 1952.
Розенфельд Н. Л. Замедлители коррозии в нейтральных средах. АН СССР, М., 1953.

М. С. Арутюнов

Лай суларында поладын гидрокен-сулфид коррозиясы механизминин өйрәнилмәси

ХҮЛАСӘ

Бу мәгаләдән мәгсәд мурәккәб вә гейри-мурәккәб мухтәлиф поладларын лай суларында гидрокен-сулфид коррозиясы механизминин өйрәнилмәсидир.

Нефть гуяларынын полад аваданлыгларынын лай суларында коррозиясы электролитдә типик электрохимийәви коррозия просесидир. Электролитә салынмыш металын сәтһи электродлары арасындан электрик чәрәяны чыхан коррозия чүтү системиндән ибарәтдир. Анод ролуну ойнайан металын һиссәләри бу һалда коррозия эдир.

Һавасыз вә һава даһил олмағла лай суларында пасланмаһан 3 полад нөвү (1X18H9T, 3X13 вә ШХ15) үчүн электрод просесләринин өйрәнмәк, һабелә электролитин электрод потенциалына тәсирини мүййән этмәк мәгсәдилә поляризация өйриләри үзрә тәдтигат апарылмышдыр.

Гәләвили вә чод суларында үзәриндә тәдтигат апардығымыз поладларын катод өйриләринин диклийи үзрә коррозия давамлылығынын гиймәтләндирилмәси кәстәрмишдир ки, һава даһил олан шәраитдә һағгында данышылан поладлар үчүн катод поляризациясы чод суда гәләвили судакына һисбәтән чох олур. Чод суя һисбәтән гәләвили су даһа коррозиялы һесап әдилмәлидир.

Нава дахил олмаян шераит үчүн апарылан тэдгигатларын нәтичәләрн кестәрмишдир ки, 1X18H9T полады истәр гәләвили вә истәрсә дә чод лай суларында 3X13 вә 3X15 маркалы поладлара нисбәтән коррозияя даһа чох давамлыдыр.

Нава дахил олмаян вә суларынын H_2S , CO_2 , N_2 вә CH_4 илә дойдурулдуғу шераит үчүн апарылан тэдгигатларын нәтичәләрн кестәрмишдир ки, 1X18H9T маркалы полад бүтүн дойдурулма һалларында коррозияя даһа чох давамлыдыр вә H_2S илә дойдурулмуш гәләвили су даһа чох дағыдычыдыр.

Бүтүн юхарыда дейиләнләрден ашағыдакы нәтичәләрә кәлмәк олар:

1. Үзәриндә тэдгигат апардығымыз пасланмаян поладлардан коррозияя ән чох давамлы оланы 1X18H9T маркалы поладдыр.

2. Гәләвили су даһа чох коррозияя әдәндир.

3. CO_2 , N_2 вә CH_4 газларындан фәргли олараг, гидрокен-сульфид даһа чох дағыдычыдыр.

С. Ч. МЕҢДИЕВ, Ә. Ш. НОВРУЗОВА

АРОМАТИК КАРБОҢИДРОКЕНЛӘРИН НИТРОЛАШМА РЕАКСИЯСЫНЫН ТӘДГИГИ

(2-чи мәлүмат)

БУТИЛБЕНЗОЛЛАРЫН ВӘ УЧЛУ АМИЛБЕНЗОЛУН НИТРОЛАШМА РЕАКСИЯСЫНЫН ТӘДГИГИ

Изопропилбензолун нитролашма реакциясынын тәдгигинә һәср әдилмиш биринчи мәлүматда [1] ароматик карбоһидрокенләрин нитролашдырылмасына аид әсас әдәбийят материаллары кестәрилмишдир.

Һәмин мәгаләдә бензолун моноикилибутил, моноүчлүбутил, моноүчлүамил, диизопропил вә триизопропил төрәмәләринин сульфат туршусунун иштиракилә азот туршусу илә нитролашма реакциясынын өйрәнилмәси үзәриндә апардығымыз тәдгигатын нәтичәләрн верилир.

ТӘҖРҮБИ ҺИССӘ

Башланғыч мәддә кими хәссәләри 1-чи чәдвәлдә верилән карбоһидрокенләрдән истифадә әдилмишдир.

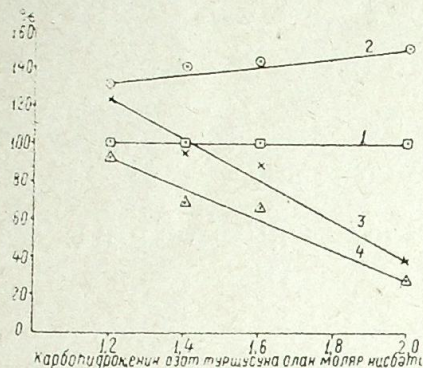
1-чи чәдвәл

Карбоһидрокен	Гайнама температура, $^{\circ}C$ илә	d_4^{20}	n_D^{20}
Моноикилибутилбензол	171—173	0,8622	1,4902
Моноүчлүбутилбензол	170—171	0,8670	1,4929
Моноүчлүамилбензол	189—191	0,8737	1,4920
Диизопропилбензол	203—205	0,8584	1,4811
Триизопропилбензол	235—238	0,8631	1,4907

Кестәрилән карбоһидрокенләр бензолун сульфат туршусу иштиракилә мұвафиг ол фенләрлә алкиләшмә реакциясы нәтижәсиндә, олефенләр исә мұвафиг спиртләрин дегидротәсиясындан глынмышдыр. Нитролашдырычы әкент кими тәркиби 20,5%— HN_3 , 6,3% H_2SO_4 вә 16% H_2O слән сульфат-азот гарышындан истифадә слунмуш. Юхарыда кестәрилән карбоһидрокенләрин һәмин нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясы үзәриндә айрыча даяначағыт.

1. Монокилибутилбензолун нитролашмасы

Монокилибутилбензолун сульфат-азот нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясы изопропилбензолун һәм ин гарышыгла нитролашма реакциясы шәраитиндә апарылмышдыр [1]. Нитролашма реакциясынын шәраити вә балансы 2-чи чәдвәлдә, әйриләрдә исә 1-чи шәкилдә верилир.



1—башлангыч маддәнин чеврилмә фаизи;
2—чеврилмиш маддәйә көрә хам нитробирләшмәнин чыхым фаизи; 3—чеврилмиш маддәйә көрә мононитротерәмәнин чыхым фаизи;
4—чеврилмиш маддәйә көрә мононитротерәмәнин нәзәри оларак чыхым фаизи

кенин азот туршусуна одан 1:2 моляр нисбәтиндә хам нитробирләшмәнин чыхымы (чеврилмиш маддәйә көрә) 149,25%-дирсә, 1:1,2 моляр нисбәтиндә 131,68%-ә гәдәр энир.

2-чи чәдвәл

Тәчрүбәлә- рин №-си	Реаксиянын температү- расы, С°-лә		Реаксия көтүрүл- мүш, г-ла		Карбогидроксин азот туршусуна олан моляр нисбәти	Башлангыч маддәнин чеврилмә фаизи	Реаксиядан алынмыш				
	тәчрүбәниң әввәлиндә	тәчрүбәниң сонунда	монокили- бутилбензол	нитролашды- рычы гарышыг			хам нитро- бирләшмә		мононитротөрәмә		
							г-ла	чеврилмиш маддәйә көрә %-лә	г-ла	чеврилмиш маддә- йә көрә %-лә	назәри оларак чеврилмиш маддә- йә көрә %-лә
77	15—20	30—40	16,75	78,5	1:2	100	25,0	149,25	6,43	38,38	27,92
51	"	"	16,75	62,4	1:1,6	100	24,0	143,28	14,68	87,64	65,62
78	"	"	16,75	62,4	1:1,6	100	24,0	143,28	15,08	90,02	67,41
79	"	"	16,75	54,6	1:1,4	100	23,5	140,23	16,0	95,52	69,47
80	"	"	16,75	46,6	1:1,2	95,28	21,21	132,89	20,16	126,31	94,69
91	"	"	134,0	368,6	1:1,2	99,36	174,14	131,24	162,4	121,98	91,31
89	"	"	134,0	368,6	1:1,2	99,76	173,88	130,91	161,0	120,52	90,16

Карбогидрокенин азот туршусуна одан моляр нисбәтинин дәйишилмәси айдын дәрәчәдә мононитротерәмәнин чыхымына тәсир эдир. Әкәр карбогидрокенин азот туршусуна одан 1:2 моляр нисбәтиндә мононитротерәмәнин чыхымы 38,38%-дирсә, 1:1,2 моляр нисбәтиндә исә 122,93%-ә гәдәр галхыр. Беләликлә, реакция компонентләринин моляр нисбәтинин дәйишилмәси нитролашма реакциясынын дәриплийинә тәсир эдир.

Хам нитробирләшмәнин фраксиялара айрымасынын нәтичәләри вә онларын физики сабитләри 3-чү чәдвәлдә верилир. 3-чү чәдвәлдәки

3-чү чәдвәл

Тәҗрибәләр №-се	Реаксия дахил олуш мәддә			Гайнама башлангычы			Гайнама башлан- гычы — 135°/12 мм			135—145°/12 мм			145—155°/12 мм			155—165°/12 мм			Гайнама соңу 12 мм-дә	Галыгы чыхымы, %-дә	Итки, %-дә
	Чыхым, %-дә	d_4^{20}	n_D^{20}	12 мм галыг тәңгидә	Чыхым, %-дә	d_4^{20}	n_D^{20}	Чыхым, %-дә			Чыхым, %-дә			Чыхым, %-дә							
								d_4^{20}	n_D^{20}	Чыхым, %-дә	d_4^{20}	n_D^{20}	Чыхым, %-дә	d_4^{20}	n_D^{20}	Чыхым, %-дә					
77	—	—	—	—	125,5	7,58	1,0645	1,5380	18,18	1,0652	1,5,90	5,55	1,0959	1,5448	67,17	1,2180	1,5553	166	1,01	0,50	
51	—	—	—	—	124,5	24,12	1,0652	1,5386	27,65	1,0655	1,5392	9,41	1,1012	1,5460	32,94	1,2185	1,5560	165	5,29	0,59	
78	—	—	—	—	125,0	26,24	1,0647	1,5381	29,21	1,0659	1,539	8,91	1,0970	1,5455	30,70	1,2182	1,5556	166,5	2,47	2,47	
79	—	—	—	—	127,0	25,13	1,0655	1,5388	30,89	1,0665	1,5398	11,52	1,0824	1,5415	27,75	1,2197	1,5574	164,5	3,66	1,05	
80	3,2	0,8740	1,4923	—	123,5	40,66	1,0650	1,5386	53,85	1,0655	1,5393	—	—	—	—	—	—	144,5	4,40	1,09	
91	0,48	—	1,4922	—	124,0	39,89	1,0661	1,5392	52,76	1,0670	1,5397	—	—	—	—	—	—	144	6,19	1,16	

рэгэмләр көстәрир ки, хам нитробирләшмәнин әсас һиссәси гайнама башлангычы $135^{\circ}/12$ мм вә $135-145^{\circ}/12$ мм-дә ерләшир. Бу фраксияларын физики сабитләри көстәрир ки, онларын моонитротөрәмәләрден, $155^{\circ}-165^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксия динитротөрәмәдән вә $145-155^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксия исә моно вә динитротөрәмәнин гарышыгыдан ибарәтдир.

А арылмыш тәчрүбәләрин нәтичәләринә әсасән моонитротөрәмә алмаг үчүн карбогидрокенин азот туршусуна олан оптимал моляр нисбәти 1:1,2 һесаб олуна биләр.

Монокилибутилбензолун нитролашма реакциясыдан алынган нитробирләшмәләрин анализи

Хам нитробирләшмәнин говулмасындан алынган фраксиялар айрылыгыда анализ олуңмушдур.

Гайнама башлангычы $135^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксиянын анализи. Нисбәтән кичик интервалда гайнаян фраксия алмаг мәгсәдилә гайнама башлангычы $-135^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксия енидән фраксиялашдырылмышдыр. Фраксиялашманын нәтичәси 4-чү чәдвәлдә верилир. 4-чү чәдвәлдәки рэгәмләр $122-127^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксиянын ортонитрокилибутилбензол олмасыны көстәрир. Һәмнин фраксиянын элементар анализинин нәтичәси ашагыда верилир:

4-чү чәдвәл

Фраксиянын гайнама интервалы	Чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}	Молекула чәкиси
119,5—122	9,17	—	—	—
122—127,5	87,00	1,0649	1,5384	177,5
Галыг	1,83	—	—	—
Итки	2,00	—	—	—
Ортонитрокилибутилбензол үчүн әдәбийятда верилмиш сабитләр				
гайнама температура $123-126^{\circ}/12$ мм		1,0650	—	179 (нәзәри)

Маддә—0,2072 г; CO_2 —0,5090 г; H_2O —0,1330 г.

Тапылмыш—С%—67,10; Н%—7,18.

$C_{10}H_{13}NO_2$ үчүн һесабланмыш С%—67,03; Н%—7,26.

Маддә—0,1202 г—8,5 мл—N ($30^{\circ}, 737$ атм.)

Тапылмыш %—N—7,39

$C_{10}H_{13}NO_2$ үчүн һесабланмыш %—N—7,56.

$122-127^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксия да редуксия әдилмишдир. Редуксия реакциясы нитроизопропилбензолун редуксия реакциясы шәраитиндә апарылмышдыр [1]. Алынмыш амин бирләшмәнин физики вә кимйәви сабитләри 5-чи чәдвәлдә верилмишдир. Алынмыш амин төрәмәнин ($121-123,5^{\circ}/16$ мм) элементар анализинин нәтичәләри ашагыдакылардан ибарәтдир:

5-чи чәдвәл

	Редуксия мәһсулу				Асетилтөрәмәсинин әримә температур, $^{\circ}C$ илә
	гайнама температура $^{\circ}/16$ мм	d_4^{20}	n_D^{20}	молекула чәкиси	
$122-127,5^{\circ}/12$ мм гайнаян фраксиянын редуксия мәһсулу	121—123,5	0,9574	1,5345	148,5	159,5—162
Ортонитрокилибутиланилин үчүн әдәбийятда верилән сабитләр	120—122	0,9570	—	149 (нәзәри)	159,0

Маддә—0,2102 г; CO_2 —0,6196 г; H_2O —0,1885 г.

Тапылмыш С%—80,44; Н%—10,03.

$C_{10}H_{13}NH_2$ үчүн һесабланмыш—С%—80,53; Н%—10,06.

Маддә—0,1244 г—9,2 мл—N ($30,737$ атм.)

Тапылмыш %—N—7,73

$C_{10}H_{13}NH_2$ үчүн һесабланмыш %—N—7,82.

Истәр $122-127,5^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян нитролашма мәһсулунун вә истәрсә дә онун редуксия мәһсулундан алынган $121-123,5^{\circ}/16$ мм фраксиянын физики-кимйәви сабитләри юхарыда гейд олуңан фраксиянын ортонитрокилибутилбензолдан ибарәт олдуғуну көстәрир.

$135-145^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксиянын анализи. Һәмнин фраксиянын тәкрар говулмасындан ашагыдакы нәтичәләр алынмышдыр (6-чы чәдвәлә бах).

6-чы чәдвәл

Фраксияларын гайнама интервалы	Чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}	Молекула чәкиси
133—141	12,12	—	—	—
141—145	83,7	1,0653	1,5357	178,0
Галыг	2,25	—	—	—
Итки	1,93	—	—	—
Паранитрокилибутилбензол үчүн әдәбийятда верилән сабитләр: гайнама температура $142-144^{\circ}/12$ мм	—	1,065	1,5387 ^{12°}	179 (нәзәри)

$141-145^{\circ}/12$ мм-дә гайнаян фраксия үчүн алынмыш физики сабитләрин әдәбийятда верилән сабитләрә уйғун кәлмәси, бу фраксиянын паранитрокилибутилбензол олмасыны көстәрир. Һәмнин фраксияда паранитро группунун пара вәзийәтдә олмасыны бир даһа сүбүт этмәк мәгнито группунун пара вәзийәтдә олмасыны реакциясындан истифадә сәдилә элементар анализдән вә редуксия реакциясындан истифадә олуңмушдур. Элементар анализин нәтичәләри ашагыда верилир:

Маддә—0,2067 г; CO_2 —0,5082 г; H_2O —0,1324 г;

Тапылмыш—С%—67,09; Н%—7,16.

$C_{10}H_{13}NO_2$ үчүн һесабланмыш—С%—67,03; Н%—7,26.

Маддә—0,1244 г—9,2 мл—N ($30,737$ атм.)

Тапылмыш %—N—7,73.

$C_{10}H_{13}NO_2$ үчүн һесабланмыш %—N—7,56.

144—145°/12 мм-дә гайнаян фраксиянын редуксия реакциясындан алынган амин төрөмөнин физики вә кимйәви сабитләри 7-чи чәдвәлдә верилр.

7-чи чәдвәл

Тәҗрүбә- ләр №-си	Редуксия мәһсулу				Оксалат ду- зунун әримә температу- ру С° илә	Асетилен төрөмөнин әримә тем- пературу, С° илә
	Гайнама температуру °/12	d_4^{20}	n_D^{20}	молекула чәкиси		
141— —145°/12 мм гайнаан фраксиянын редуксия мәһсулу	112—115	0,9457	1,5353	147,9	144—145	124—126,5
Параки- либутилани- лин үчүн әдәбийятда верилмиш физики са- битләр	114°/12 мм	0,945	—	149	—	125,8—126

Алынмыш амин төрөмөнин элементар анализиндән ашагыдакы нәтичәләр әлдә әдилмишдир:

Маддә—0,2014 г; CO₂—5946 г; H₂O—0,1823 г,

Тапылмыш С%—80,56 г; Н%—10,12

C₁₀H₁₈NH₂ үчүн һесапланмыш—С%—80,53; Н%—10,06.

Маддә—0,1802 г—12,45 мл—N—(21°,770 атм.).

Тапылмыш %—N—7,93

C₁₀H₁₈NH₂ үчүн һесапланмыш %—N—7,82.

Беләликлә, әлдә әдилән нәтичәләр 141—145°/12 мм-дә гайнаян фраксиянын паранитроикилибутилбензолдан ибарәт олмасыны көстәрир.

2. Моноүчлүбутилбензолун нитролашмасы

Моноүчлүбутилбензолун сульфат-азот нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясы моноикилибутилбензолун һәмнин нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясы шәраитиндә апарылмышдыр. Тәҗрүбәләрин шәраити вә үмуми балансы 8-чи чәдвәлдә верилр. 8-чи чәдвәлдәки рәгәмләрин мүгайисәси көстәрир ки, карбоһидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтинин 1:1,6-дан 1:1,2-ә гәдәр дәйишдирилмәси башлангыч маддәнин чеврилмә фаизини азалдыр. Белә ки, әкәр карбоһидрокенин азот туршусуна олан 1:1,6 моляр нисбәтиндә башлангыч маддәнин чеврилмә фаизи 100-дирсә, 1:1,2 моляр нисбәтиндә 97,16% олур. Карбоһидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтини 1:1,6-дан 1:1,2-ә гәдәр дәйишдирдикдә хам нитробирләшмәнин чыхымы (чеврилмиш маддәйә көрә) мувафиг оларак 143,2%-дән 132,25%-ә гәдәр азалыр.

Карбоһидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтинин дәйишилмәси, мононитротөрөмәнин чыхымына (чеврилмиш маддәйә көрә) айдын сурәтдә тәсир көстәрир. Белә ки, әкәр карбоһидрокенин азот туршусуна олан 1:1,6 моляр нисбәтиндә мононитротөрөмәнин чыхымы (чеврилмиш маддәйә көрә) 88,9%-дирсә, 1:1,2 моляр нисбәтиндә исә 122,1% олур.

8-чи чәдвәл

Тәҗрүбә- ләр №-си	Реаксия көтүрүлмүш, г-ла		Карбоһидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәти	Башлангыч маддәнин чеврилмә фаизи	Реаксиядан алынмыш				
					хам нитробир- ләшмә		мононитротөрөмә		
	моно- үчлүбу- тилбен- зол	нитро- лашды- рычы гары- шыг			г-ла	чеврилмиш маддәйә көрә, %-лә	г-ла	чеврилмиш маддәйә көрә, %-лә	нәзәри оларак чеврилмиш маддәйә көрә, %-лә
52	16,75	62,4	1,1,6	100	24	143,2	14,9	88,95	65,71
54	16,75	62,4	1,1,6	100	24	143,2	14,94	89,19	65,89
83	67,0	184,3	1,1,2	97,16	86,1	132,25	79,5	122,1	91,42

Беләликлә, карбоһидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтинин чохалмасы әсас әтибарилә нитролашма просесинин дәринлийинә тәсир әдир, даһа доғрусу мононитротөрөмәнин азалмасына, динитротөрөмәнин чыхымынын артмасына сәбәб олур. Бу, карбоһидрокенин азот туршусуна олан 1:1,6 моляр нисбәтиндә 88,9% мононитротөрөмә, 1:1,2 моляр нисбәтиндә исә 122,1% алынмасы илә изаһ олунур.

9-чу чәдвәл

Тәҗрүбәләр №-си	Реаксия дахил ол- мамыш моноүчлүбу- тилбензол фраксиясы			Гайнама баш- лангычы °/10 мм	Гайнама башлангы- чы, 123°/10 мм			123—133°/10 мм		
	чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}		чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}	чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}
52	—	—	—	114	21,05	1,0705	1,5359	41,05	1,0746	1,5395
54	—	—	—	114,5	25,14	1,0702	1,5358	37,14	1,0738	1,5387
83	2,17	0,8672	1,4929	112,5	29,13	1,0730	1,5358	59,25	1,0740	1,5388

Тәҗрүбәләр №-си	133—150°/10 мм			150 гайнама сону °/10 мм			Гайнама с. ну °/10 мм	Галыг, %-лә	Итки, %-лә
	чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}	чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}			
52	3,0	1,1090	1,5420	31,21	1,1589	1,5473	157,5	2,63	1,06
54	2,86	1,1137	1,5429	29,72	1,5485	1,5471	159	4,0	1,14
83	—	—	—	—	—	—	133,5	7,68	1,77

Алынмыш хам нитробирләшмәнин фраксиялара айрылмасынын нәтиҗәләри вә онларын физики сабитләри 9-чу чәдвәлдә верилир. 9-чу чәдвәлдәки рәгәмләр айдын көстәрир ки, хам нитробирләшмәнин әсас һиссәси гайнама башлангычы 123°/10 мм вә 123—133°/10 мм фраксияларында ерләшир; һансыларки физики сабитләринә көрә мұвафиг олараг орто вә паранитроүчлүбутилбензоллара уйғун кәлир.

150—гайнама соңу °/12 мм-дә гайнаян фраксия әсас э'тибарилә динитротөрәмәдән ибарәтдир. 133—150°/10 мм-дә гайнаян фраксия йәгин ки, мононитро иләдинитротөрәмәнин гарышығындан ибарәтдир. Апарылмыш тәчрүбәләрин нәтиҗәләринә әсасән гәйд әтмәк олар ки, максимум мигдар мононитротөрәмәалмаг үчүн оптимал моляр нисбәт 1:1,2 һесап олуна биләр. 2-чи вә 8-чи чәдвәлдәки рәгәмләрин мұгайисәси көстәрир ки, әйни шәраитдә ян зәнчирин гурулушу башлангыч маддәнин чеврилмә фаизинә, һәмчинин хам вә мононитротөрәмәнин чыхымына тә'сир әтмир, белә ки, әкәр карбоһидрокенли азот туршу-суна олан 1:1,2 моляр нисбәтиндә монокилибутилбензолун чеврилмә фаизи 98,13, хам нитробирләшмәнин вә мононитротөрәмәнин чыхым-лары (чеврилмиш маддәйә көрә) 131,68% вә 122,93%-дирсә, моноүчлү бутилбензол үчүн бу рәгәмләр мұвафиг олараг 97,16 132,25 вә 122,1% тәшkil әдир.

Моноүчлүбутилбензолун нитролашма реакциясындан алынған нитробирләшмәләрин аналizi

Гайнама башлангычы—123°/10 мм-дә гайнаян фраксиянын аналizi. Һәмин фраксиянын 10 мм галыг тәзийгдә тәкратговулмасындан алынған нәтиҗәләр 10-чу чәдвәлдә верилир. 114—118°/10 мм-дә гайнаян фраксия үчүн алынмыш сабитләрин ортомоно-нитроүчлүбутилбензол үчүн әдәбийятда верилмиш сабитләрә уйғун кәлмәси һәмин фраксиянын ортонитроүчлүбутилбензол олмасыны көстәрир. Бу, элементар аналizin вә редуксия реакциясындан алынған нәтиҗәләрилә дә тәсдиг олунур. 114—118°/10 мм-дә гайнаян фраксиянын элементар аналiz нәтиҗәләри булардан ибарәтдир:

10-чу чәдвәл

Фраксияларын гайнама интервалы	Чыхым, %-лә	α_4^{20}	n_D^{20}	Молекула чәкиси
111,5—114	4,65	—	—	—
114—118	81,75	1,0705	1,5360	178,4
Галыг	10,70	—	—	—
Итки	2,90	—	—	—
Ортонитроүчлүбутилбензол үчүн әдәбийятда верилән физики сабитләр; гайнама температура 114,5°/10 мм	—	1,074 ^{15°}	—	179 (һәзәри)

Маддә—0,1974 г; CO₂—0,4855 г; H₂O—0,1275 г.
Тапылмыш—С%—67,8; Н%—7,22.

C₁₀H₁₃NO₂ үчүн һесапланмыш—С%—67,03; Н%—7,26.
Маддә—0,1201—8,9 мл—N (30°, 737 атм.).
Тапылмыш %—N—7,75.

C₁₀H₁₃NO₂ үчүн һесапланмыш %—N—7,56.

Нитрогруппун алкил группа көрә вәзийәтини тә'йин әтмәк мәгсәдилә 114—118°/10 мм-дә гайнаян фраксия юхарыда көстәрилмиш гайда үзрә редуксия әдилмишдир. Редуксия реакциясы нәтиҗәсиндә алынмыш мұвафиг аминин физики-кимйәви хассәләри 11-чи чәдвәлдә верилир.

11-чи чәдвәл

	Редуксия мәһсуллари				Оксалат туршусу дузунун әримә температура, С° илә
	гайнама температура, С° илә	α_4^{20}	n_D^{20}	молекула чәкиси	
114—118°/10 мм гайнаян фраксиянын редуксия мәһдулу	232—235	0,9758	1,5369	148,2	173—173,5
Ортоүчлүбутил анилин үчүн әдәбийятда верилмиш сабитләр	233—235	0,977 ^{15°}	—	149 (һәзәри)	—

Редуксия мәһсулу олан 232—235° С-дә гайнаян фраксиянын элементар аналizиндән алынған нәтиҗәләр ашағыдакылардан ибарәтдир:

Маддә—0,1944 г; CO₂—0,5735 г; H₂O—0,1734 г.

Тапылмыш—С%—80; Н%—9,98.

C₁₀H₁₃NH₂ үчүн һесапланмыш—С%—80,53; Н%—10,06.

Маддә—0,1542—11,8 мл—N—(30°, 738 атм.).

Тапылмыш %—N—8,01.

C₁₀H₁₃NH₂ үчүн һесапланмыш %—N—7,82.

Әлдә әдилән бүтүн нәтиҗәләр нитролашма мәһсулунун 114—118°/10 мм-дә гайнаян фраксиянын ортонитроүчлүбутилбензола тәфавүг әтди-йини көстәрир.

123—133°/10 мм-дә гайнаян фраксиянын аналizi. Тәдгиг олунған фраксиянын һәмин галыг тәзийгдә тәкрат фраксиялашмасындан алынған нәтиҗәләр 12-чи чәдвәлдә верилир.

123—128,5°/10 мм-дә гайнаян фраксиянын элементар аналizиндән алынған нәтиҗәләр ашағыда верилир.

Маддә—0,1908 г; CO₂—0,4685 г; H₂O—0,1235 г.

Тапылмыш—С%—67,00; Н%—7,24.

C₁₀H₁₃NO₂ үчүн һесапланмыш—С%—67,03; Н%—7,26.

Маддә—0,1188 г—8,7 мл—N—(30°, 737 атм.).

Тапылмыш %—N—7,66.

C₁₀H₁₃NO₂ үчүн һесапланмыш %—N—7,56.

Юхарыда көстәрилән фраксия редуксия реакциясына дәхи мә'руз әдилмишдир. Редуксия реакциясындан алынған мұвафиг амин төрәмәсинин хассәләри 13-чу чәдвәлдә верилир.

Редуксия мәһсулу олан 238—241° С-дә гайнаян фраксиянын элементар аналizi ашағыда верилир:

Маддә—0,1792 г; CO₂—0,5285 г; H₂O—0,1587 г.

12-чи чәдвәл

Фраксиянын гайнама интервалы	Чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}	Молекула чәкиси
120,5—123	3,57	—	—	—
123—128,5	82,33	1,0742	1,5389	178,0
Галыг	12,12	—	—	—
Итки	1,98	—	—	—
Паранитроүчлүбутилбензол үчүн әдәбийятда верилмиш сабитләр: гайнама температура 125—130°/10 мм	—	—	—	179 (нәзәри)

13-чү чәдвәл

	Редуксия мәһсулу				Әримә температура С° илә			
	гайнама температура	d_4^{20}	n_D^{20}	молекула чәкиси	оксалат туршусунун дузу	сульфат туршусунун дузу	НСІ туршусунун дузу	Осетил төрәмәси
123—128,5°/10 мм гайнама фраксиянын редуксия мәһсулу	238—241	0,9521	1,5362	149,3	187—188	213—215	243 э гәдәр әримәди	170,5—172
Паранитроүчлүбутилбензол үчүн әдәбийятда верилән сабитләр	238—240°/766 мм	—	—	149,0 (нәзәри)	—	215	—	170—172

Тапылмыш—С%—80,42; Н%—9,91.

C₁₀H₁₃NH₂ үчүн һесаблинмыш—С%—80,53; Н%—10,06.

Маддә—0,1091 г—8,7 мл—N—(30°, 740 атм.)

Тапылмыш %—N—8,12.

C₁₀H₁₄NH₂ үчүн һесаблинмыш %—N—7,82.

Юхарыда көстәрилән физики-кимйәви анализләр нитролашма мәһсулунун 123—128,5°/10 мм-дә гайнама фраксиянын паранитроүчлүбутилбензолдан ибарәт олмасыны көстәрир.

3. Учлүамилбензолун нитролашма реакциясы

Ароматик карбоһидрокенләрдә ян зәнчирин узунлуғунун нитролашма реакциясына тәсирини өйрәнмәк мәгсәдилә моноүчлүамилбензолун сульфат-азот нитролашдырычы Һарышыгла нитролашма реакциясы өйрәнилмишдир.

Нитролашма реакциясы бутилбензоллар үчүн әлдә әдилмиш оптимал шәраитдә апарылмышдыр. Тәчрүбәнин шәраити вә үмуми балансы 14-чү чәдвәлдә верилир.

14-чү чәдвәлдәки рәгәмләр көстәрир ки, карбоһидрокенин азот туршусуна олан 1:1,2 моляр нисбәтиндә моноүчлүамилбензолун чеврилмә фаизи 97,17, хам нитробирләшмәнин вә мононитротөрәмәнин (чеврилмиш маддәйә керә) чыхымлары мувафиг олараг 129,20% вә 121 2% олур.

14-чү чәдвәл

Тәҗүбәләрин №.си	Реаксияя көтүрүлмүш		Карбоһидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәти	Башлангыч маддәнин чеврилмә фаизи	Реаксиядан алынмыш				
	моно- үчлү- амил- бензол	нитро- лашды- рычы гарышыг			хам нитро- бирләшмә		мононитротөрәмә		
					г-ла	чеврил- миш маддәйә көрә, %-лә	г-ла	чеврил- миш маддәйә көрә, %-лә	һәзәри олараг чеврил- миш маддәйә көрә, %-лә
92	74	203,55	1,1,2	97,17	92,91	129,20	87,16	121,20	92,95

Хам нитробирләшмәнин фраксиялара айрылмасы вә онларын физики сабитләри 15-чи чәдвәлдә верилир. 15-чи чәдвәлдәки рәгәмләр көстәрир ки, хам нитробирләшмәнин әсәс һиссәси гайнама башланғычы—135°/6 мм вә 138—143°/6 мм-дә гайнама фраксияларда ерләшир.

15-чи чәдвәл

Тәчрүбәләрин №-си	Реаксияя дахил олмамаш моноүчлүамилбензол фраксиясы			Гайнама башланғычы 135°/6 мм	Гайнама башланғычы, 133°/6 мм		
	чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}		чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}
92	2,20	0,8732	1,4918	128,5	26,29	1,0527	1,5306

Тәчрүбәләрин №-си	135—139°/6 мм			139—143°/6 мм			Гайнама со-ну %/6 мм	Галыг, %-лә	Итки, %-лә
	чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}	чыхым, %-лә	d_4^{20}	n_D^{20}			
92	2,66	1,0574	1,5326	62,81	1,0610	1,5358	2,6	5,59	143

Моноүчлүамилбензолун нитролашма реакциясыдан алынған нитробирләшмәнин анализи

Гайнама башланғычы—135°/6 мм-дә гайнама фраксиянын анализи. Бу мәгсәдлә көстәрилән фраксия һәмин галыг тәзгидә тәкратәр дестиллә әдилмишдир. Дестилләнин нәтичәси 16-чы чәдвәлдә верилир. 130—132°/6 мм-дә гайнама фраксиянын элементар анализинин нәтичәләри ашағыда верилир:

16-чы чөдвөл

Фраксияларын гайнама интервалы	Чыхым, %-лэ	d_4^{20}	n_D^{20}	Молекула чәкиси
127—130	3,54	—	—	—
130—132	88,81	1,0525	1,5303	192,3
Галыг	5,10	—	—	—
Итки	2,55	—	—	—
Ортонитроүчлүамилбензол үчүн әдәбийятда верилмиш сабитләр	—	—	—	193 (нәзәри)

Маддә—0,1639 г; CO₂—0,3736 г; H₂O—0,1136 г

Тапылмыш—С%—62,20; Н%—7,75

C₁₁H₁₅NO₂ үчүн һесаблинмыш—С%—62,17; Н%—7,77.

Маддә—0,1588 г; 10,6 мл—N—(30°, 742 атм.).

Тапылмыш %—N—7,01

C₁₁H₁₃NO₂ үчүн һесаблинмыш %—N—7,25.

Алынмыш нәтичәләр 130—132°/5 мм-дә гайнаян фраксиянын мононитроүчлүамилбензолдан ибарәт олмасыны көстәрир.

130—145°/6 мм-дә гайнаян фраксиянын анализи. Нәмин фраксиянын тәқрар говулмасы нәтичәсиндә айдын олду ки, бунун әсас һиссәси 139,5—141°/6 мм-дә гайнайыр вә d_4^{20} —1,0608; n_D^{20} —1,5357 молекула чәкиси 191,8-ә бәрәбәрди.

139,5—141°/6 мм-дә гайнаян фраксиянын элементар анализиндән ашағыдакы нәтичәләр алынмышдыр:

Маддә—0,1554 г; CO₂—0,3538; H₂O—1095 г

Тапылмыш—С%—62,13; Н%—7,81

C₁₁H₁₄NO₂ үчүн һесаблинмыш—С%—62,17; Н%—7,77.

Маддә—0,1396 г; 10,3 мл—N (30°, 740 атм.)

Тапылмыш %—N—7,46

C₁₁H₁₅NO₂ үчүн һесаблинмыш %—N—7,25.

Элементар анализин нәтичәләри 139,5—141°/6 мм-дә гайнаян фраксиянын мононитроүчлүамилбензола тәвафүг әтдийини көстәрир. Нитро группун бензол һалгасында үчлүамил группуна көрә вәзийәтини тә'йин әтмәк үчүн 139,5—141°/6 мм-дә гайнаян фраксия юхарыда гейд олу-нан шәрайтдә редуксия әдилмишди.

Алынмыш мұвафиг амин төрәмәсинин хассәләри 7-чи чөдвөлдә гәрир.

133/5—136°/12 мм-дә гайнаян амин фраксиясынын элементар анализинин нәтичәләри ашағыдакылардыр:

Маддә—0,2087 г; CO₂—0,6294; H₂O—0,1925 г

Тапылмыш—С%—80,99; Н%—10,32

C₁₁H₁₄NH₂ үчүн һесаблинмыш—С%—80,98; Н%—10,32.

Маддә—0,1233 г—10,5 мл—N (30°, 740 атм.)

C₁₁H₁₅NH₂ үчүн һесаблинмыш %—N—8,69.

Алынған рәгәмләр нитролашма мәнсулунун 139,5—141°/6 мм-дә гайнаян фраксиясынын паранитроүчлүамилбензол олмасыны көстәрир.

17-чи чөдвөл

	Редуксия мәнсулу			Молекула чәкиси	Әримә температура, °С илә	
	гайнама температура °/12 мм	d_4^{20}	n_D^{20}		асетил төрәмәси	HCl туршусунун дузу
139,5—141°/6 мм гайнаян фраксиянын редуксия мәнсулу	133,5—136	0,9481	1,5379	162,3	137	225-ә гәдәр әримир
Параүчлүамиланилин үчүн әдәбийятда верилән сабитләр	135—137	—	—	163 (нәзәри)	134	—

Мә'лумдур ки, ароматик карбоһидрокенләрин мононитротөрәмәләриндә пара-изомер орто-изомерә нисбәтән йүксәк физик сабитләрә (гайнама температура, хусуси чәкийә вә шуа сындырма әмсалына) малик олурлар. Белә бир ганун изопропил-вә бутилбензолларын нитролашма реакциясында мұшәһидә олунмушдур.

Бүтүн бу дейиләнләрә әсасланараг вә 139,5—141°/6 мм-дә гайнаян фраксиянын параизомер олдуғуну гә'бул әтсәк, онда 130—132°/6 мм-дә гайнаян фраксияда ерләшән нитротөрәмәдә нитро группун орта вәзийәтдә олмасыны гәбул әтмәк ләзымдыр; һансынын ки, хассәләри әдәбийятда мә'лум дейилди.

Бензол һ моноалкилтөрәмәләриндә ян зәнчирин узунлуғунун нитролашма реакциясына тә'сирини өйрәтмәк мәгәдилә апарылмыш тәчрүбәләрин нәтичәләри 18-чи чөдвөлдә верилир.

18-чи чөдвөл

Тәчрүбәләрин №-си	Карбоһидрокенләрин адлары	Башланғыч маддәнин чеврилмә фаизи	Хам нитробирләшмәнин чеврилмиш маддәйә көрә чыхымы, %-лэ	Мононитротөрәмәнин чыхымы	
				чеврилмиш маддәйә көрә, %-лэ	нәзәри оларәк чеврилмиш маддәйә көрә, %-лэ
58—63	Моноизопропилбензол	100	140	108,5	79,0
80, 91, 89	Монокилибутилбензол	98,1	131,7	122,9	92,7
83	Моноүчлүбутилбензол	97,2	132,3	122,1	91,4
92	Моноүчлүамилбензол	97,2	129,2	121,2	92,95

18-чи чөдвөлдәки рәгәмләр көстәрир ки, бензолун моноалкилтөрәмәләриндә ян зәнчирдәки карбон атомларынын сайынын C₃—C₄ арасында дәйишмәси башланғыч маддәнин чеврилмә фаизинә аз, хам нитробирләшмәнин вә мононитротөрәмәнин чыхымларына исә айдын сурәтдә тә'сир әдир.

Бензолун алкилтерәмәләриндә ян зәнчирин сайынын нитролашма реакциясына тә'сирини өйрәнмәк мәгсәдилә ди-вә триизопропилбензолун шора-сулфат (амониум-нитратла сулфат туршусу) нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясы апарылмышдыр.

Һәмин карбоһидрокенләрин нитролашма реакциясы моноизопропилбензол үчүн гейд олунмуш оптимал шәраитдә апарылмышдыр. [1] гейд олунмуш карбоһидрокенләрин нитролашма реакциясындан алынган нәтичәләрин моноизопропилбензол үчүн алынмыш нәтичәләрдә мугайисәси 19-чу чәдвәлдә верилір.

19-чу чәдвәл

Карбоһидрокенләрин адлары	Башлангыч маддәнин чеврилмә фаизи	Хам нитробирләшмәнин чеврилмиш маддәйә көрә чыхымы, %-лә
Моноизопропилбензол	100	137,2
Диизопропилбензол	88,0	128,4
Триизопропилбензол	83,4	121,4

19-чу чәдвәлдәки рәгәмләр ароматик карбоһидрокенләрдә бензол һәлгәсиндә алкил групу сайыны артмасынын онларын реакцияда чеврилмә габилийәтләринә вә бу заман алынган хам нитробирләшмәнин чеврилмиш маддәйә көрә чыхымына мәнфи тә'сир багышладыныны көстәрир.

Беләликлә, әлдә әдилән нәтичәләрә әсасланараг гейд әтмәк олар ки, ароматик карбоһидрокенләрдә истәр ян зәнчирин узунлугу вә истәрсә дә алкил группларынын сайынын чоһалмасы нитрогрупун нүвәйә дәхил олма просесини мүййән гәдәр чәтинләшдирир.

Нәтичә

1. Икилибутил-, үчлүбутилә-вә үчлүамилбензолларын сулфат-азот нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясы өйрәнилмишдир.

2. Юхарыда бензолун гейд олунмуш моноалкилтерәмәләринин нитролашма реакциясына реакция компонентләринин моляр нисбәтинин тә'сирини өйрәнилмиш вә мүййәнләшдирилмишдир ки, карбоһидрокенин азот туршусуна олан 1:2 вә 1:1,2 вә моляр нисбәтләринин дәйишдирилмәси, демәк слар ки, башлангыч маддәнин чеврилмә фаизинә тә'сир көстәрмир, лакин хам нитробирләшмәнин вә мононитротерәмәнин чыхымларыны (чеврилмиш маддәйә көрә) дәйишдирир.

3. Мүййән әдилмишдир ки, өйрәнилмиш шәраитдә тәдгиг олунмуш карбоһидрокенләрин нитролашма мәнсуллары әсас әтибарилә орто-вә парамонитротерәмәләрдән ибарәтдир.

4. Бензолун моноалкилтерәмәләринин ян зәнчиринин карбон атомлары сайынын C_3-C_5 арасында дәйишмәси карбоһидрокендәки һидрокен атомунун нитрогруп илә әвәз олунмасыны чәтинләшдирир.

5. Ароматик карбоһидрокенләрдә алкил группларынын сайынын чоһалмасы нитролашма реакциясынын сүр'әтини азалдыр.

Әдәбийят

1. С. Ч. Меһдиев, А. Ш. Новрузова. Ароматик карбоһидрокенләрин нитролашма реакциясынын тәдгиги. "Азәрбайҗан ССР ЭА Хәбәрләри" (физика-техника вә кимия әлмләри сериясы), № 3, сәһ 85, 1958.

С. Д. Мехтиев, А. Ш. Новрузова

Исследование реакции нитрования ароматических углеводородов

Сообщение 2

Исследование реакции нитрования бутилбензолов и третичноамилбензола

РЕЗЮМЕ

В развитии предыдущей нашей работе нами был исследован процесс нитрования вторично- и третично-бутил-, а также третичноамилбензолов азотно-серной нитрующей смесью определенного состава.

Проведенные эксперименты позволили нам установить оптимальные условия процесса и природу образующихся продуктов реакции для каждого углеводорода в отдельности.

Обобщение результатов проведенных экспериментов как по изучению влияния различных факторов на течение реакции, так и по исследованию природы полученных при этом продуктов позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Исследованы реакции нитрования вторичнобутил-, третичнобутил- и третичноаминобензолов серно-азотной нитрующей смесью.

2. Изучено влияние молярного соотношения компонентов реакции на процесс нитрования указанных моноалкилзамещенных ароматических углеводородов.

3. Увеличение числа углеродных атомов в боковой цепи моноалкилбензолов в пределах C_3-C_5 приводит к снижению способности углеводорода замещать водородный атом нитрогруппы, особенно до динитросоединения.

Н. А. ДАНИЛОВА

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ОБМЕННОГО КАТИОНА НА КАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МАГНИЙСИЛИКАТНОГО ГЕЛЯ В РЕАКЦИИ КРЕКИНГА

В качестве основного сырья для процесса каталитического крекинга до последнего времени применялись керосиногазойлевые фракции нефтей. Но в последние годы, в связи с увеличением спроса на прямогонные керосино-газойлевые фракции сделалась нерентабельной переработка указанных фракций в процессе каталитического крекинга.

В настоящее время промышленное развитие процесса каталитического крекинга намечается по пути утяжелителя фракционного состава сырья и по пути отбора, помимо автомобильного или авиационного бензина, так же и компонентов дизельного топлива.

Переработка тяжелых дистиллятов, кипящих выше 350°C , в системах каталитического крекинга с применением существующего алюмосиликатного катализатора — недостаточно эффективна вследствие большого образования кокса и низких выходов целевых бензиновых и дизельных фракций. С другой стороны, применяемые в настоящее время для процесса крекинга алюмосиликатные катализаторы при крекинге тяжелых нефтяных фракций дают продукты, содержащие значительное количество ароматических углеводородов, присутствие которых в дизельном топливе снижает качество последних.

Поэтому возникает проблема получения новых видов катализаторов, действие которых должно быть направлено на формирование малоароматизированных дизельных топлив, обладающих высокой калорийностью. Новые требования, предъявляемые к катализаторам, должны исходить также из способности их давать высокие выходы целевых (бензиновых и дизельных) фракций и низкие — кокса.

С указанных точек зрения представляют интерес исследования в области магнийсиликатных катализаторов.

Работой, проведенной нами [7] по исследованию зависимости свойств магнийсиликатных катализаторов от состава и изменения структуры, установлена возможность создания структур этих катализаторов, обладающих повышенной активностью и стабильностью в реакции крекинга тяжелых нефтяных фракций. Были разработаны и условия получения магнийсиликатного катализатора с избирательной активностью в отношении выхода фракции дизельного топлива.

Исследованиями последнего времени [16, 14, 11, 12, 3] установлено, что каталитическая способность катализаторов вообще и катализаторов

Н. А. ДАНИЛОВА

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ОБМЕННОГО КАТИОНА НА КАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МАГНИЙСИЛИКАТНОГО ГЕЛЯ В РЕАКЦИИ КРЕКИНГА

В качестве основного сырья для процесса каталитического крекинга до последнего времени применялись керосиногазойлевые фракции нефтей. Но в последние годы, в связи с увеличением спроса на прямогонные керосино-газойлевые фракции сделалась нерентабельной переработка указанных фракций в процессе каталитического крекинга.

В настоящее время промышленное развитие процесса каталитического крекинга намечается по пути утяжелителя фракционного состава сырья и по пути отбора, помимо автомобильного или авиационного бензина, так же и компонентов дизельного топлива.

Переработка тяжелых дистиллятов, кипящих выше 350°C , в системах каталитического крекинга с применением существующего алюмосиликатного катализатора — недостаточно эффективна вследствие большого образования кокса и низких выходов целевых бензиновых и дизельных фракций. С другой стороны, применяемые в настоящее время для процесса крекинга алюмосиликатные катализаторы при крекинге тяжелых нефтяных фракций дают продукты, содержащие значительное количество ароматических углеводородов, присутствие которых в дизельном топливе снижает качество последних.

Поэтому возникает проблема получения новых видов катализаторов, действие которых должно быть направлено на формирование малоароматизированных дизельных топлив, обладающих высокой калорийностью. Новые требования, предъявляемые к катализаторам, должны исходить также из способности их давать высокие выходы целевых (бензиновых и дизельных) фракций и низкие — кокса.

С указанных точек зрения представляют интерес исследования в области магнийсиликатных катализаторов.

Работой, проведенной нами [7] по исследованию зависимости свойств магнийсиликатных катализаторов от состава и изменения структуры, установлена возможность создания структур этих катализаторов, обладающих повышенной активностью и стабильностью в реакции крекинга тяжелых нефтяных фракций. Были разработаны и условия получения магнийсиликатного катализатора с избирательной активностью в отношении выхода фракции дизельного топлива.

Исследованиями последнего времени [16, 14, 11, 12, 3] установлено, что каталитическая способность катализаторов вообще и катализаторов

крекинга, в частности, определяется в основном химической природой поверхности катализатора, которая, в свою очередь, связана с химической природой компонентов, составляющих катализатор. Поэтому новые данные о химии компонентов катализатора и о том, как последние взаимодействуют друг с другом могут послужить дополнительным материалом для понимания химических свойств поверхности, связанных с активностью катализатора. С этой целью в предпринятом нами исследовании изучалось влияние природы обменного катиона при активации магнийсиликатного геля на химические свойства поверхности катализатора: активность, стабильность и избирательность действия.

Синтез и исследование катализаторов

Магнийсиликатные катализаторы были получены методом совместного осаждения из раствора жидкого стекла и сульфата магния при определенных одинаковых условиях концентрации исходных растворов и pH среды осаждения.

Активация магнийсиликатного геля проводилась в жидкой фазе, после осаждения и отмывки. Активность синтезированных катализаторов исследовалась в реакции крекинга тяжелой фракции, а также газойля по выходу и качеству бензина и фракции дизельного топлива. Паростойкость катализаторов определялась по методике, разработанной ЦИАТИМ [9].

Сырьем для крекинга служила фракция 350—500°C карачухурской нефти и газойль балаханской тяжелой нефти следующих качеств:

Фракция 350°—500°С карачухурской нефти		Газойль балаханской тяжелой нефти	
Удельный вес	0,9139	Удельный вес	0,897
н. к.	320°	н. к.	230°
ароматич. углеводороды	33%	ароматич. углеводороды	33%
непредельные углеводороды	10%	непредельные углеводороды	2%

Исследование активности, стабильности и избирательности действия магнийсиликатных катализаторов в зависимости от природы катионного обмена и характера активации

Как указывалось выше, основной нашей целью было исследовать влияние природы обменивающихся катионов при активации магнийсиликатного геля на химические свойства, связанные с активностью катализатора.

В качестве обменивающихся катионов при активации магнийсиликатного геля изучались катионы: магний, аммоний, алюминий. Катализатор 13 активировался сульфатом магния, катализатор 14—сульфатом аммония, катализатор 15—сульфатом алюминия, катализатор 16—смесью сульфата аммония и сульфата алюминия, катализатор 17—сульфатом магния с последующей активацией сульфатом аммония, катализатор 18—сульфатом алюминия с последующей активацией сульфатом аммония.

Результаты исследования активности, стабильности, а также избирательности действия (в отношении образования ароматических углеводородов) синтезированных катализаторов при крекинге фракции 350—500°C карачухурской нефти и газойля балаханской тяжелой нефти представлены в таблицах 1 и 2. Для сравнительной характеристики в тех же таблицах приведены данные по крекингу указанных фракций на шариковом алюмосиликатном катализаторе.

Таблица 1

Сырье: фракция 350°—500°С карачухурской нефти; $t = 450^\circ\text{C}$; весовая скорость 1

Катализатор	Насыпной вес, г/см ³	Выход продуктов в % вес. на сырье			Выход бензиновой фракц. до 200°С в % вес. на сырье	Качество бензина			Выход фракц. диз. топлива в % вес. на сырье	Качество фракции дизельн. топлива			Фракция бензина и дизельного топлива в % вес. на сырье
		катализат	газ	кокс и потери		н. к.	ароматич. углеводороды, %	непредельные углеводороды, %		н. к.	ароматические углеводороды, %	непредельные углеводороды, %	
Шариковый алюмосиликатный	0,741	77,3	9,0	13,7	36,3	30	28,0	9,5	41,0	350	52,0	4,0	77,3
	0,625	81,5	9,9	8,6	28,8	36	25,0	10,5	39,5	350	51,0	4,0	68,3
	0,466	73,4	14,0	12,5	40,0	31	31,5	7,0	33,2	330	66,0	3,0	73,2
	0,425	75,0	11,8	13,2	40,4	30	30,0	9,0	34,6	300	62,0	4,0	75,0
	0,720	79,0	8,8	12,2	32,0	28	21,0	11,0	38,3	350	54,0	4,0	70,3
	0,400	70,8	15,0	15,0	33,3	32	32,0	9	37,5	330	61,0	4,0	70,8
	0,766	80,5	9,4	12,7	27,0	32	31,0	10	27,2	350	54,0	6,0	54,2
Шариковый алюмосиликатный	1,01	70,3	6,2	23,8	10,6	55	35,0	22,5	24,0	350	37,0	9,5	34,6
	0,700	83,3	5,7	11,0	17,9	42	32,5	18,0	23,0	350	40,5	8,0	60,9
	0,541	78,1	4,4	17,8	14,5	44	36,0	19,0	40,6	350	38,5	8,5	55,1
	0,482	85,2	6,2	8,6	20,2	43	39,0	16,5	50,0	300	37,0	9,0	70,2
	0,840	82,0	4,5	13,5	14,0	38	29,0	18,0	33,0	350	43,0	7,0	47,0
	0,536	85,0	4,7	10,3	13,0	55	39,0	21,0	30,0	350	39,0	8,0	43,0
Шариковый алюмосиликатный	0,893	79,0	3,1	17,9	12,1	30	32,0	16,0	27,7	350	35,0	8,0	39,8

После паровосработки при 750°C 6 часов

Таблица 2

Сырье: газойль балаханской тяжелой нефти; $t = 450^\circ\text{C}$; весовая скорость 0,5

Катализатор	Насыпной вес, г/см ³	Выход продуктов реакции в % вес.			Выход бензиновой фракции до 200°C в % вес.	Качество бензина		
		катализат	газ	кокс и потери		н. к.	ароматические углеводороды	неопределенные углеводороды
13	0,741	84,1	6,3	9,6	45,2	—	31,0	6,0
14	0,625	79,0	9,6	11,4	36,2	34	32,5	7,0
15	0,466	64,2	14,0	21,8	34,1	30	47,5	6,5
16	0,425	61,5	15,0	23,5	36,6	35	48,0	6,0
17	0,720	77,3	9,5	13,2	42,9	32	33,0	5,0
18	0,400	62,5	17,5	20,0	39,5	40	47,0	6,0
Шариковый алюмосиликатный	0,766	76,0	10,3	13,7	36,1	31	37,0	7,0

После паропереработки при 750°C 6 часов

13	1,010	96,0	2,8	1,2	10,0	65	32,5	14,0
14	0,700	98,1	6,0	5,9	22,0	43	31,0	13,0
15	0,541	90,6	5,2	4,2	27,0	35	28,5	19,5
16	0,482	88,8	6,2	6,8	24,2	40	—	11,0
17	0,840	87,0	3,8	9,2	19,0	38	31,0	14,0
18	0,536	86,6	6,4	7,0	17,6	38	—	15,0
Шариковый алюмосиликатный	0,893	85,7	4,4	9,9	25,6	32	33,5	8,5

Как видно, магнийсиликатные катализаторы, в зависимости от рода активатора и характера активации, проявляют различную активность. При крекинге фракции $350-500^\circ\text{C}$ наибольшей активностью по выходу бензина отличались катализаторы активированные сульфатом алюминия (катализатор 15) и смесью сульфата алюминия и сульфата аммония (катализатор 16).

Наибольшую активность по выходу фракции дизельного топлива обнаружили катализаторы, активированные сульфатом магния и сульфатом аммония (катализаторы 13 и 14).

Наибольший выход целевых продуктов (бензин и дизельное топливо) получается на катализаторе 13, активированном сульфатом магния, и на катализаторе 16, активированном смесью сульфатов алюминия и аммония.

Из данных, приведенных в тех же таблицах, видно, что шариковый алюмосиликатный катализатор по активности значительно уступает синтезированным катализаторам. Выход бензина и фракции дизельного топлива на шариковом алюмосиликатном катализаторе составляет 54,2%, тогда как на катализаторах магнийсиликатного типа выход суммы целевых продуктов составляет 70—77%. Исследование активности катализаторов 15, 16 и 18, активированных сульфатом алюминия, а также смесью сульфата алюминия и аммония, показало, что на данных катализаторах происходит практически полное превращение высококипящих фракций (выше 250°C) в бензин и фракцию дизельного топлива. Полученные же фракции бензина и дизельного топлива отличаются большим содержанием ароматических углеводородов.

Наименьшим ароматизирующим свойством отличаются катализаторы, активированные сульфатом магния и сульфатом аммония.

Исследование синтезированных катализаторов после обработки паром обнаружило отличную от свежих образцов закономерность в отношении как выхода целевых продуктов, так и их качества, а именно: катализатор 13, отличающийся наибольшей активностью, оказался наименее стабильным. Высокой стабильной активностью отличались катализаторы 14, 15 и 16. Стабильная активность первых двух по выходу целевых продуктов (бензина и дизельного топлива) составляет 60—55%, а катализатора—16—70%.

Катализатор 16 после обработки паром сохраняет высокую активность и так же как свежий образец, полностью превращает фракцию, кипящую выше 350° , в бензин и дизельное топливо. Характерной особенностью катализатора 16 является то, что он после обработки паром дает значительно больший выход фракции дизельного топлива по сравнению со свежим образцом. Так, если выход фракции дизельного топлива на свежем образце составлял 34,6%, то после обработки паром выход фракции дизельного топлива составил 50%, т. е. на 15% больше.

Стабильная активность данного катализатора по выходу бензина составляет 20% против 40% свежего образца. Следовательно, катализатор 16 при крекинге тяжелой фракции обнаруживает избирательную способность в отношении выхода фракции дизельного топлива.

Установленный факт свидетельствует, что путем обработки катализаторов паром, при определенных условиях (времени и температуры обработки) возможно изменить характер поверхности и создать структуры, обладающие определенными избирательными свойствами. Очевидно в данном случае имеет место перераспределение пор, в результате чего увеличивается степень доступности для молекул тяжелого сырья, приводящая к увеличению выхода фракции дизельного топлива.

Таким образом, создается возможность регулировать активность и избирательность действия путем искусственного старения катализатора. Возможность регулирования активности и избирательности действия катализаторов варьированием условиями старения при обработке парами воды также установлена исследованием Л. Х. Фрейдина, А. А. Баландина, Н. В. Боруновой [17] при изучении катализаторов окиси никеля, нанесенного на окись алюминия и окись магния.

Доказательством того, что обработка изучаемого катализатора паром приводит к созданию менее активных структур, способных проводить лишь легкий крекинг, является и тот факт, что после обработки паром количество ароматических углеводородов во фракции дизельного топлива уменьшается, а как известно [5], образование ароматических углеводородов являющееся многоступенчатым процессом, увеличивается с глубиной крекинга, т. е. с проявлением катализатором большей активности.

Изучение структуры катализаторов крекинга [1, 15, 13, 6, 8] в основном проводилось с целью установления влияния пара и термической обработки на величину удельной поверхности, размеров пор, а также на активность катализаторов. Что касается влияния структуры на избирательность действия катализатора, то этому вопросу посвящено немного исследований. Как показали исследования А. В. Фроста [18], Г. К. Борескова, В. А. Дзиско, М. С. Борисовой [4], Е. К. Манкаш, С. К. Молчановой, В. В. Шекина [10], характер

пористости оказывает большое влияние на избирательность действия катализатора. В результате исследования синтезированных нами катализаторов удалось установить, что после обработки паром водородоперераспределяющие свойства уменьшаются, что видно из увеличения количества непредельных углеводородов во фракциях бензина и дизельного топлива.

Исследование состава фракции бензина и дизельного топлива на содержание ароматических углеводородов показало, что на ароматизирующую способность оказывает влияние не только род активатора, но также изменение структуры катализатора при обработке его паром. После обработки катализатора паром, количество ароматических углеводородов во фракции дизельного топлива уменьшается. Поэтому процесс искусственного старения катализатора возможно использовать, помимо увеличения фракции дизельного топлива, также с целью получения малоароматизированных дизельных топлив.

Если принять во внимание, что применение каталитического крекинга к переработке тяжелых нефтяных дистиллятов считается рациональным в случае максимального получения из них дизельного топлива, а также ряд других существующих факторов, таких, как скорость регенерации, поддержание активности и избирательности действия катализаторов, то следует признать целесообразным применение магнийсиликатного катализатора 16, после обработки его паром, для переработки тяжелого вида сырья.

Если исходить из результатов исследования В. П. Суханова, Э. И. Рабиновича, Р. Н. Юдинсона, А. В. Агафонова [2] по разложению высококипящих фракций нефтей в присутствии малоактивных алюмосиликатных катализаторов, то катализатор 16 может представлять интерес и для непосредственной переработки нефти.

Из данных, приведенных в табл. 2 (исследования активности синтезированных катализаторов при крекинге газойля), видно, что наибольшей начальной активностью по выходу бензина отличаются катализаторы 13, 17 и 18. Выход бензина на указанных катализаторах составляет 40—45%. Катализаторы 15, 16 и 18, как и в случае крекинга тяжелой фракции, отличались большими ароматизирующими свойствами.

Исследование стабильной активности показало, что катализаторы 13, 17 и 18, обнаружившие наибольшую активность по выходу бензина, после обработки паром снижает ее в большей степени, чем катализаторы 14, 15 и 16, активность которых в свежем виде была невысокой. Так, активность катализатора 13 по выходу бензина после парообработки составляет 10% при начальной активности 45%, а катализатора 15—27% при начальной активности 34%. Несмотря на высокую начальную активность катализатора 13, он оказался менее стабильным. Следовательно, не наблюдается прямой зависимости между начальной активностью и активностью после обработки паром.

Выводы

1. Исследовано влияние природы обменного катиона при активации магнийсиликатного геля на активность, стабильность и ароматизирующую способность катализаторов в реакции крекинга тяжелых нефтяных фракций и газойля.

2. Исследование активности синтезированных катализаторов в крекинге фракции 350—500°C карачухурской нефти показало, что наибольшей активностью по выходу бензина отличаются катализаторы,

активированные сульфатом алюминия и смесью сульфатов алюминия и аммония. На данных катализаторах происходит практически полное превращение высококипящих фракций (выше 350°C). Наибольший выход целевых продуктов (бензин и дизельное топливо) в количестве 77% получается на катализаторах, активированных сульфатом магния и сульфатом аммония в смеси с сульфатом алюминия.

3. Исследование стабильной активности синтезированных катализаторов выявило отсутствие прямой связи между начальной активностью и активностью после обработки паром. Наибольшую стабильную активность как при крекинге фракции 350—500°C, так и газойля проявили катализаторы, активированные сульфатом аммония, сульфатом алюминия и сульфатом аммония в смеси с сульфатом алюминия. Стабильная активность катализатора, активированного сульфатом аммония и сульфатом алюминия, по выходу целевых продуктов составляет 60—55%, а катализатора, активированного смесью сульфата аммония и сульфата алюминия,—70%.

4. В результате исследования избирательности свойств синтезированных катализаторов в отношении образования ароматических углеводородов, выяснилось, что наибольшей ароматизирующей способностью отличаются катализаторы, активированные сульфатом алюминия и сульфатом аммония в смеси с сульфатом аммония. Наименьшим ароматизирующим свойством характеризуются катализаторы, активированные сульфатом магния и сульфатом аммония.

5. Установлена возможность регулирования активности и избирательности действия магнийсиликатных катализаторов варьированием условиями старения при обработке паром. Установлена также возможность использования процесса искусственного старения катализатора с целью получения малоароматизированных дизельных топлив.

6. В результате исследования синтезирован магнийсиликатный катализатор с активностью по выходу бензина и дизельного топлива 70% весовых на исходное сырье, из которых фракция дизельного топлива составляет 50% с содержанием в нем ароматических углеводородов до 40%. Синтезированный катализатор может представлять интерес и для непосредственной переработки нефти.

В экспериментальной части работы принимала участие ст. лаборант П. Е. Хныкина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов А. В., Калико С. А. Алюмосиликатные катализаторы (Материалы совещания при ЦИАТИМ, 1948).
2. Агафонов А. В., Суханов В. П., Рабинович Э. И., Юдинсон Р. Н. Технология переработки нефти и сланцев. М., 1956. (Международный нефтяной конгресс).
3. Боресков Г. К. РЖХ. 1956, 11.
4. Боресков Г. К., Дзисько В. А., Борисова М. С. ЖФХ, 1954, XXVIII, 6.
5. Gladrow E. M., Krebs K. N., Rimmerlin C. M. Химия и переработка нефти. Реф. сб., в 104, 1954.
6. Гольдин С. А., Шекин В. В. Труды Института нефти АН СССР т. VIII, 1956.
7. Данилова Н. А. Труды Института химии АН Азерб. ССР, т. XVI, 1957.
8. Зильфугаров З. Г., Топчиева К. В. Изв. АН Азерб. ССР, №7, 1955.
9. Макаров С. К. Алюмосиликатные катализаторы (Материалы совещания при ЦИАТИМ, 1948 г.).
10. Манкаш Е. К., Молчанова С. И., Шекин С. В. Труды Института нефти АН СССР, т. VIII, 1956.
11. Облад А., Миллекен Т. Катализ в органической химии. Под ред. А. М. Рубинштейна. ИЛ, М., 1953.
12. Пигузова Л. И. „Химия и технология топлива“, 1956, 6.

13. Рис Г. Катализаторы органических реакций. Под ред. А. А. Баландина и А. М. Рубинштейна. ИЛ. М., 1955.
14. Thomas, Hickey, Stecer. Ind. Eng. Chemistry, 1950, 42, 866.
15. Толчиева К. В. Уч. зап. МГУ 164. 1953.
16. Толчиева К. В., Панченков Г. М. „Вестник МГУ“, 1946, 2 и 6.
17. Фрейдина Л. Х., Баландин А. А. Борунова Н. В. „Изв. АН СССР“ (ОХН), 1956, 1.
18. Фрост А. В. Отчет лаборатории кинетики и катализа Инст. нефти АН СССР за 1943 г.

Н. А. Данилова

Эвээтмэ катионларын тэбиэтинин крекинг реаксиясында
магнисиликат һаллинин каталитик активлийинэ тэ'сири

ХҮЛАСЭ

Тэдгигат ишиндэн мэгсэд эвээтмэ катионларын тэбиэтинин магнисиликат һаллинин активлэшмэсиндэ катализаторун сэтһинин кимйэви хассэсинэ тэ'сирини өйрөнмөкдир. Һэмин катализаторун активлийи, сабитлийи вэ ароматиклэшмэ габилиийэти газойл вэ ағыр нефт фраксиясы крекингиндэ өйрөнилмишдир.

Магнисиликат һаллинин активлэшдирилмэсинэ эвээтмэ катионлардан, магни, алүминиум вэ амониум тэ'сири өйрөнилмишдир.

$Al_2(SO_4)_3$ -лэ активлэшдирилмиш катализаторун Гара Чухур нефтинин $350-500^\circ C$ фраксиясы крекингиндэн бензинин чыхарына көрө активлийи, $Al_2(SO_4)_3$ вэ $(NH_4)_2SO_4$ гарышыгы илэ активлэшдирилмиш катализаторун активлийиндэн фэрглэнир. Һэмин катализаторлар йүксэк температурда гайнаан ($350^\circ C$ -дэн юхары) фраксияны тамамилэ парчалайыр.

$MgSO_4$; $(NH_4)_2SO_4$ вэ $Al_2(SO_4)_3$ гарышыгы илэ активлэшдирилэн катализаторлар үзэриндэ рэнксиз мөһсулун мигдары (бензин вэ дизел яначагынын) 77%-дир.

Апарылан тэдгигат ишиндэ $(NH_4)_2SO_4$; $Al_2(SO_4)_3$ гэ $Al_2(SO_4)_3$ -лэ $(NH_4)_2SO_4$ гарышыгы илэ активлэшдирилмиш катализаторларын газойл вэ ағыр нефт фраксиясы $350-500^\circ C$ крекингдэ йүксэк сабит активлийи мүййән эдилмишдир. Һэмин катализаторларын үзэриндэ алынан рэнксиз мөһсулун мигдары 60—70%-дир.

Синтез олунмуш катализаторларын ароматик карбоһидрокенлэр эмэлэ кэтирмэ габилиийэти тэдгигаты кестэрмишдир ки, $Al_2(SO_4)_3$ илэ активлэшдирилмиш катализаторун ароматиклэшдирмэ габилиийэти $MgSO_4$ вэ $(NH_4)_2SO_4$ -лэ активлэшдирилмиш катализаторларын ароматиклэшдирмэ габилиийэтиндэн йүксэкдир.

Мүййән эдилмишдир ки, магнисиликат катализаторларынын бухарла ишлэмэ нэтичэсиндэ көһнөлмэ шэртлэринин дэйишмэсилэ онларын активлийини вэ селектив тэ'сирини тэмизлэмэк мүмкүндүр.

Апарылан тэдгигат нэтичэсиндэ мө'лум олмушдур ки, синтез олунмуш магнисиликат катализаторун активлийи, көтүрүлэн хаммалдан алынан бензин вэ элэчэ дэ дизел яначагынын чыхар мигдары 70%-дир.

Һэмин чыхарын 50%-и дизел яначагы вэ онун да 40%-э гэдэри ароматик карбоһидрокенлэрдир.

МҮНДЭРИЧАТ

Г. А. Оручов. Рационал кәспрли интерполясия сырасынын йығылмасы	3
Һаггында	
Г. М. Әлиев, Һ. Б. Абдуллаев. Хлор ашгарларынын селенин электрик	23
хассэсинэ тэ'сири	
М. Ә. Талиби. Вентил фотоэлектрик һэрәкәт гүввэсинэ анд ифадэнин вэ	21
$CdS-Se$ вэ $CdSe-Se$ системлэринэ тэтбигинин тәчрүби йохланылмасы	
С. М. Гулиев. Сәнаеә яхын шәраитдә гуюларын сементләшмәсинин	43
тәтбиги	
Т. Ә. Мәликова. Электрик саһәләриндә әмүлсияларын коалесенсияләшмә	73
просесинин тәдгиги	
Л. М. Мирзәева. Шагули боруда ики фазалы гарышыгы (газ-бәрк	87
мәддә) һәрәкәт әтдийи заман онун сүрүшмә әмсалынын тәчрүби сурәтдә тапыл-	93
масы	
Ю. Ә. Ибадзәдә. Өзү ююлан мәчранын эн кәсийинин формасынын тәйини	109
М. С. Арутюнов. Лай суларында поладын һидрокен-сулфид коррозиясы	
механизминин өйрөнилмәси	117
С. Ч. Мөһдиев, Ә. Ш. Новрузова. Ароматик карбоһидрокенләрин	
нитроләшмә реаксиясынын тәдгиги	133
Н. А. Данилова. Эвээтмэ катионларын тэбиэтинин крекинг реаксиясында	
магнисиликат һаллинин каталитик активлийинэ тэ'сири	

СОДЕРЖАНИЕ

Г. А. Оруджев. О сходимости интерполяционного ряда рациональных дробей	3
Г. М. Алиев, Г. Б. Абдуллаев. Влияние примеси хлора на электрические свойства селена	23
М. А. Талиби. Экспериментальная проверка применимости соотношения для вентильной фотоэкс к системам CdS—Se и CdSe—Se	31
С. М. Кулиев. Исследование цементировки скважин в полупромышленных условиях	43
Т. А. Меликова. Исследование процесса коалесценции в электрических полях	73
Л. М. Мирзоева. Опытное определение величины скольжения в двухфазной среде (газ—твердое вещество) при ее движении в вертикальной трубе	87
Г. А. Ибад-заде. Построение поперечного профиля саморазмывающегося русла	93
М. С. Арутюнов. Изучение механизма сероводородов коррозии стали в пластовых водах	109
С. Д. Мехтиев, А. Ш. Новрузова. Исследование реакции нитрования ароматических углеводородов	117
Н. А. Данилова. Влияние природы обменного катиона на каталитическую активность магнийсиликатного геля в реакции крекинга	133

Чапа имзаланмыш 30/VII 1958-чи ил. Кағыз форматы 70×108^{1/16}. Кағыз вәрәги 4,5.

Чап вәрәги 11,88. Нәс.-нәшрийят вәрәги 12,5. ФГ 12722.

Сифариш 295. Тиражы 650.

Азәрбайчан ССР Мәдәнийәт Назирлинини «Гызыл Шәрг» мәтбәәси.
Бакы, Һәзи Асланов күчәси, № 80.