

АЗƏРБАЙЧАН ССР ƏЛМЛƏР АКАДЕМИЯСЫНЫН

ХƏБƏРЛƏРИ

ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ВƏ КИМЯ ƏЛМЛƏРИ СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ НАУК

3

1958

АЗƏРБАЙЧАН ССР ƏА НƏШРИЙЯТЫ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
БАКЫ – БАКУ

Г. Н. АГАЕВ, К. Г. ГАСАНОВ, К. И. ХУДАВЕРДИЕВ,
С. Я. ЯКУБОВ

О ЕДИНСТВЕННОМ ПРОДОЛЖЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ В ЛИНЕЙНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Пусть E_0 — подпространство вещественного линейного пространства E [3] и $f(x)$ — вещественный линейный функционал (т. е. аддитивный и однородный), определенный на E_0 , а $p(x)$ — полуаддитивный положительно-однородный функционал (т. е. для любых элементов $x, y \in E$ и для любого положительного α : 1) $p(x+y) \leq p(x) + p(y)$; 2) $p(\alpha x) = \alpha p(x)$), определенный во всем пространстве E . Если на E_0 выполняется условие

$$f(x) \leq p(x), \quad (1)$$

то, по известной теореме Хана-Банаха¹ [1] о продолжении линейного функционала, на E существует линейный функционал, который на E_0 совпадает с функционалом $f(x)$ и для всех $x \in E$ удовлетворяет условию (1).

Таким образом, полученное продолжение, вообще говоря, не единственно.

В настоящей же статье исследуются необходимое и достаточное условия единственности такого продолжения.

Исследованию единственности продолжения линейного функционала, определенного в некотором подпространстве E_0 банахова пространства E , насколько нам известно, посвящены работы А. Е. Тейлора [4] и М. Л. Расулова [2].

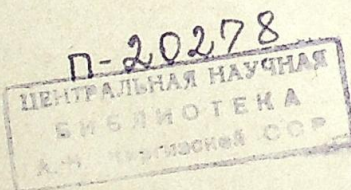
Для существования единственного продолжения линейного функционала из E_0 на E А. Е. Тейлор [4] установил необходимые и достаточные условия, наложенные на сопряженные пространства.

М. Л. Расулов [2], накладывая некоторые условия не на сопряженное, а непосредственно на банахово пространство E , дал необходимые и достаточные условия, при которых продолжение вещественного линейного непрерывного функционала из подпространства E_0 на E единственно.

В частности, им доказаны следующие теоремы:

Теорема 1. *Для единственности линейного продолжения линейного непрерывного функционала из произвольного E_0 на E с сохранением его нормы, необходимо, чтобы норма на всякой*

¹ Указанная теорема в книге М. А. Наймарка [1] (стр. 24) доказана при дополнительном условии: $p(x) \geq 0$.



РЕДАКЦИЯ БЕЙ'ЭТИ: З. И. Халилов (редактор), Б. Б. Абдуллаев,
Э. Б. Алиев, А. Э. Эфендизаде, Б. А. Эфендиев
(редактор муавини), С. Ч. Мехдиев

Чапа имзаланмыш 5/VI 1958-чи ил. Кағыз форматы 70×108¹/₁₆. Кағыз вэрэги 3,5.
Чап вэрэги 9,59. Нес.-нэшрийат вэрэги 9,26. ФГ 12702. Сифариш 235. Тиражы 630.

Азербайжан ССР Мэдэнийэт Назирлийинин „Гызыл Шэрг.“ мэтбэеси,
Бакы, Гэзи Асланов күч., 80.

ненулевой точке $x_0 \in E$ была дифференцируема, т. е. для любого элемента² $x \in E$

$$\lim_{x \rightarrow +0} \frac{\|x_0 + hx\| - \|x_0\|}{h} = \lim_{x \rightarrow -0} \frac{\|x_0 + hx\| - \|x_0\|}{h} = d_{x_0}(x)$$

Теорема 2. Для единственности линейного продолжения линейного непрерывного функционала, достигающего в некоторой точке $x^* \in E_0$ своей нормы, из E_0 на E достаточна дифференцируемость нормы в каждой ненулевой точке $x_0 \in E$.

Приведем две теоремы Мазура [5], которые нами используются в дальнейшем.

Теорема 3. Для любого полуаддитивного положительно-однородного функционала $p(x)$, определенного во всем линейном пространстве E , и любого элемента $x_0 \in E$ существует конечный

правый предел $\bar{V}p(x_0, x) = \lim_{h \rightarrow +0} \frac{p(x_0 + hx) - p(x_0)}{h}$,

причем $\bar{V}p(x_0, x)$ по отношению к x есть полуаддитивный положительно-однородный и $\bar{V}p(x_0, x) \leq p(x)$.

Аналогично, для каждого $x \in E$ существует конечный левый предел

$$\underline{V}p(x_0, x) = \lim_{h \rightarrow -0} \frac{p(x_0 + hx) - p(x_0)}{h},$$

который удовлетворяет неравенству

$$\underline{V}p(x_0, x) \leq \bar{V}p(x_0, x).$$

Теорема 4. Для любого линейного функционала $f(x)$, определенного на линейном пространстве E и удовлетворяющего условию $f(x) \leq p(x)$, где равенство достигается в некоторой точке x_0 и $p(x)$ является полуаддитивным положительно-однородным функционалом, имеем

$$1) \quad \underline{V}p(x_0, x) \leq f(x) \leq \bar{V}p(x_0, x);$$

2) для произвольного элемента $x^* \in E$ и любого α , такого, что $\underline{V}p(x_0, x) \leq \alpha \leq \bar{V}p(x_0, x)$, существует линейный функционал $F(x)$, удовлетворяющий условиям $F(x_0) = p(x_0)$, $F(x^*) = \alpha$, для любых $x \in E$ $F(x) \leq p(x)$, причем, на линейной оболочке элементов $x_0, x^* \in F$ $R = \{tx_0 + sx^* | (-\infty < t, s < +\infty)\}$ представляется формулой

$$F(x) = tp(x_0) + s\alpha.$$

Пусть E_0 — подпространство линейного вещественного пространства E . Имеет место.

Лемма 1. Всякое линейное продолжение линейного функционала $f(x)$, удовлетворяющего условию (1), из E_0 на $\{E_0 + x_0\}$ ³, где $x_0 \in E_0$ и $p(x)$ определен на $\{E_0 + x_0\}$ с сохранением условия (1), имеет лишь следующий вид:

$$F(x) = f(y) + \alpha c_0 \quad (2)$$

² Отметим, что в любом гильбертовом пространстве норма дифференцируема в каждой ненулевой точке x_0 и $d_{x_0}(x) = \frac{\text{Reel}(x_0, x)}{\|x_0\|}$.

³ Здесь $\{E_0 + x_0\}$ — линейная оболочка элементов E_0 и x_0 .

Здесь $y \in E_0$ и $x = y + \alpha x_0$ и

$$\sup_{y \in E_0} \{-p(-y - x_0) - f(y)\} \leq c_0 \leq \inf_{y \in E_0} \{p(y + x_0) - f(y)\} \quad (3)$$

Доказательство. Нетрудно видеть, что любой элемент $x \in \{E_0 + x_0\}$ единственным образом представляется в виде

$$x = y + \alpha x_0, \quad (4)$$

где $y \in E_0$, $-\infty < \alpha < +\infty$, $x_0 \in E_0$.

Пусть $F(x)$ — любое линейное продолжение функционала $f(x)$ из E_0 на $\{E_0 + x_0\}$ с сохранением (1). Тогда, из (4) имеем $F(x) = F(y) + \alpha F(x_0)$. Так как $F(y) = f(y)$, то $F(x) = f(y) + \alpha c_0$, где $F(x_0) = c_0$.

Докажем, что c_0 удовлетворяет условию (3). Так как $F(x) \leq p(x)$, то $\alpha c_0 \leq p(y + \alpha x_0) - f(y)$.

Пусть $\alpha = 1$. Тогда при любом $y \in E_0$ $c_0 \leq p(y + x_0) - f(y)$.

Следовательно,

$$c_0 \leq \inf_{y \in E_0} \{p(y + x_0) - f(y)\}.$$

Теперь положим $\alpha = -1$ и заменим y на $-y$. Тогда получим $-p(-y - x_0) - f(y) \leq c_0$. Следовательно,

$$\sup_{y \in E_0} \{-p(-y - x_0) - f(y)\} \leq c_0.$$

Таким образом лемма доказана.

Лемма 2 (основная). Пусть выполняются условия леммы 1 и пусть в некоторой точке $x^* \in E_0$.

$$f(x^*) = p(x^*),$$

кроме того выполняется условие

$$\underline{V}p(x^*, x_0) = \bar{V}p(x^*, x_0),$$

тогда линейное продолжение $f(x)$ из E_0 на $\{E_0 + x_0\}$ с сохранением условия (1) единственно.

Доказательство. В силу леммы 1, любое линейное продолжение имеет вид

$$F(x) = f(y) + \alpha c_0,$$

где $x = y + \alpha x_0$, $y \in E_0$, $x_0 \in E_0$, $-\infty < \alpha < +\infty$ и c_0 удовлетворяет неравенству (3).

Докажем единственность c_0 .

Для любых двух элементов $y_1, y_2 \in E_0$ имеем:

$$-p(-y_1 - x_0) - f(y_1) \leq c_0 \leq p(y_2 + x_0) - f(y_2).$$

Положим

$$y_1 = -\frac{x^*}{h}, \quad y_2 = \frac{x^*}{h}, \quad \text{где } h > 0.$$

Так как $f(x^*) = p(x^*)$, имеем

$$\frac{p(x^* - hx_0) - p(x^*)}{-h} \leq c_0 \leq \frac{p(x^* + hx_0) - p(x^*)}{h}.$$

Откуда, переходя к пределу при $h \rightarrow 0$, получим

$$\underline{V}p(x^*, x_0) \leq c_0 \leq \bar{V}p(x^*, x_0).$$

Следовательно, в силу условия леммы.

$$c_0 = \underline{V}p(x^*, x_0) = \bar{V}p(x^*, x_0).$$

Таким образом, лемма полностью доказана.

Теорема 5. Пусть $p(x)$ — полуаддитивный положительно-однородный функционал, определенный во всем вещественном линейном пространстве E , а $f(x)$ — линейный функционал, определенный в некотором подпространстве $E_0 \in E$ и удовлетворяет условию (1) для всех $x \in E_0$, где равенства достигаются в некоторой точке $x^* \in E_0$. Тогда

$$\underline{Vp}(x^*, x) = \overline{Vp}(x^*, x) \quad (4)$$

является достаточным условием для единственности продолжения $f(x)$ из E_0 до линейного функционала, определенного на E с сохранением условия (1).

Доказательство. При выполнении условий теоремы, докажем единственность линейного продолжения.

Пусть $F_1(x)$ и $F_2(x)$ суть два такие различные продолжения. Возьмем произвольный элемент x_0 , не принадлежащий E_0 . Очевидно $F_1(x)$ и $F_2(x)$ являются линейным продолжением функционала $f(x)$ из E_0 на $\{E_0 + x_0\}$. В силу леммы 2.

$$F_1(x_0) \equiv F_2(x_0) \text{ на } \{E_0 + x_0\}.$$

Тем более,

$$F_1(x_0) = F_2(x_0).$$

Следовательно $F_1(x) \equiv F_2(x)$ для всех $x \in E$.

Теорема 6. $p(x)$ — полуаддитивный положительно-однородный функционал, определенный во всем вещественном линейном пространстве E . Тогда для единственности продолжения любого линейного функционала, определенного на произвольном подпространстве пространства E и удовлетворяющего условию (1) до линейного функционала, определенного во всем E с сохранением условия (1), необходимо выполнение на произвольной ненулевой точке $x \in E$ равенства

$$\underline{Vp}(x_0, x) = \overline{Vp}(x_0, x).$$

Доказательство. Пусть $x_0 \in E$ — произвольная ненулевая точка. В силу следствия известной теоремы Хана-Банаха [1] существует линейный функционал $f(x)$, определенный во всем пространстве E и удовлетворяющий условию $f(x) \leq p(x)$ для всех $x \in E$ и $f(x_0) = p(x_0)$.

Рассмотрим подпространство $E_0 = \{tx_0\}$. При этих условиях, по теореме Мазура, для любой точки $x^* \in E_0$ и числа α

$$\underline{Vp}(x_0, x) \leq \alpha \leq \overline{Vp}(x_0, x)$$

существует линейный функционал $F(x)$, удовлетворяющий условиям

$$F(x^*) = \alpha,$$

$$F(x_0) = p(x_0),$$

$F(x) \leq p(x)$ для всех $x \in E$ и на $R = \{tx_0 + sx^*\}$, где $-\infty < s_1 t < \infty$, имеет вид

$$F(x) = tp(x_0) + sa,$$

здесь $x = tx_0 + sx^*$.

Легко поверить, что $F(x)$ является линейным продолжением $f(x)$ из E_0 на $\{E_0 + x^*\}$. Так как по условию теоремы такое продолжение единственно, то

$$\alpha = \underline{Vp}(x_0, x) = \overline{Vp}(x_0, x).$$

Таким образом теорема доказана.

Из доказанных наших теорем вытекают вышеуказанные теоремы М. Л. Расулова.

Для этого положим

$$p(x) = \|f\|_{E_0} \|x\|. \quad (5)$$

Легко проверить, что функционал $p(x)$ является симметричным выпуклым [1] функционалом и для всех $x \in E_0$

$$f(x) \leq p(x).$$

Из условий теоремы 2 имеем:

$$f(x^*) = \|f\|_{E_0} \|x^*\| = p(x^*) \text{ в некоторой точке } x^* \in E_0.$$

Итак, для выполнения условий нашей теоремы 5 остается показать справедливость равенства

$$\underline{Vp}(x^*, x) = \overline{Vp}(x^*, x).$$

Имеем

$$\begin{aligned} \underline{Vp}(x^*, x) &= \lim_{h \rightarrow -0} \frac{p(x^* + hx) - p(x^*)}{h} = \lim_{h \rightarrow -0} \frac{\|f\| \cdot \|x^* + hx\| - \|f\| \cdot \|x^*\|}{h} = \\ &= \|f\| \lim_{h \rightarrow -0} \frac{\|x^* + hx\| - \|x^*\|}{h} = \|f\| \lim_{h \rightarrow +0} \frac{\|x^* + hx\| - \|x^*\|}{h} = \\ &= \lim_{h \rightarrow +0} \frac{\|f\| \cdot \|x^* + hx\| - \|f\| \cdot \|x^*\|}{h} = \lim_{h \rightarrow +0} \frac{p(x^* + hx) - p(x^*)}{h} = \overline{Vp}(x^*, x). \end{aligned}$$

Пусть $F(x)$ является произвольным линейным продолжением $f(x)$ из E_0 на E с сохранением нормы, т. е.

$$\|F\|_E = \|f\|_{E_0}.$$

Так как

$$F(x) \leq \|F\|_E \cdot \|x\| = \|f\|_{E_0} \cdot \|x\| = p(x),$$

то, в силу нашей теоремы 5, $F(x)$ единственно.

Теперь покажем, что из нашей теоремы 6 вытекает теорема 1.

Пусть выполняются условия теоремы 1 и пусть x_0 — произвольная ненулевая точка из E .

Введем функционал

$$p(x) = \|x\|$$

и рассмотрим подпространство

$$E_0 = \{tx_0\}.$$

Как известно [1, стр. 24], существует линейный функционал $f(x)$, удовлетворяющий следующим условиям:

$$f(x_0) = p(x_0) = \|x_0\|,$$

$$f(x) \leq p(x) = \|x\| \text{ для всех } x \in E_0.$$

Пусть $F(x)$ — произвольное линейное продолжение $f(x)$ из E_0 на E , удовлетворяющее условию (1).

Покажем, что

$$\|F\|_E = \|f\|_{E_0}.$$

Так как

$$F(x) \leq p(x) = \|x\|,$$

то

$$F(-x) \leq \| -x \| = \|x\|,$$

$$-F(-x) \geq -\|x\| \text{ или } -\|x\| \leq F(x).$$

Следовательно,

$$|F(x)| \leq \|x\|,$$

т. е. $\|F\| \leq 1 = \|f\|$.

С другой стороны,

$$\|F\| \geq \|f\| = 1.$$

Итак, имеем

$$\|F\| = \|f\|.$$

Так как такое продолжение единственно, следовательно, в силу нашей теоремы 6, $\underline{V}p(x_0, x) = \overline{V}p(x_0, x)$ или

$$\lim_{h \rightarrow -0} \frac{\|x_0 + hx\| - \|x_0\|}{h} = \lim_{h \rightarrow +0} \frac{\|x_0 + [hx]\| - \|x_0\|}{h}.$$

Отсюда следует существование $d_{x_0}(x)$ в точке x_0 .

Вышеуказанные результаты можно распространить на случай, когда пространство E и заданный функционал, определенный на некотором его подпространстве, комплексно линейные.

Имеет место

Теорема 7. Пусть $f(x)$ комплексно-линейный функционал, определенный на некотором подпространстве E_0 комплексно-линейного пространства E , а $p(x)$ — симметрично выпуклый функционал, определенный во всем E , причем

$$|f(x)| \leq p(x) \quad (6)$$

для всех $x \in E_0$.

Если в некоторой точке $x^* \in E_0$:

$$f(x^*) = p(x^*)$$

и .

$$\underline{V}p(x^*, x) = \overline{V}p(x^*, x) \quad (7)$$

где $x \in E$,

то комплексно-линейное продолжение функционала f на E , на E с сохранением условия (6) для всех $x \in E$ единственно.

Доказательство. Легко проверить, что

$$f(x) = f_1(x) + if_2(x), \quad (8)$$

где $f_1(x)$ и $f_2(x)$ — вещественные линейные функционалы, определенные на E_0 .

Пусть $F(x)$ — любое комплексно-линейное продолжение функционала $f(x)$ из E_0 на E , удовлетворяющее условию (6) для всех $x \in E$.

Очевидно,

$$F(x) = F_1(x) + iF_2(x),$$

где $F_1(x)$ и $F_2(x)$ — вещественные линейные функционалы, определенные во всем E и удовлетворяют условию (1).

Так как

$$F(ix) = F_1(ix) + iF_2(ix),$$

$$F(ix) = iF(x) = iF_1(x) - F_2(x),$$

то

$$F_2(x) = -F_1(ix)$$

Следовательно,

$$F(x) = F_1(x) - iF_2(x). \quad (9)$$

Ясно, что $F_1(x) = f_1(x)$ для всех $x \in E_0$.

Так как $f(x) = p(x^*)$, то $f_1(x) = p(x^*)$.

С другой стороны, $f_1(x) \leq p(x^*)$ для всех $x \in E_0$.

Итак, в силу теоремы 5, линейное продолжение функционала $f_1(x)$ из E_0 на E с сохранением условия (6) существует, причем, оно единственно совпадает с функционалом $F_1(x)$.

В силу (9), $F(x)$ единственно.

Теорема 8. Пусть $p(x)$ — симметричный выпуклый функционал, определенный во всем комплексном линейном пространстве E . Тогда для единственности продолжения любого комплексно-линейного функционала, определенного на произвольном подпространстве пространства E и удовлетворяющего условию (6) для всех $x \in E$, до линейного функционала, определенного во всем E с сохранением условия (6), необходимо выполнение на произвольной нулевой точке x_0 равенства

$$\underline{V}p(x_0, x) = \overline{V}p(x_0, x),$$

Доказательство этой теоремы аналогично доказательству теоремы 6.

Наконец, докажем следующую теорему, являющуюся непосредственным следствием теоремы 6.

Теорема 9. Пусть $p(x)$ — заданный на E , полуаддитивный положительно-однородный функционал, удовлетворяющий в заданной точке $x \in E$ условию $\underline{V}p(x_0, x) = \overline{V}p(x_0, x)$. Тогда существует единственный линейный функционал $F(x)$, определенный во всем пространстве и обладающий следующими двумя условиями:

$$F(x_0) = p(x_0),$$

$$F(x) \leq p(x) \text{ для всех } x \in E.$$

Доказательство. Рассмотрим одновременное подпространство $E_1 = \{tx_0\}$, где $-\infty < t < +\infty$.

Любой линейный функционал $f(x)$, определенный на E_1 и удовлетворяющий условию $f(x_0) = p(x_0)$, имеет вид:

$$f(x) = tp(x).$$

Очевидно, что $f(x) \leq p(x)$ на E_3 .

В самом деле, пусть $x = tx_0$ и $t \geq 0$, тогда

$$f(x) = tp(x_0) = p(tx_0) = p(x).$$

Пусть теперь $t < 0$, тогда

$$f(x) = tp(x_0) = -p(-tx_0) \leq p(tx_0) = p(x),$$

ибо $-p(-tx_0) \leq p(tx_0)$.

Итак мы имеем $f(x) \leq p(x)$ для всех $x \in E_3$.

В силу того, что $\underline{V}p(x_0, x) = \overline{V}p(x_0, x)$, то по теореме 6, этот функционал единственным образом можно продолжить до линейного функционала $E(x)$, определенного во всем пространстве E , причем так, чтобы $F(x) \leq p(x)$ для всех $x \in E$ и $F(x_0) = p(x_0)$.

Теорема доказана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наймарк А. М. Нормированные кольца. ГТТЛ, М., 1956.
2. Рассулов М. Л. О единственном распространении линейных функционалов. ДАН Азерб. ССР*, т. VI, № 10, 1950.
3. Халилов З. И. Элементы функционального анализа. Изд. АГУ, 1949.
4. Tauber A. E. The Extension of linear functionals. Duke math. Journ., V, 5, № 3 (1939).
5. Mazur S. Über konvexe Mengen in linearen normierten Räumen, studia mathematica, IV (1933).

Н. Н. Агаев, К. Г. Хэсэнов, К. И. Худавердиев, С. Я. Ягубов

Хэтти фэзаларда хэтти функционалларын
еканэ давамы наггында

ХҮЛАСЭ

Тутаг ки, E_0 хэги хэтти E фэзасынын алт фэзасыдыр, $f, (x)E_0$ -да тэ'йин олунмуш хэтти функционал, $p(x)$ исэ бүтүн E -дэ тэ'йин олунан ярымаддитив мүсбэт бирчинсли функционалдыр вэ элава E_0 -да $f(x) \leq p(x)$

шэрти өдэнилит. Нан-Банах теореминэ көрэ белэ $f(x)$ функционалынын E_0 -дан E -йэ (1) шэртини сахламагла хэтти давамы вардыр. Бу мэгалэдэ белэ давамын еканэлийи тэдгиг эдилит вэ давамын еканэлийи үчүн зэрури вэ кафи шэрт верилит. Алынан нэтичэлэрдэн М. Л. Рэсуловун [4] нормасы дифференциалланан Банах фэзасында элдэ этдийи еканэлик теоремлэри бир хүсуси хал кими алыныр.

Тэдгигат нэтичэсиндэ алынан нэтичэлэр ашагыдакылардан ибарэт-дир.

Лемма 1. (1) шэртини өдэйэн хэтти $f(x)$ функционалынын E_0 -дан $\{E_0 + x_0\} - a$ (1) шэртини сахламагла истэнилен хэтти давамы

$$F(x) = f(y) + a C_0$$

шэклиндэдит, белэ ки, бурада: $x_0 \in E_0, x = y + ax_0, -\infty < a < +\infty$ вэ

$$\sup_{y \in E_0} \{-p(-y - x_0) - f(y)\} \leq C_0 \leq \inf_{y \in E_0} \{p(y + x_0) - f(y)\}.$$

Лемма 2 (эсас лемма). Тутаг ки, 1-чи лемманын шэртлэри өдэ-нилит вэ элава, мүэйэн $x^* \in E$ нөгтэсиндэ $f(x^*) = p(x^*)$, $Vp(x^*, x_0) = \bar{V}p(x^*, x_0)^*$ шэртлэри тэ'мин эдилит. Онда $f(x)$ -ин E_0 -дан $\{E_0 + x_0\}$ -йэ, (1) шэртини сахламагла, хэтти давамы еканэдит.

Теорем 1. Тутаг ки, $p(x)$ бүтүн хэтти E фэзасында тэ'йин олунмуш ярымаддитив мүсбэт бирчинсли функционал, $f(x)$ исэ мүэйэн $E_0 \subseteq E$ алт фэзасында тэ'йин олунмуш вэ (1) шэртини истэнилен $x \in E_0$ -дэ өдэйэн хэтти функционалдыр, белэ ки, мүэй-йэн x^* нөгтэсиндэ $f(x^*) = p(x^*)$ олур. Онда* $Vp(x^*, x) = \bar{V}p(x^*, x)$

* Бурада: $Vp(x^*, x_0) = \lim_{h \rightarrow -0} \frac{p(x_0 + hx) - p(x_0)}{h}$,

$$\bar{V}p(x^*, x_0) = \lim_{h \rightarrow +0} \frac{p(x_0 + hx) - p(x_0)}{h}.$$

мүнасибэти $f(x)$ -ин E_0 -дан E -йэ (1)-шэртини сахламагла еканэ хэтти давамы үчүн кафидит.

Теорем 2. Тутаг ки, $E_0 \in E$ ихтияри алт фэзадыр, $p(x)$ бүтүн хэги хэтти E фэзасында тэ'йин олунмуш ярымаддитив мүсбэт бирчинсли функционал, $f(x)$ исэ E_0 -да тэ'йин олунмуш (1) шэрти-ни өдэйэн истэнилен хэги хэтти функционалдыр. Онда $f(x)$ -ин E_0 -дан E -йэ, (1) шэртини сахламагла хэтти давамынын еканэлийи үчүн истэнилен сыфыр олмаян $x_0 \in E$ нөгтэсиндэ $Vp(x_0, x) = \bar{V}p(x_0, x)$ олмасы зэруридит.

Теорем 3. Тутаг ки, $f(x)$ комплекс-хэтти E фэзасынын мү-эйэн E_0 алт фэзасында тэ'йин олунмуш комплекс-хэтти функци-оналдыр, $p(x)$ исэ бүтүн E -дэ тэ'йин олунмуш симметрик габарыг функционалдыр, нэм дэ E_0 -дэ

$$|f(x)| \leq p(x) \quad (2)$$

бэрабэрсизлийи тэ'мин эдилит. Экар мүэйэн $x^* \in E_0$ нөгтэсиндэ $f(x^*) = p(x^*)$

вэ

$$Vp(x^*, x) = \bar{V}p(x^*, x), x \in E$$

шэртлэри өдэнилэрсэ онда, $f(x)$ -ин E_0 -дан E -йэ, (2) шэртини са-х-ламагла, комплекс-хэтти давамы еканэдит.

Теорем 4. Тутаг ки, E_0 комплекс-хэтти E фэзасынын истэ-нилен алт фэзасыдыр, $p(x)$ бүтүн E -дэ тэ'йин олунмуш симмет-рик габарыг функционалдыр, $f(x)$ исэ E_0 -да тэ'йин олунмуш вэ (2) шэртини өдэйэн ихтияри комплекс-хэтти функционалдыр. Онда $f(x)$ -ин E_0 -дан E -йэ, (2) шэртини сахламагла, комплекс-хэтти да-вамынын еканэлийи үчүн нэр бир сыфыр олмаян x_0 нөгтэсиндэ

$$Vp(x_0, x) = \bar{V}p(x_0, x)$$

олмасы зэруридит.

Теорем 5. Тутаг ки, $p(x)$ E -дэ тэ'йин олунмуш вэ верилмиш $x_0 \in E$ нөгтэсиндэ $Vp(x_0, x) = \bar{V}p(x_0, x)$ шэртини өдэйэн ярымад-дитив мүсбэт бирчинсли функционалдыр. Онда бүтүн E фэза-сында тэ'йин олунмуш вэ ашагыдакы ики шэрти өдэйэн еканэ хэт-ти $F(x)$ функционал вардыр:

$$F(x_0) = p(x_0)$$

вэ нэр бир $x \in E$ нөгтэсиндэ:

$$F(x) \leq p(x).$$

Ю. А. МАХМУДОВ

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДЕЛЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ МАШИНАХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Как известно, в цифровых быстродействующих вычислительных машинах операция деления является одной из наиболее длинных по времени выполнения. Это обстоятельство связано с логикой выполнения операции деления.

Деление в двоичной системе осуществляется таким же образом, как и в десятичной.

Рассмотрим деление чисел, изображенных в десятичной системе с фиксированной запятой. Запятая фиксируется перед старшим разрядом, следовательно, числа по абсолютному значению меньше единицы.

Для получения частного по абсолютному значению меньше единицы необходимо, чтобы делимое по абсолютному значению было бы меньше делителя.

Знак частного определяется сложением знаков делимого и делителя.

1. После проверки возможности деления, делимое a сдвигается на один разряд влево по отношению к делителю b , и из сдвинутого делимого $2a$ вычитается делитель. Получаем первый остаток c_1 :

$$a - b = c_1.$$

1. Если остаток положителен $c_1 > 0$, то это значит что $a > b$. В этом случае в частном записывается единица. Для определения следующего разряда частного, полученный остаток c_1 сдвигается влево по отношению к делителю на один разряд и из него $2c_1$ вычитается делитель b . Знак следующего остатка определяет соответствующий разряд частного.

2. Если остаток отрицателен $c < 0$, то это значит, что $a < b$, в этом случае в частном записывается нуль. Для определения следующего разряда частного необходимо предыдущий остаток (в данном случае делимое) сдвинуть еще на один разряд влево по отношению к делителю и из него вычесть делитель b .

$$a - b = c_1.$$

Для получения предыдущего остатка a обычно к полученному остатку c_1 прибавляется делитель.

Если

$$a < b, \text{ то } c_1 < 0, \\ a = c + b.$$

Ю. А. МАХМУДОВ

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДЕЛЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ МАШИНАХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Как известно, в цифровых быстродействующих вычислительных машинах операция деления является одной из наиболее длинных по времени выполнения. Это обстоятельство связано с логикой выполнения операции деления.

Деление в двоичной системе осуществляется таким же образом, как и в десятичной.

Рассмотрим деление чисел, изображенных в десятичной системе с фиксированной запятой. Запятая фиксируется перед старшим разрядом, следовательно, числа по абсолютному значению меньше единицы.

Для получения частного по абсолютному значению меньше единицы необходимо, чтобы делимое по абсолютному значению было бы меньше делителя.

Знак частного определяется сложением знаков делимого и делителя.

1. После проверки возможности деления, делимое a сдвигается на один разряд влево по отношению к делителю b , и из сдвинутого делимого $2a$ вычитается делитель. Получаем первый остаток c_1 :

$$a - b = c_1.$$

1. Если остаток положителен $c_1 > 0$, то это значит что $a > b$. В этом случае в частном записывается единица. Для определения следующего разряда частного, полученный остаток c_1 сдвигается влево по отношению к делителю на один разряд и из него $2c_1$ вычитается делитель b . Знак следующего остатка определяет соответствующий разряд частного.

2. Если остаток отрицателен $c < 0$, то это значит, что $a < b$, в этом случае в частном записывается нуль. Для определения следующего разряда частного необходимо предыдущий остаток (в данном случае делимое) сдвинуть еще на один разряд влево по отношению к делителю и из него вычесть делитель b .

$$a - b = c_1.$$

Для получения предыдущего остатка a обычно к полученному остатку c_1 прибавляется делитель.

Если

$$\begin{aligned} a < b, \text{ то } c_1 < 0, \\ a = c + b. \end{aligned}$$

3. Если остаток равен нулю $c_1=0$, это значит, что $a=b$. При этом в частном записывается единица. Дальнейший процесс деления прекращается, ибо деление производится без остатка. Этим заканчивается первый цикл деления.

Следующие циклы деления выполняются аналогичным образом. Разряды частного получаются последовательно один за другим, начиная со старшего разряда.

При делении двух N -разрядных чисел, для получения в частном тоже N разрядов, необходимо выполнить N циклов деления.

Как видно из сказанного, при описании способа деления в наихудшем случае для определения одного разряда частного (пункт 2, когда предыдущий разряд частного равен нулю) приходится выполнять две операции—сложение, вычитание. Следовательно, для определения N разрядов частного в наихудшем случае потребуется $2N$ сложений и вычитаний.

II. Имеется другой метод деления, где для определения разрядов частного требуется всего N сложений и вычитаний.

Сущность этого метода заключается в следующем: из сдвинутого на один разряд влево по отношению к делителю остатка (первый раз из делимого) вычитается делитель. Полученный новый остаток сдвигается на один разряд влево по отношению к делителю. Если остаток положителен, то из сдвинутого остатка вычитается делитель. Если же остаток отрицателен, то к нему прибавляется делитель. Этим заканчивается первый цикл деления.

Этот процесс повторяется до тех пор, пока в частном не получится нужное количество разрядов. Знаки остатков определяют разряды частного, начиная со старшего. При положительном знаке остатка в частном необходимо записать единицу при отрицательном знаке—нуль.

Правильность этого метода легко доказывается. Для определения k -го разряда частного из $(k-1)$ -го остатка c_{k-1} вычитаем делитель. Допустим, что полученный k -й остаток c_k отрицателен. При этом в k -ом разряде частного записываем нуль. Для определения $(k+1)$ -го разряда частного, k -й остаток c_k сдвигается на один разряд влево и к нему прибавляется делитель.

$$\begin{aligned} & \text{Если} \quad c_{k-1} - b = c_k, \\ & c_{k-1} < b, \text{ то } c_k < 0, \\ & 2c_k + b = c_{k+1}, \\ & 2c_{k-1} - b + b + c_{k+1}, \\ & 2c_{k-1} - 2b + b = c_{k+1}, \\ & 2c_{k-1} - b = c_{k+1}. \end{aligned}$$

По первому методу, если $c_k < 0$, то необходимо получить предыдущий остаток c_{k-1} сложением c_k с делителем b , сдвинуть его на один разряд влево, и вычесть из него делитель.

Получим

$$2c_{k-1} - b + c_{k+1}$$

Видно, что полученные результаты одинаковы.

Второй метод деления, в отличие от первого, называют методом деления без восстановления предыдущего значения остатка. В неко-

рых машинах операция деления заменяется операцией умножения делимого на обратную величину делителя

$$x : y = x \cdot \frac{1}{y}.$$

Для определения обратной величины числа используется стандартная программа. В таких машинах операция деления выполняется очень медленно (например, в машине „Стрела“ операция деления производится за 9 мксек, т. е. за одну секунду можно произвести только 100—110 делений, в то время как за это же время выполняется около 2000 сложений и вычитаний).

Поскольку в машинах последовательного действий для сложения или вычитания N -разрядных двоичных чисел требуется N тактов работы машины, то операция деления в этом случае выполняется еще медленнее. Например, для выполнения операции деления по первому методу потребовалось бы время деления $T_{\text{дел}} = 2N^2 + m_1$ тактов работы машины, по второму методу $T_{\text{дел}} = N^2 + m_2$ тактов работы (m_1 и m_2 —постоянные для каждой конкретной схемы и занимают несколько десятков тактов работы).

Поэтому, вопросы отыскания методов и схем сокращения времени выполнения операции деления имеют большое значение для повышения производительности арифметического устройства быстродействующих цифровых машин.

В лаборатории электро моделирования Академии наук СССР разработаны несколько вариантов делительного устройства на магнитных ферритовых элементах для машин последовательного принципа действия. Автором данной статьи разработаны схемы и осуществлены три различные делительные устройства на магнитных ферритовых элементах.

В первой схеме делительного устройства используется метод запоминания предыдущего значения остатка, т. е. остаток c_k запоминается в регистре до получения следующего c_{k+1} остатка. По знаку нового остатка c_{k+1} определяется нужный остаток c_k или c_{k+1} для определения следующего разряда частного. При этом другой остаток стирается. Знаки остатков определяют разряды частного.

Во второй схеме используется метод без восстановления предыдущего значения остатка. В обоих этих делительных устройствах деление двух N -разрядных двоичных чисел занимает приблизительно N^2 —тактов. Дальнейшим развитием этих делительных устройств является третье делительное устройство, метод деления и конкретная схема которого подробно описываются в настоящей статье.

Рассматриваемое делительное устройство предназначено для машин последовательного принципа действия с фиксированной перед старшим разрядом запятой.

Изображение числа приводится на рис. 1.

После проверки возможности деления, делимое сдвигается на один разряд влево по отношению к делителю и подается на вход одnorазрядного сумматора Σ_1 , на другой вход которого подается делитель (рис. 2). В Σ_1 производится вычитание из делимого делителя. Первый остаток c_1 может быть положительным, отрицательным числом или нулем. Если $c_1=0$, то дальнейшее деление прекращается. Если $c_1>0$, то для определения следующего разряда частного, из него вычесть сдвинутый на один разряд вправо делитель; если же $c_1<0$, то к нему надо прибавить сдвинутый на один разряд вправо делитель. Поэтому,

не дожидаясь конца первого вычитания, полученные на выходе Σ_1 первые разряды первого остатка c_1 поступают на входы следующих двух одноразрядных сумматоров Σ_2 и Σ_3 . В одном из сумматоров

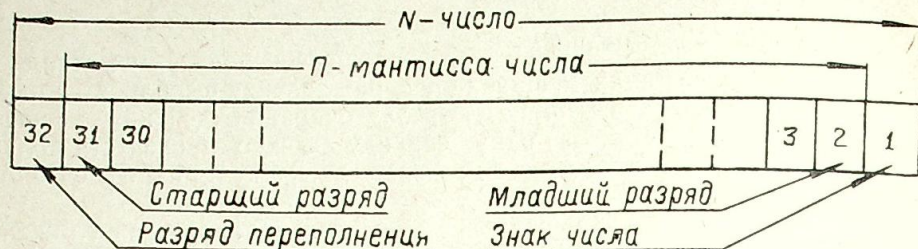


Рис. 1
Изображение числа

(допустим в Σ_2) к первому остатку c_1 добавляется сдвинутый на один разряд вправо по отношению к этому остатку делитель. В другом

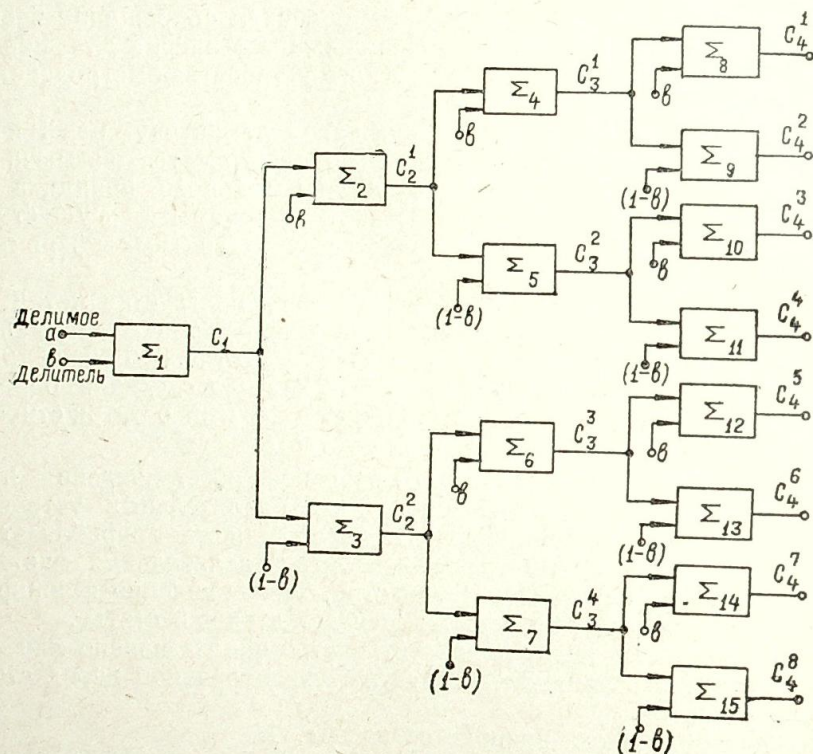


Рис. 2

сумматоре Σ_3 производится вычитание из первого остатка c_1 , сдвинутого на один разряд вправо от делителя. На выходе одноразрядных сумматоров Σ_2 и Σ_3 получаем вторые остатки c_2^1 и c_2^2 . Всегда один из этих остатков является требуемым, но какой из них, мы сможем узнать только после выполнения операции вычитания на Σ_1 по знаку первого остатка c_k .

Не дожидаясь конца операций первого и второго вычитания и сложения, полученные на выходах Σ_2 и Σ_3 первые разряды вторых остатков c_2^1 и c_2^2 подаются на входы следующих четырех сумматоров. В этих сумматорах производится сложение и вычитание сдвинутого на один разряд вправо делителя со вторыми остатками c_2^1 и c_2^2 .

На выходах сумматоров $\Sigma_4, \Sigma_5, \Sigma_6, \Sigma_7$ получаем четыре различных значения третьего остатка. Один из этих остатков является требуемым, но какой из них, мы сможем узнать только после выполнения операций сложения и вычитания в предыдущих сумматорах. Дальнейшее разветвление цепей выполняется аналогичным образом, т. е. каждый новый остаток разветвляется еще на две цепи.

По появлению $(n+1)$ -ых разрядов остатков (которые определяют знак остатка) на выходах одноразрядных сумматоров получим разряды частного, один за другим, начиная со старшего.

Как видно, теоретически этот метод дает возможность выполнить операцию деления в машинах последовательного действия за $2N$ тактов работы машины.

Рассмотрим теперь конкретную схему делительного устройства, использующего выше предложенный метод деления для сокращения времени деления в два раза.

Как видно из приведенной схемы (рис. 3) делительного устройства, оно состоит из следующих блоков и звеньев:

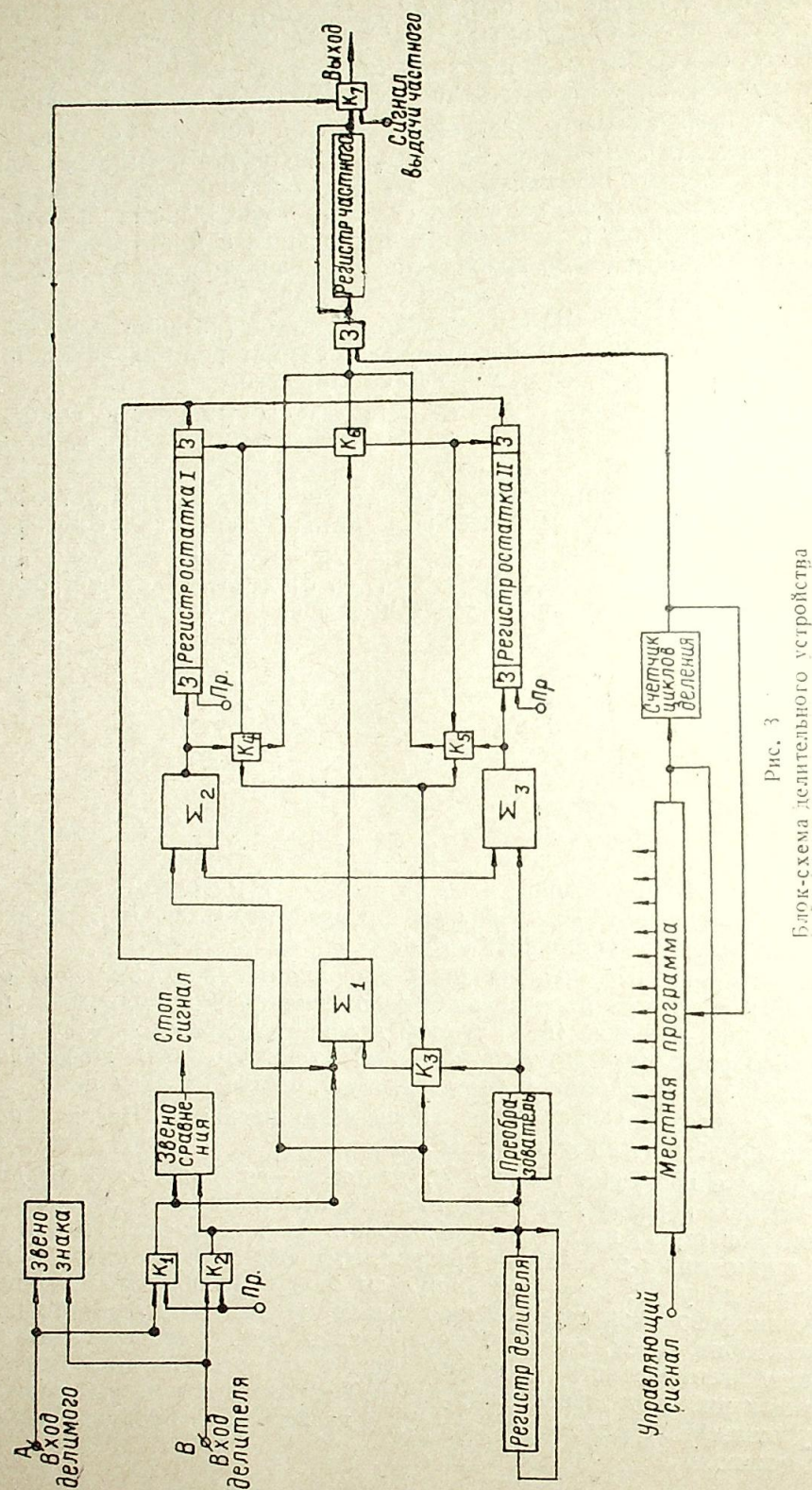
- 1) сравнивающего звена;
- 2) знакового звена;
- 3) суммирующих звеньев Σ ;
- 4) регистра делителя;
- 5) регистров остатка;
- 6) регистра частного;
- 7) местной программы;
- 8) счетчика циклов деления;
- 9) преобразующего звена;
- 10) ключей управления.

Для определения возможности деления в делительном устройстве предусмотрено сравнивающее звено.

1. Как видно из приведенной блок-схемы (рис. 3), сравнение делимого с делителем происходит одновременно с выполнением первого цикла деления (под циклом делений подразумевается время одного обращения делителя в своем регистре). Это дает возможность сократить время работы делительного устройства на один цикл.

Схема сравнивающего звена приведена на рис. 4. Числа сравниваются по абсолютному значению.

Делимое поступает на вход А, делитель — на вход Б. Если делимое больше и равно делителю, то после прохождения чисел, динамический триггер T_1 не будет генерировать на выходе единицы, и сигнал, приходящий от местной программы, пройдет через ключ Z_3 и запустит ячейку T_2 . Выходные импульсы от T_2 сигнализируют с переполнении разрядной сетки. Если делимое меньше делителя, то после прохождения чисел, ячейка T_1 окажется в возбужденном состоянии и будут генерировать импульсы единицы, которые поступают на запрещающий вход «ячейки запрета» Z_3 . Поэтому программный импульс, поступающий на вход ячейки Z_3 , дальше не пройдет — деление невозможно.

Рис. 3
Блок-схема делительного устройства

2. Для определения знака частного предусмотрено знаковое звено (рис. 5).

Схема работает следующим образом: в момент поступления знаковых разрядов делимого и делителя на входы „ячеек совпадения“ I_1 и I_2 . На другие входы этих же ячеек подается одиночный импульс от местной программы. На этих ячейках производится выборка знаков делимого и делителя. Выходы ячеек I_1 и I_2 соединения со входами „ячейки разноименности“ P . Если делимое и делитель положительны, то на выходе ячеек I_1 и I_2 никакого импульса не получим, а также на выходе ячейки P не будет импульса. Следовательно, ячейка T будет в возбужденном состоянии, что является признаком положительного знака частного.

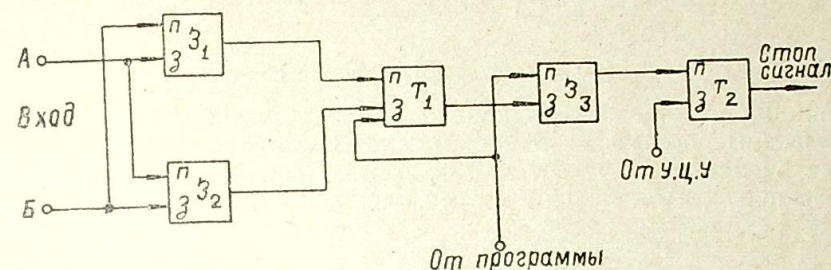


Рис. 4

Схема сравнивающего звена

Если делимое и делитель отрицательны, то после выборки знаков на выходах ячеек I_1 и I_2 получим импульсы единицы. Но эти импульсы не пройдут на выход ячейки P . Следовательно, ячейка T будет в возбужденном состоянии. Значит, частное имеет опять положительный знак.

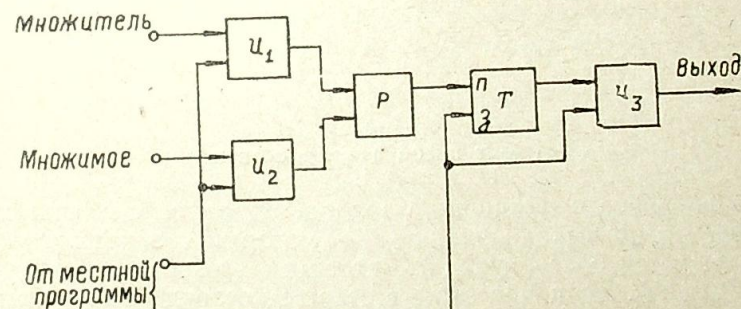


Рис. 5

Схема знакового звена

Если знаки делимого и делителя различны, то после выборки знаков на выходах ячеек I_1 или I_2 получим импульс единицы, который, проходя через ячейку P , запустит ячейку T .

Возбужденное состояние ячейки T является признаком отрицательного знака частного. Знак частного выбирается программным импульсом на ячейке I_3 в момент выдачи частного.

3. Числа в делительное устройство поступают в прямом коде. Их знак стирается на входных ключах K_1 и K_2 программным импульсом (см. рис. 3).

Таким образом, в делительном устройстве циркулируют мантиссы чисел. Операция вычитания выполняется сложением уменьшаемого с дополнительным кодом вычитаемого. Сложение кодов чисел производится в суммирующем звене (рис. 6), где производится суммирование.

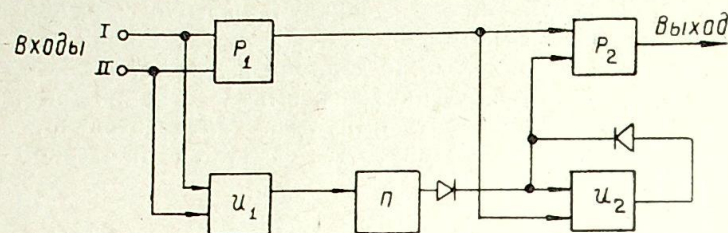


Рис. 6
Схема суммирующего звена

Принцип работы суммирующего звена заключается в следующем: оба слагаемые поступают одновременно на входы ячеек P_1 и I_1 . На выходе ячейки P_1 получается, так называемая, полусумма слагаемых, которая представляет собой сумму равновесных разрядов слагаемых

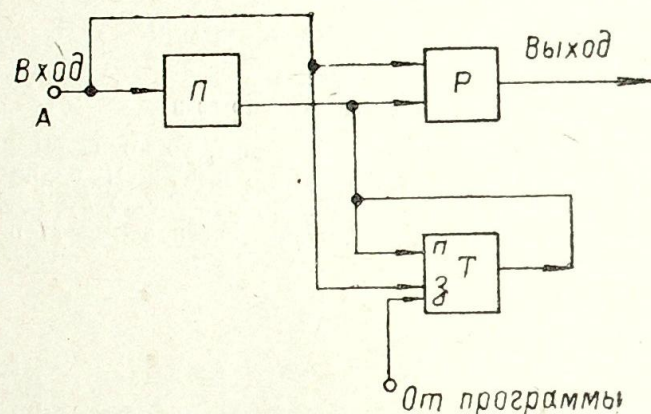


Рис. 7
Схема преобразующего звена

без учета переноса с младших разрядов. Перенос с младших разрядов образуется по выходе ячейки I_1 , который с задержкой на один такт складывается со следующим старшим разрядом полусуммы на ячейках P_2 и I_2 . Если при этом в старшем разряде полусуммы имеется импульс единицы, то она складывается с импульсом единицы переноса, и на выходе ячейки P_2 получается нуль, а на выходе ячейки I_2 — следующий перенос.

Очередной перенос в старший разряд запоминается на ячейке I_2 , которая имеет обратную связь. Эта единица запоминается на ячейке I_2 до тех пор, пока с выхода ячейки P_1 поступают импульсы единицы.

Результат суммирования получается на выходе ячейки P_2 . Он может быть выражен в прямом или дополнительном коде. Об этом можно знать только по выходу $(n+1)$ -го разряда (n — мантисса числа) из суммирующего звена, по которому определяется знак суммы.

4. Для получения дополнительного кода числа используется преобразующее звено (рис. 7). Если взять прямой и дополнительный код

одного и того же числа, то легко можно заметить, что для получения дополнительного кода от прямого и наоборот, необходимо первую единицу справа пропустить без изменения, но все следующие разряды инвертировать.

Это правило и выполняется в преобразующем звене.

Прямой код 0,110100101110

Дополнительный код 1,001011010010

Обычно дополнительный код получается от обратного кода прибавлением единицы к младшему разряду.

Прямой код 0,110100101110

Обратный код 1,001011010001

+

1

Дополнительный код 1,001011010010

Как видно из этих примеров, результаты одинаковы.

Поступающий на вход A преобразователя первая единица проходит через ячейку P без изменения. Эта же единица на такт позже поступает на другой вход ячейки P и запускает ячейку T . Вследствии этого, все последующие разряды числа инвертируются на ячейке P . На выходе преобразующего звена получается дополнительный код числа, поступающего на вход. Всегда после прохождения числа (отличного от нуля) через преобразующее звено ячейка T остается в возбужденном состоянии, т. е. на выходе генерирует импульсы единицы. Для гашения T используется программный импульс, который подается на запрещающий вход ячейки T всегда в момент прохождения последнего разряда преобразуемого числа.

5. Процесс деления начинается с приходом делимого на вход A (см. рис. 3), делителя — на вход B и управляющего сигнала — на местную программу. Делитель запоминается в своем регистре и он поступает на входы ключа K_3 в прямом и дополнительном коде (через преобразующее звено).

Первый раз на вход первого суммирующего звена Σ_1 делитель поступает всегда в дополнительном коде. Делимое поступает на вход Σ_1 , сдвинутым на один разряд влево по отношению делителя. В Σ_1 происходит первое вычитание, не дожидаясь конца операции, результат вычитания подается на входы следующих двух суммирующих звеньев Σ_2 и Σ_3 . На другие входы этих суммирующих звеньев Σ_2 и Σ_3 поступает делитель, сдвинутый на один разряд вправо по отношению к первому остатку. На вход Σ_2 делитель поступает в прямом коде, а на вход Σ_3 — в дополнительном.

Таким образом, одновременно производится вычитание делителя из первого остатка (на Σ_3) и сложение делителя с первым остатком (на Σ_2).

Результаты этих операций поступают в регистры остатка (I и II). Понятно, что всегда один из этих результатов будет требуемым. Но какой из них, мы можем знать только после прохождения $(n+1)$ -го разряда, первого остатка через ключ K_6 . В схеме ключа K_6 определяются разряд частного и содержимое какого регистра (I или II) необходимо использовать для дальнейшей операции.

Если в $(n+1)$ -м разряде имеется единица, это признак того, что полученный остаток — отрицателен, он выражен в дополнительном коде. При этом необходимо в частном записать нуль, а для опреде-

ления следующего разряда частного, к этому остатку прибавить делитель. А это уже сделано. Содержимое регистра I есть требуемая сумма и она подается на вход Σ_1 , содержимое регистра II — стирается. Если в $(n+1)$ -ом разряде имеется нуль, это признак того, что полученный остаток — положителен, он выражен в прямом коде. При этом необходимо в частном записать единицу, и для определения следующего разряда частного, из этого остатка вычесть делитель. Содержимое регистра II есть требуемая разность и она подается на вход Σ_1 . Содержимое регистра I стирается.

Следующий разряд частного получается по появлению $(n+1)$ -го разряда нового остатка на выходе Σ_2 или Σ_3 . В зависимости от знака вновь полученного остатка, на ключах K_4 или K_5 определяется следующий разряд частного и в каком коде необходимо подать делитель на вход первого суммирующего звена Σ_1 . Если остаток отрицателен, то в частном записывается нуль и на вход Σ_1 делитель необходимо подать в прямом коде. Если же остаток положителен, то в частном записывается единица и на вход Σ_2 делитель нужно подать в дополнительном коде. Этим кончается первый цикл деления.

Как видно, в данной схеме за один цикл деления получаем сразу два разряда частного. При делении 32-разрядных двоичных чисел с получением в частном 32 разрядов один цикл деления занимает 37 тактов. Все остальные циклы аналогичны.

Таким образом, всегда остатки циркулируют в кольце $\Sigma_1 - \Sigma_2$ — регистр I — Σ_1 или $\Sigma_1 - \Sigma_3$ — регистр II — Σ_1 , а делитель — в своем регистре.

Цели задержки так согласованы, что на входах суммирующих звеньев делитель всегда получается сдвинутым на один разряд вправо по отношению к остаткам.

Для примера рассмотрим деление двух 10-разрядных двоичных чисел.

Делимое $a = 0,10010011,0$ в прямом коде.
 Делитель $\begin{cases} b = 0,11011011,0 \text{ в прямом коде.} \\ (1-b) = 1,00100101,0 \text{ в дополнительном коде.} \end{cases}$

1-й цикл

на Σ_1 $\begin{array}{r} 0,10010011 \\ + 1,00100101 \\ \hline 1,00100101 \end{array}$ остаток $c_1 > 0$ в частном записывается „1“

на Σ_3 $\begin{array}{r} + 1,00100101 \\ \hline 1,10111011 \end{array}$ $c_2 < 0$ в частном записывается „0“

2-й цикл

на Σ_1 $\begin{array}{r} 1,10111011 \\ + 0,11011011 \\ \hline 100,01010001 \end{array}$ $c_3 > 0$ в частном записывается „1“
 на Σ_3 $\begin{array}{r} + 1,00100101 \\ \hline 1,11000111 \end{array}$ $c_4 < 0$ в частном записывается „0“

3-й цикл

на Σ_1 $\begin{array}{r} 1,11000111 \\ + 0,11011011 \\ \hline 100,01101001 \end{array}$ $c_5 > 0$ в частном записывается „1“
 на Σ_3 $\begin{array}{r} + 1,00100101 \\ \hline 1,11110111 \end{array}$ $c_6 < 0$ в частном записывается „0“

4-й цикл

на Σ_1 $\begin{array}{r} 1,11110111 \\ + 0,11011011 \\ \hline 100,11001001 \end{array}$ $c_7 > 0$ в частном записывается „1“
 на Σ_3 $\begin{array}{r} + 1,00100101 \\ \hline 10,10110111 \end{array}$ $c_8 > 0$ в частном записывается „1“.

В результате выполнения операции, возникшие после $(n+1)$ разряда старшие разряды стираются.

Таким образом получаем $\frac{a}{b} = \frac{0,10010011}{0,11011011} = 0,10101011$.

6. Как упоминалось выше, разряды частного получаются один за другим, начиная со старшего разряда. Поскольку в машине числа идут в обратном порядке, т. е. младшими разрядами вперед, необходима перестройка частного. Это осуществляется в регистре частного путем увеличения времени обращения его на два такта (на два разряда) по сравнению с циклом деления.

Результат деления запоминается в регистре частного.

7. Для ограничения значения получаемого частного в N -разрядов предусмотрен счетчик циклов деления (рис. 8).

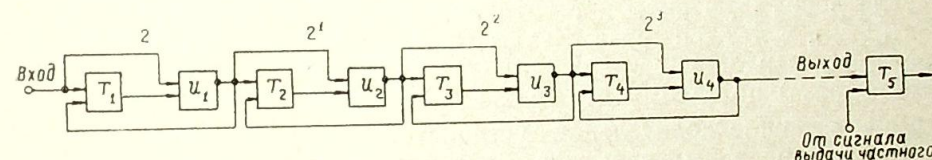


Рис. 8

Схема счетчиков циклов деления

В каждом цикле деления на вход счетчика подается одиночный импульс от местной программы. Этот импульс запускает ячейку T_1 , которая каждым тактом выдает импульс единицы на выход I_1 . Поэтому поступающий на вход счетчика второй импульс проходит через ячейку I_1 , запускает ячейку T_2 и гасит генерацию ячейки T_1 .

Поступающий на вход счетчика третий импульс опять запустит T_1 , четвертый импульс пройдет через I_1 , I_2 , запустит T_3 , погасит T_1 и T_2 .

Таким образом, в любой момент состояние динамических триггеров определяет количество импульсов, поступивших на вход счетчика. Состояние ячейки T_1 соответствует разряду весом 2^0 ; состояние ячейки T_2 соответствует разряду весом 2^1 и т. д.

Для определения 30 разрядов мантиссы частного необходимо 15 циклов деления. По достижению показания счетчика пятнадцати, что

соответствует коду 1111, необходимо остановить процесс деления. Поступающий на вход счетчика шестнадцатый импульс пройдет через ячейки I_1, I_2, I_3, I_4 , запустит ячейку T_5 . Выходные импульсы ячейки T_5 прекращают дальнейший процесс деления и приводят все звенья делительного устройства, кроме регистра частного, в исходное состояние.

Только после выдачи частного делительное устройство может произвести следующее деление. Управление работой делительного устройства осуществляется от местной программы.

В делительном устройстве, где за один цикл деления определяются сразу два разряда частного, деление двух N -разрядных чисел произ-

водится приблизительно за $\frac{N^2}{2}$ тактов. При этом, чем больше число

разрядов в делимом и делителе, тем больше эффект ускорения процесса деления. Деление этих же чисел по методу с восстановлением предыдущего значения остатка занимает $2N^2$ тактов, а по методу без восстановления предыдущего значения остатка требуется N^2 тактов.

Можно было бы еще более ускорить операцию деления дальнейшим разветвлением цепей.

Если мы с выходов Σ_2 и Σ_3 вновь получаемые остатки поделим каждый еще на два суммирующих звена и на выходе этих суммирующих звеньев поставим четыре регистра, то за один цикл деления определим сразу три разряда частного. Но при этом количестве элементов увеличивается, приблизительно, в два раза по сравнению с первой схемой. Понятно, что если захотим получить за один цикл деления сразу четыре разряда частного, то количество элементов, потребных для такого делителя, будет приблизительно в два раза больше, чем в предыдущей схеме, и в четыре раза больше, чем в первой.

Таким образом видно, что следующее уменьшение времени работы делителя в два раза вызывает увеличение количества элементов, приблизительно, в четыре раза. Из-за резкого увеличения количества элементов дальнейшее уменьшение времени деления (больше чем в четыре раза) по такому пути нецелесообразно.

Вышеописанное делительное устройство реально осуществлено на магнитных ферритовых элементах в лаборатории электромоделирования ВИНТИ Академии наук СССР.

Данное делительное устройство исследовано в различных режимах работы в течение последних 4—5 месяцев. Оно устойчиво работает при изменении окружающей температуры от $+10^\circ\text{C}$ до $+60^\circ\text{C}$. При этом питающие токи изменялись на $\pm 20\%$ (на понижение температуры устройство не испытано).

В данном делительном устройстве деление 32 разрядных двоичных чисел занимает 555 тактов работы. Таково же время обращения к устройству. Делительное устройство состоит из 240 магнитных элементов, из них — 54 логических, 186 — простых накопительных. Потребляемая мощность около 25—30 вт. Занимаемый объем $(420 \times 240 \times 75) \times 2 \text{ мм}^3 = 15000 \text{ см}^3$.

Тезһесаблаян ардычыл принципи риязи электрон машинларында бөлмэ эмэлийятыны сүр'этлэндирэн ени бир үсул наггында

ХҮЛАСЭ

Мүэллиф ардычыл принциплэ ишлэйэн тезһесаблаян риязи электрон машинларында бөлмэ эмэлийятынын сүр'этлэндирилмэси үчүн ени бир үсул тәклиф эдир.

Тезһесаблаян электрон риязи машинларында үмүмийәтлэ ики-әсаслы рәгәмләрдән истифадә олунур. Бу системдә бүтүн әдәдләр ики рәгәмлә — „0“ вә яхуд „1“ көстәрилик.

Бу системдән истифадә этмәйә әсас сәбәб икиәсаслы әдәдләр үзәриндә һесаб әмәлләринин чох садә баша кәлмәсидир. Бу исә һесабламанын автоматлашдырылмасына чох бөйүк көмәк эдир.

Тезһесаблаян риязи электрон машинларында бөлмэ эмэлийяты, чыхма эмэлийяты васитәсилә эдилір. Мәгаләдә, һазырда бир чох тезһесаблаян риязи электрон машинларында бөлмэ эмэлийятынын һансы үсулларла апарылмасы тәһлил эдилір. Көстәрилик ки, ардычыл принциплэ ишлэйән машинларда бөлмэ эмэлийяты дикәр эмэлийят-лара нисбәтән чох яваш сүр'әтлә еринә етирилик. Одур ки, бу машинларда һесаблайычы гурулушун мәһсулдарлығыны артырмаг үчүн бөлмә эмэлийятынын гыса вахтда еринә етирилмәси чох вачибдир.

Мәгаләдә тәклиф олунан үсул бөлмә эмэлийятыны әввәлки үсул-лара нисбәтән нәзәри олараг N дәфә тез еринә етирмәйә имкан верир (бурада N — әдәддә олан икиәсаслы рәгәмләрин сайыдыр).

Мәгаләдә, тәклиф олунан үсул үзрә гурулмуш бөлмә эмэлийятыны ики дәфә сүр'әтлэндирән схем тәһлил олунур. Нәзәри һесабламаларын вә әмәли схемләрин тәһлили мүэллифи ашағыдакы нәтичәйә кәтириб чыхарыр. Тәклиф олунан үсул үзрә бөлмә эмэлийятынын 4—5 дәфәдән артыг сүр'әтлэндирилмәси әмәли чәһәтдән әлверили дейилдир, чүнки бөлмә эмэлийятынын 4—5 дәфәдән артыг сүр'әтлэндирилмәси схемдә иштирак әдән элементләрин сайынын кәскин артмасына сәбәб олур.

Мәгаләдә, тәһлил олунан бөлмә гурулушу ени магнит материалы (ферритләр) үзәриндә гурулмушдур. Һазырда ферритләрдән тезһесаблаян риязи машинларын гурулмасында кениш истифадә олунур. Буна сәбәб ферритләр үзәриндә гурулмуш элементләрин аз ер тутмасы, садәлийи, истисмарда әтибарлылығы, аз әнержи сәрф этмәси, учуз баша кәлмәси, әтибарлы ишләмә вахтынын узунлуғу вә саирдир. Мәсәлән, мәгаләдә тәһлил олунан ики 32 рәгәмли икиәсаслы әдәдләри бөлмәк үчүн гурулмуш схем $0,15 \text{ м}^3$ ер тутур. Бу схемдә 240 әдәд ферритләр үзәриндә гурулмуш элементләрдән истифадә эдилір. Бүтүн схем чәмиси 25—30 ватт әнержи сәрф эдир. Бу схем сон 4—5 ай әрзиндә чүрбәчүр режимләрдә йохланылмышдыр. Йохламалар көстәрик ки, схем 60°C истилийә гәдәр әтибарлы ишләйир.

Бу һалда схеми гидаландыран электрик чәрәяны шиддәтийин $\pm 20\%$ дәйишмәси схемин ишләnmәсинә тәсир этмир.

Г. Б. АБДУЛЛАЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые выпрямители могут быть представлены электрической эквивалентной схемой, состоящей из емкости C , с утечкой R и малого последовательного сопротивления r [2, 3, 4]. C и R соответствуют емкости и сопротивлению запирающего слоя, r — сопротивлению остальной части полупроводника.

Знание зависимости этих параметров от температуры, направления, величины и частоты напряжения дает возможность объяснить физические явления, происходящие в селеновых выпрямителях. Параметры эквивалентной схемы могут быть с достаточной точностью найдены на мостовой схеме звуковой частоты [1]. Этот метод был применен и в настоящей работе для определения C , R и r селеновых выпрямляющих элементов, как с искусственно созданным электронно-дырочным переходом, так и образцов заводского изготовления.

Экспериментальная установка была собрана так, чтобы имелась возможность измерить комплексное сопротивление селеновых выпрямляющих элементов в обоих направлениях при разных смещающих напряжениях, температурах и частотах переменного напряжения.

1. Зависимость емкости от смещающего напряжения

По изменению собственной емкости селенового элемента в зависимости от величины и направления постоянного смещающего напряжения можно подсчитать, во-первых, толщину запирающего слоя при разных напряжениях, что представляет интерес для понимания механизма выпрямления, во-вторых, концентрацию примесных центров в барьерном слое.

Согласно диффузионной теории, эффективная плотность примесных центров N в запирающем слое твердых выпрямителей определяется по формуле

$$N = \frac{8\pi}{\varepsilon e} \frac{dU}{d(1/C)^2}, \quad (1)$$

где U — смещающее постоянное напряжение, приложенное к выпрямителю;

C и ε — емкость и диэлектрическая проницаемость вещества запирающего слоя;

e — элементарный заряд.

Г. Б. АБДУЛЛАЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые выпрямители могут быть представлены электрической эквивалентной схемой, состоящей из емкости C , с утечкой R и малого последовательного сопротивления r [2, 3, 4]. C и R соответствуют емкости и сопротивлению запирающего слоя, r — сопротивлению остальной части полупроводника.

Знание зависимости этих параметров от температуры, направления, величины и частоты напряжения дает возможность объяснить физические явления, происходящие в селеновых выпрямителях. Параметры эквивалентной схемы могут быть с достаточной точностью найдены на мостовой схеме звуковой частоты [1]. Этот метод был применен и в настоящей работе для определения C , R и r селеновых выпрямляющих элементов, как с искусственно созданным электронно-дырочным переходом, так и образцов заводского изготовления.

Экспериментальная установка была собрана так, чтобы имелась возможность измерить комплексное сопротивление селеновых выпрямляющих элементов в обоих направлениях при разных смещающих напряжениях, температурах и частотах переменного напряжения.

1. Зависимость емкости от смещающего напряжения

По изменению собственной емкости селенового элемента в зависимости от величины и направления постоянного смещающего напряжения можно подсчитать, во-первых, толщину запирающего слоя при разных напряжениях, что представляет интерес для понимания механизма выпрямления, во-вторых, концентрацию примесных центров в барьерном слое.

Согласно диффузионной теории, эффективная плотность примесных центров N в запирающем слое твердых выпрямителей определяется по формуле

$$N = \frac{8\pi}{\epsilon e} \frac{dU}{d(1/C)^2}, \quad (1)$$

где U — смещающее постоянное напряжение, приложенное к выпрямителю;

C и ϵ — емкость и диэлектрическая проницаемость вещества запирающего слоя;

e — элементарный заряд.

Из рассмотрения (1) следует, что если N —величина постоянная, что имеет место в селеновых выпрямителях, то $1/C^2$, т. е. λ^2 ($\lambda = \frac{1}{C}$ —толщина запирающего слоя) в зависимости от U в декартовых координатах должно дать прямую линию. Это значит, что с ростом обратного смещающего напряжения толщина запирающего слоя должна монотонно расти.

Эти выводы диффузионной теории, относящиеся к выпрямляющему контакту металл—полупроводник, могут быть приближенно применены к селеновым выпрямителям, где имеется граница двух полупроводников с разным типом проводимости. Здесь в запирающем направ-

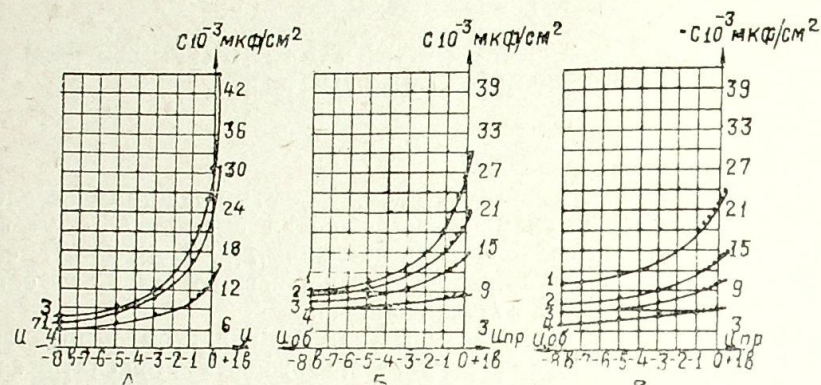


Рис. 1

Кривые изменений зависимости C и U .

Шайбы $\varnothing 45$ мм, $T = +20^\circ\text{C}$, $f = 2000$ гц, А—заводские шайбы, Б—шайбы, со слоем CdS, В—шайбы со слоем CdSe

лении на Д—Э контакте утолщается область как отрицательного (в селене), так и положительного объемного заряда (в электронном полупроводнике), обусловленного ионизованными примесными атомами.

Найденная концентрация примесных центров будет эффективным числом для запирающего слоя в целом.

Результаты измерений зависимости C и U для заводских элементов и элементов с искусственными слоями даются на рис. 1, а λ^2 и U на рис. 2. Из рисунков видно, что во всех случаях с ростом отрицательного (в обратном направлении) смещающего напряжения емкость уменьшается, что означает утолщение физического запирающего слоя, причем резкое изменение наблюдается при напряжениях примерно от $\pm 0,2$ до -1 в. Опыты показали, что чем толще искусственный слой при $U = 0$, тем умереннее изменение C в этой области напряжения.

Для краткости изложения толщину запирающего слоя при нулевом, положительном и отрицательном значениях смещающего напряжения обозначим соответственно через λ_0 , λ_- и λ_+ .

λ_0 —это толщина электронного полупроводника и контактного запирающего слоя вместе взятых. Выяснено, что в пределах ошибки эксперимента λ_0 —представляет собой толщину электронного полупроводника, следовательно, контактный запирающий слой в селеновых элементах по сравнению с химическим настолько тонок, что не поддается экспериментальному измерению.

Для всех образцов, на которых проводились измерения, оказалось, что

$$\lambda_- > \lambda_0 > \lambda_+$$

Если только по зависимости емкости от смещающего напряжения судить о качестве выпрямляющего элемента, то можно сказать, что чем резче изменение при перемене направления смещающего напряжения, тем лучше выпрямитель. Это объясняется тем, что порог резкого возрастания, прямой и обратной частей статической вольт-амперной характеристики элемента определяется значениями λ_+ и λ_- .

В прямом направлении важно, чтобы при малых напряжениях λ_+ была незначительной, ибо тогда точка пересечения оси U и продолжения линейной части вольт-амперной характеристики будет ближе к началу координат. Величина этого отрезка определяет падение потенциала на выпрямителе в прямом направлении при номинальном токе.

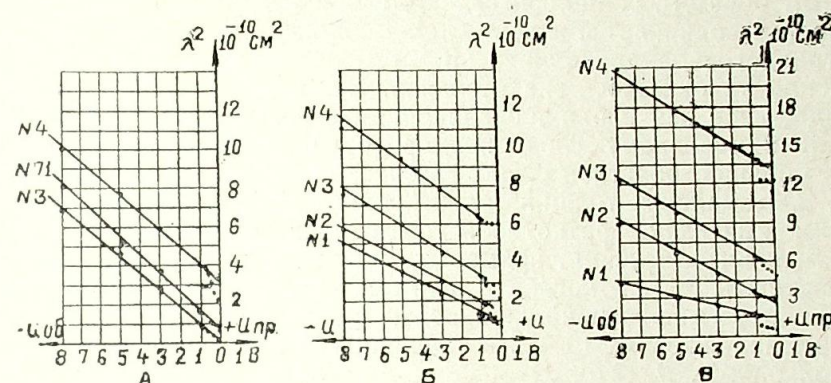


Рис. 2

Кривые изменений зависимости λ^2 и U .

Шайбы $\varnothing 45$ мм, $T = +20^\circ\text{C}$, $f = 2000$ гц, А—заводские шайбы, Б—шайбы со слоем CdS, В—шайбы со слоем CdSe

В запирающем направлении, наоборот, желательно, чтобы λ_- стала толще, ибо тогда изгиб обратной вольт-амперной характеристики, соответствующий наступлению эффекта более сильного поля, где $\lg R$ становится линейной функцией от U^2 , появится при больших обратных напряжениях.

Таким образом, эффективность выпрямления селеновых выпрямителей определяется величиной изменения толщины запирающего слоя в переменном электрическом поле. Максимальное уменьшение в прямом направлении и утолщение в обратном направлении—решающие факторы механизма выпрямления.

Под смещающим напряжением 10 в, что близко к эксплуатационным условиям обычных селеновых элементов, λ_- становится в 4—5 раз больше, чем λ_0 . Это означает, что основную роль в запирающем токе играет физический барьерный слой, который создается внешним электрическим полем, приложенным в обратном направлении.

Запирающий слой селеновых элементов под действием внешнего электрического поля, приложенного к ним, как бы „эластичен“. Степень эластичности для разных элементов при одном и том же рабочем напряжении определяется величиной λ_-/λ_+ . Чем больше это отношение, тем лучше выпрямление. λ_- определяет высоковольтность

выпрямителя, т. е. величину обратного напряжения, а λ_+ — падения напряжения в прямом направлении. Запирающий слой выпрямителя с большей λ_0 , менее эластичен. Обычно выпрямляющие элементы, имеющие такие барьерные слои при номинальном токе (50 ма/см^2), обладают большим прямым сопротивлением.

Тот факт, что $\lambda_+ < \lambda_0$ говорит о том, что при положительных значениях смещающего напряжения (в пропускном направлении) часть толщи электронного полупроводника, обладающая повышенным сопротивлением, уменьшается. Сопротивление в прямом направлении при данном напряжении определяется величиной $\lambda_0 - \lambda_+$. Очевидно, что чем больше эта разность, тем меньше становится прямое сопротивление.

В прямом направлении во всем объеме электронного полупроводника и приконтактном слое дырочного полупроводника ликвидируется область пространственного заряда, и сопротивление определяется, главным образом, толщиной селена, которое при столь малых напряжениях подчиняется закону Ома. В случае слишком толстых слоев электронного полупроводника (10^{-4} см) даже при 2—3 в прямого напряжения λ_+ оказалось значительной. Оставшийся слой с толщиной λ_+ ведет себя как плохо проводящий материал, последовательно включенный к основному слою полупроводника. Такие образцы имели очень большое обратное сопротивление, что повысило высоковольтность. Оптимальная толщина электронного полупроводника в селеновых выпрямителях, при которой коэффициент выпрямления достигает максимального значения, примерно, $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$. При этом, барьерный слой активен, т. е., когда в прямом направлении прикладывается 0,5—0,6 в, то запирающий слой почти уничтожается, а при отрицательных напряжениях 10—12 в толщина его становится в несколько раз большей ($\lambda_-/\lambda_0 \approx 5$).

Резкое изменение ширины и удельного сопротивления запирающего слоя в зависимости от величины и направления приложенного напряжения является причиной выпрямления.

Опыты показали, что максимальная активность (эластичность) запирающего слоя в селеновых выпрямителях получается тогда, когда создается Д—Э контакт. Искусственные запирающие слои из кварца, синтетической резины, серы, шеллака и других изолирующих материалов не так эластичны и поэтому не дают хорошего выпрямления.

2. Зависимость емкости от температуры

Температурные зависимости емкости заводского выпрямляющего элемента № 19 и элемента № 1 с искусственно нанесенным слоем из сернистого кадмия при разных смещениях и частоте 2 кГц, приведены на рис. 3.

Эти кривые показывают, что чем меньше значение смещающего напряжения в обратном направлении и чем больше оно в прямом направлении, тем сильнее зависимость емкости от температуры. При нуле, положительных и малых отрицательных значениях смещающего напряжения с понижением температуры емкость выпрямителя уменьшается. При отрицательных смещениях больше 4—5 в в интервале от -60° до $+60^\circ \text{C}$ емкость практически не зависит от температуры. Подобные зависимости были получены на 20 образцах. Во всех случаях эти зависимости для технических выпрямителей и выпрямителей с искусственным слоем совпадают.

Выше было показано, что с увеличением смещения в обратном направлении емкость уменьшается, а в прямом — увеличивается. Следовательно, можно утверждать, что по мере увеличения абсолютного значения емкости зависимость ее от температуры усиливается. Это указывает на то, что изменение емкости в зависимости от температуры, главным образом, обуславливается изменением толщины запирающего слоя на Д—Э переходе. При низких температурах благодаря увеличению сопротивления толщи селена начинает сказываться ее емкость; так как она включена последовательно с емкостью запирающего слоя, то ее рост приводит к уменьшению емкости элемента. Однако основную роль в уменьшении емкости элемента играет уменьшение емкости приконтактного слоя, вызванное ростом дебаевского радиуса на контакте полупроводников.

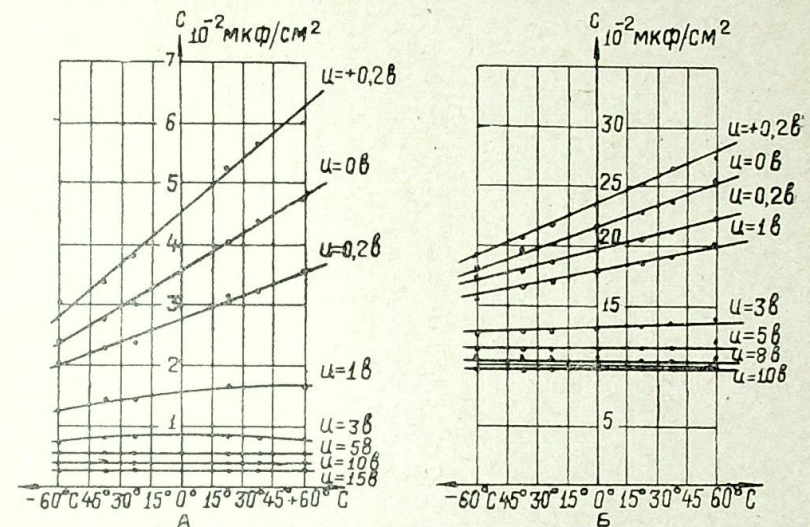


Рис. 3

Кривые зависимости емкости от температуры
А — заводская шайба № 19, $\varnothing$ 25 мм, Б — шайба № 1, $\varnothing$ 45 мм, со слоем CdS

Когда в прямом направлении прикладывается некоторое напряжение, область объемного заряда сужается, при этом в электронном полупроводнике создается резервный слой для развития (расширения) физического запирающего слоя от температуры. Такая возможность усиливает температурную зависимость емкости.

При сравнительно больших обратных напряжениях физический запирающий слой в электронном полупроводнике развивается до предела, т. е. до самого верхнего электрода, поэтому его толщина и, следовательно, емкость становятся независимыми от температуры.

3. Зависимость R от смещения

В электрической эквивалентной схеме селенового элемента через R было обозначено сопротивление, параллельно включенное с емкостью и отождествленное с омическим сопротивлением запирающего слоя.

При малых частотах обратного напряжения ток, в основном, определяется этим сопротивлением. Оно сильно зависит от величины и

направления поля. Метод, обычно используемый для определения R , заключается в измерении на мосте составляющих эквивалентной схемы при малых переменных потенциалах, наложенных на постоянное,

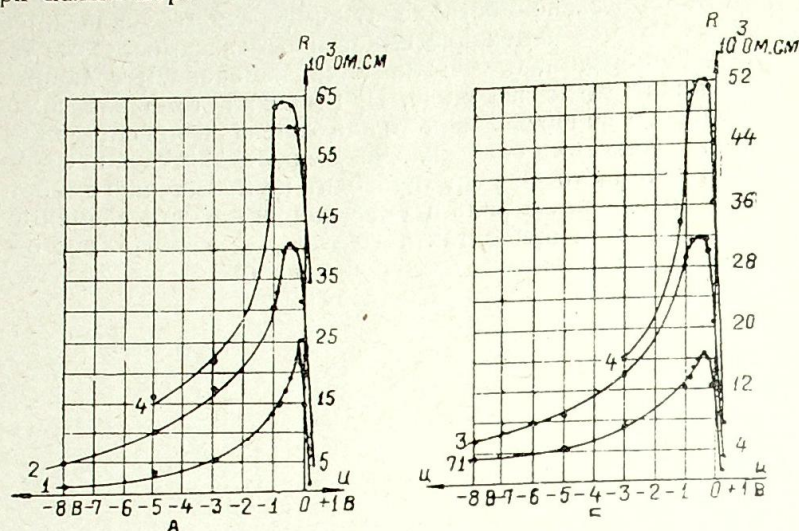


Рис. 4

Кривые зависимости R от смещения.
Шайбы $\varnothing$ 45 мм, $T = +20^\circ\text{C}$, $f = 2000$ гц, А — шайбы со слоем CdSe, Б — заводские шайбы

но сравнительно большое напряжение. Таким образом, R представляет собой дифференциальное сопротивление, т. е. сопротивление переменному току очень малой амплитуды при определенном постоянном смещении. В наших измерениях амплитуда переменного напряжения была 15 мВ, а частота 2 кГц.

На рис. 4 представлены кривые зависимости R от смещения, полученные на шести образцах при 20°C .

Из этих рисунков видно, что для заводских выпрямителей и образцов с искусственными слоями, кривые совпадают. Сопротивление выпрямителей переменному току имеет максимум при некотором отрицательном напряжении. Для этих образцов при нулевом смещении по мере роста толщины запирающего слоя сопротивление увеличивается и его максимум смещается в сторону больших напряжений (рис. 5).

Следует отметить, что изменения R и C взаимосвязаны. Резкое уменьшение емкости при перемене

напряжения поля приводит к резкому возрастанию сопротивления. Это объясняется тем, что обе величины определяются, главным образом, толщиной физического запирающего слоя на Д—Э переходе, которая зависит от величины и направления внешнего поля.

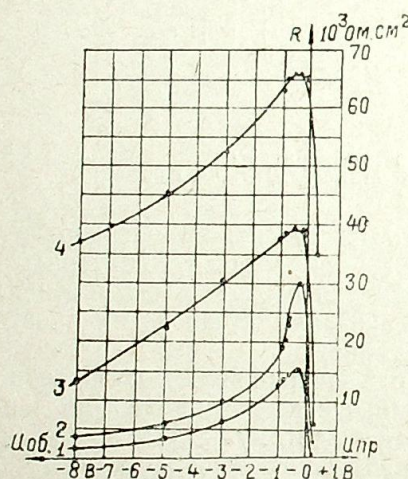


Рис. 5

Кривые зависимости R от U .
Заводские шайбы со слоем CdS,
 $T = 20^\circ\text{C}$, $f = 2000$ гц.

4. Зависимость R от температуры

Кривые, показывающие изменение R в зависимости от напряжения смещения при разных температурах, представлены на рис. 6. Здесь также, как и в статической вольтонной характеристике, наблюдалась аномалия, заключающаяся в перемене знака температурного коэффициента сопротивления при отрицательных напряжениях, больших, чем 4—5 в. Температура, при которой происходит перемена знака температурного коэффициента сопротивления, зависела от величины приложенного напряжения и толщины электронного полупроводника, нанесенного на селен возгонкой в вакууме. Чем больше напряжение, тем выше температура инверсии. С ростом толщины слоя электронного полупроводника точка перемены знака коэффициента сопротивления смещается в сторону низких температур и происходит при более больших напряжениях.

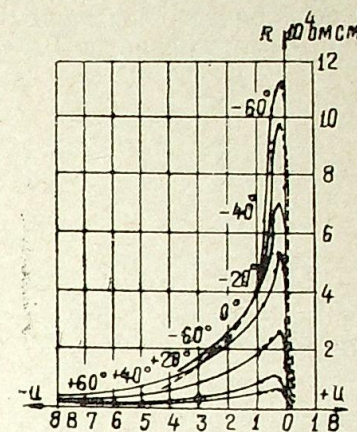


Рис. 6

Кривые зависимости R от U .
Шайба №1, $\varnothing$ 45 мм, $f = 2000$ гц,
со слоем CdS.

5. Зависимость r от напряжения смещения и температуры

В электрической эквивалентной схеме селенового выпрямляющего элемента через r было обозначено сопротивление, последовательно включенное к емкости, и сопротивление запирающего слоя. Оно отождествлялось с сопротивлением толщи селена. Опыты показывают, что r приблизительно характеризует сопротивление квазинейтрального слоя селена.

С увеличением толщины дырочного полупроводника в элементах для величины r получается большее значение. Оно уменьшается в случае большого содержания примеси галоидов в селене и обратно пропорционально рабочей площади шайб.

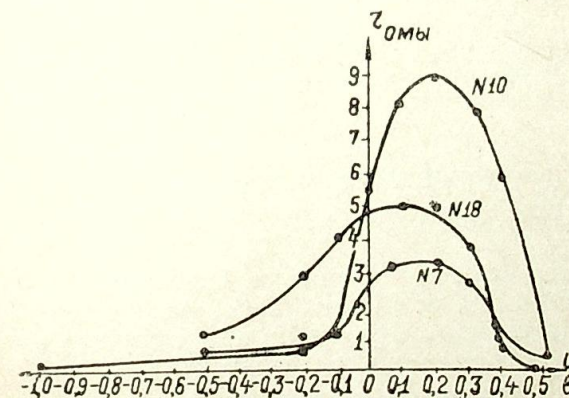


Рис. 7

Кривые зависимости r от смещающего напряжения

При отсутствии смещающего напряжения для селеновых выпрямителей величина r колеблется от 60 до 100 ом.см².

На рис. 7 приведены кривые зависимости r от приложенного смещающего напряжения для трех образцов с площадью 11,45 см² и искусственным слоем из сульфида кадмия. Как видно, все кривые

имеют одинаковый характер. При некотором значении положительного смещающего напряжения имеется максимум. Уменьшение r в прямом направлении, по-видимому, есть результат двух процессов. Во-первых, с ростом напряжения от 0,2 в увеличивается толщина квазистационарного слоя селена. Во-вторых, r включает в себя сопротивление переходного слоя между селеном и подкладкой, которое с ростом прямого напряжения до 0,2 в также растет, но при дальнейшем повышении напряжения уменьшается вследствие эффекта сильного поля в этом слое и приводит к спаданию кривой.

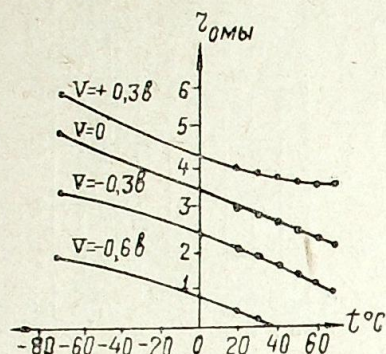


Рис. 8

Кривые зависимости r от температуры

Зависимость r от температуры, полученная на образце № 17 со слоем сульфида кадмия, показана на рис. 8, откуда видно, что как при отрицательных, так и положительных напряжениях смещения с повышением температуры сопротивление уменьшается приблизительно по прямой линии. Эти кривые подобны температурной зависимости падения прямого напряжения для образцов с примесью хлора, снятой на постоянном токе.

Для прямого сопротивления селеновых элементов из статической вольтамперной характеристики получается такая же температурная зависимость.

6. Утолщение слоя электронного полупроводника вследствие формовки

Процесс электрической и термической формовки селеновых выпрямляющих элементов без примесей, есть ничто иное, как усовершенствование слоя сульфида (в случае осерненных образцов) и селенида кадмия в отдельных местах поверхности верхнего электрода.

Исходя из этого, естественно думать об утолщении этого же слоя у заводских выпрямителей в результате электрической и термической формовки. Изучение данного вопроса в некоторой степени выяснит одну и ту же сущность электрической и термической формовки селеновых выпрямителей. С этой целью на мосту при $U=0$, $U_{\text{н}} = 15$ мв, $t = +20^\circ\text{C}$ и частоте 2000 гц были определены составляющие эквивалентной схемы до и после формовки. По величине емкости была вычислена толщина запирающего слоя. Результаты измерений приводятся в таблице, откуда видно, что в заводских элементах в результате электрической или термической формовки наряду с умень-

№ образца,	$I_{\text{п}}, \text{мА/см}^2$	$I_{\text{об}}, \text{мА/см}^2$	$C, \text{мкФ/см}^2$	$\lambda_{\text{с}}, 10^{-5} \text{ см}$	$R_{\text{об}}, \text{Ом}$	$R_{\text{п}}, \text{Ом}$
------------	--------------------------------	---------------------------------	----------------------	--	----------------------------	---------------------------

До формовки

50	50,5	8,3	0,0236	2,62	226	9
35	60	6,0	0,0698	0,89	1100	17
51	60	12	0,0205	3,02	630	7
21	60	12	0,0446	1,39	506	19
52	65	3	0,026	2,48	271	7,6

После формовки

50	35	0,2	0,0168	3,79	3016	9,5
35	30	0,6	0,009	6,9	10200	37
51	33	0,2	0,0124	5,00	3800	8
21	28	0,6	0,018	3,44	4920	27
52	30	0,2	0,0181	3,42	3428	8,5

До термоформовки

4	50	10	0,0371	1,65	551	9
53	53	10	0,0201	3,10	203	9
48	60	50	0,052	1,19	7840	14
54	55	15	0,050	1,22	195	10
46	50	6	0,04	1,55	6635	14
55	120	18	0,060	1,03	400	9,5
39	47	4,7	0,038	1,63	4960	17

После термоформовки

4	33	0,5	0,0193	3,21	997	11
53	45	1,1	0,016	3,88	600	10
48	2,6	0,2	0,0327	1,89	17920	20
54	50	2	0,177	0,35	1100	12
46	24	0,2	0,024	2,58	14980	20
55	100	3,3	0,043	1,44	1300	11
39	13	0,8	0,020	3,10	8740	30

шением прямого $I_{\text{п}}$ и обратного $I_{\text{об}}$ токов уменьшилась и емкость, следовательно, слой стал толстым, так как диэлектрическая проницаемость и площадь считаются постоянными.

Вследствие формовки резко увеличивается сопротивление запирающего слоя. Прямой и обратный токи измерялись при напряжениях, соответственно, 1 и 5 в.

Опыты показали, что такие изменения после формовки имеют место на всех 25 образцах, подвергнутых исследованию.

В элементах с искусственными слоями и золотыми верхними электродами до и после формовки подобных изменений $I_{\text{п}}$, $I_{\text{об}}$, C , R и r не происходит.

Из данных таблицы видно, что утолщение слоя электронного полупроводника при формовке доходит до двух раз, а R увеличивается в несколько десятков раз. Это можно объяснить тем, что при формовке утолщение слоя электронного полупроводника в основном идет в тех местах, где он совсем тонок, ибо там плотность формирующего тока, а следовательно, и температура достигают большого значения, что приводит к уравниванию толщины слоя.

Покрытие отдельных мест под верхним электродом электронными полупроводниками селенидом или сульфидом кадмия может более резко увеличить сопротивление R , чем эффективную толщину λ , которая определяется по емкости.

Таким образом, данные, приведенные в таблице, также подтверждают правильность мысли о механизме процесса формовки селеновых выпрямителей, как об образовании и усовершенствовании Д—Э перехода под верхним электродом, что было доказано нами электронографическими исследованиями.

Считаю приятным долгом выразить благодарность проф. Д. Н. Наследову за помощь в проведении работы и обсуждении результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Г. Б. Диссертация. Библиотека ЛФТИ АН СССР.
2. Лашкарев В. Е. ЖТФ, 11, 270, 1945.
3. Тучкевич В. М. ЖТФ, 17, 2, 1947.
4. Хениш. Полупроводниковые выпрямители. ИИЛ, М., 1951.

Г. Б. Абдуллаев

Селен дүзлэндиричилэринин комплекс мүгавимэтинин тэдгиги

ХҮЛАСЭ

Бу ишдэ селен дүзлэндиричилэринин эквивалент электрик схеми R мүгавимэтилэ шунтланмыш C тутумуна ардычыл r мүгавимэти гошулмуш кими көтүрүлүр. Бу параметрлерин температурадан, тэтбиг олунан кэркинлийин гиймэт вэ истигамэтиндэн асылылыгы тэдгиг олунур. Исбат олунур ки, ярымкечиричи дүзлэндиричилэр үчүн чыхарылмыш диффузия формуласы электрон-дешик кечиди олан селен дүзлэндиричилэринэ тэтбиг олуна билэр. Бу нөв ярымкечиричи дүзлэндиричилэрдэ баглайычы тэбэгэнин дүзлэндирмэ габилийэти онун эластиклийиндэн асылдыр. Ади селен дүзлэндиричилэри дэ экс истигамэтдэ тэтбиг олунан потенциаллар фэрги вэ баглайычы тэбэгэни бир нечэ дэфэ кенишлэндирир. Нэмин кэркинлийин 5 вольтдан артыг гиймэтлэриндэ баглайычы тэбэгэ сабит галыр. Нэмин тэбэгэнин харичи саһэнин гиймэт вэ истигамэтиндэн асылы олараг дэйишмэси дүзлэндирмэ механизмини тамамилэ изаһ этмэйэ имкан верир. Бурада заводдан алынмыш дүзлэндиричилэрлэ лабораторияда һазырланмыш дүзлэндиричилэрин характеристикаларынын эйни ганунла дэйишдийи көстэрилер. Исбат олунур ки, кэркинлийин кичик гиймэтлэриндэ дүзлэндиричилэрин тутуму температурадан даһа кэскин дэйишир. Бу һадисэнин сәбәби изаһ олунур. Эквивалент электрик схеминин парометрлэри олан C , R вэ r -ин температурадан, кэркинликдэн асылылыгы көстөрир ки, яхшы дүзлэндирмэ элдэ этмэк үчүн баглайычы тэбэгэнин инкишаф эдэ билмәси, йә'ни элаستي олмасы үчүн шэрт ярадылмалыдыр. Бунун үчүн дэ электрон-дешик кечидивин рел'ефи дүзкүн, селендэ исэ ашгарлар аз олмалыдыр. Селен дүзлэндиричилэрини формовка этдикдэ онларын тутумунун, баглайычы вэ бурахычы истигамэтлэрдэ мүгавимэтлэринин дэйишмәсинин сәбәблэриндэн бири орада назик электронлу ярымкечиричи тэбэгэнин галывлашмасы, икинчиси исэ электрон сәрһәддинин тәкмилләшмәсилэ изаһ олунур. Истилик вэ электрик формовкаларынын

эйни физики маһийәти гэт эдилер. Дүзлэндиричилэрин экс истигамэтдэ чох кэркинлик, дүз истигамэтдэ исэ бөйүк чэрәян бурахмасы үчүн нечэ гурулуша малик олмасы C , R вэ r кәмийәтлэринин кэркинликдэ асылылыгындан бир нәтичә кими алыныр. Йүксәк волтлу селен дүзлэндиричи алмаг үчүн онун электрон-дешик областында селенин тәмиз, алт электрод янында исэ ашгарлы олмасы әлверишлидир. Ашгар мәркәзлэри дүз вэ экс чэрәянларын температурадан асылылыгыны да дэйишдирир. Формовка нәтичәсиндэ бу шэрт мүййән дәрәчәдә яраныр. r -ин кэркинликдән асылы олараг дэйишмәсини бир нөв икинчи баглайычы тэбэгә әмәлә кәлмәсилә әләгәләндирилер. Тутумун кэркинлик вэ температурадан асылы олараг дэйишмәси баглайычы тэбэгәдә әмәлә кәлән гүввәтли саһә әффекти механизминин зәрбә ионизасиясындан ибарәт олдуғуну айдынлашдырыр.

Ю. А. БАБИЧ

ПРИТОК ЖИДКОСТИ В НЕСОВЕРШЕННОЙ ПО СТЕПЕНИ
ВСКРЫТИЯ СКВАЖИНЕ В ПЛАСТЕ АНИЗОТРОПНОМ
ПО МОЩНОСТИ

Предположим что пласт анизотропный по мощности вскрыт одиночной скважиной радиуса r_c на глубину $b = h - h_1$. В интервале от 0 до h_1 пласт имеет проницаемость κ_1 , а в интервале от h_1 до h — проницаемость κ_2 . Причем $\kappa_1 \leq \kappa_2$.

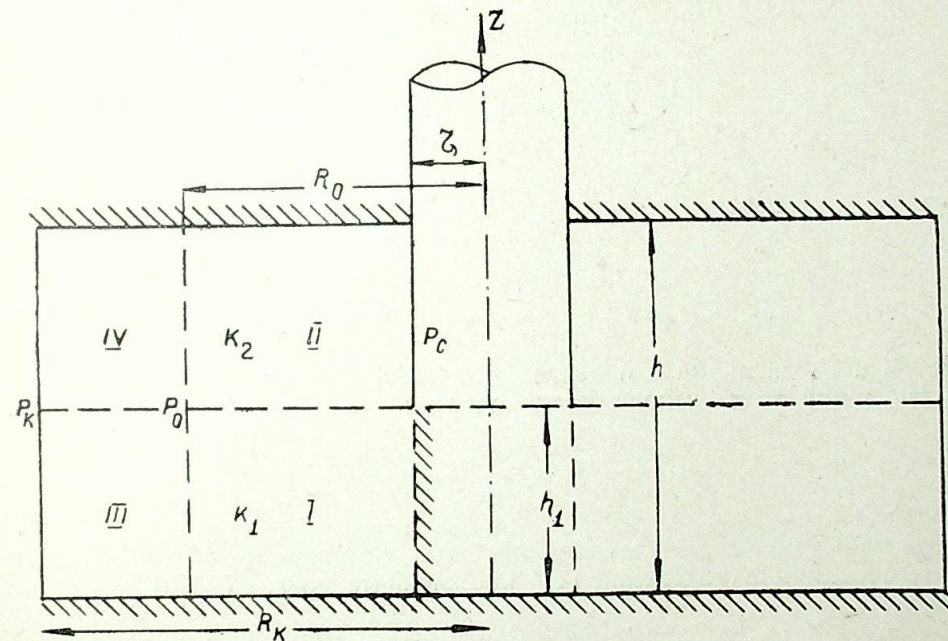


Рис. 1

На стенках скважины поддерживается постоянное давление p_c , на контуре питания — давление p_k (рис. 1). Требуется определить дебит скважины, несовершенной по степени вскрытия.

Данная задача была решена одним из приближенных методов А. М. Пирвердяном [6].

Задача о движении жидкости в гидродинамической системе, описанной выше, с заданием дебита скважин в точной постановке была решена М. Т. Аббасовым и К. Н. Джалиловым [1].

Ю. А. БАБИЧ

ПРИТОК ЖИДКОСТИ В НЕСОВЕРШЕННОЙ ПО СТЕПЕНИ ВСКРЫТИЯ СКВАЖИНЕ В ПЛАСТЕ АНИЗОТРОПНОМ ПО МОЩНОСТИ

Предположим что пласт анизотропный по мощности вскрыт одиночной скважиной радиуса r_c на глубину $b = h - h_1$. В интервале от 0 до h_1 пласт имеет проницаемость κ_1 , а в интервале от h_1 до h — проницаемость κ_2 . Причем $\kappa_1 \leq \kappa_2$.

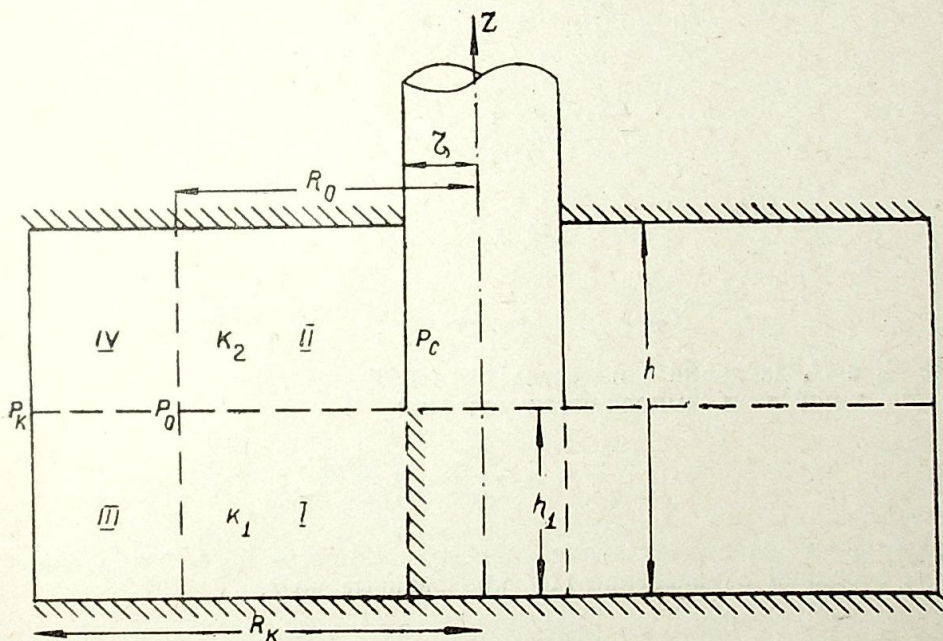


Рис. 1

На стенках скважины поддерживается постоянное давление p_c , на контуре питания — давление p_k (рис. 1). Требуется определить дебит скважины, несовершенной по степени вскрытия.

Данная задача была решена одним из приближенных методов А. М. Пирвердяном [6].

Задача о движении жидкости в гидродинамической системе, описанной выше, с заданием дебита скважин в точной постановке была решена М. Т. Аббасовым и К. Н. Джалиловым [1].

В данной статье предлагается приближенный способ решения задачи, основанный на осреднении в уравнении Лапласа некоторых членов. Впервые указанный способ в подземной гидравлике был применен М. Маскетом [5] и А. И. Мятневым [3].

Примем, что в интервале $R > r > R_0$, где $R_0 \gg h$, жидкость движется к скважине по закону плоского радиального течения, а влияние несовершенства скважины сказывается в непосредственной близости к скважине, в интервале $R_0 > r > r_c$ [7]. Разделим область фильтрации на четыре части (см. рис. 1). Среднее значение давления на прямой $r = R_0$ обозначим через P_0 . Давление в области $r_c \leq r \leq R_0$, $0 \leq z \leq h_1$ обозначим через P_1 , а давление в области $r_c \leq r \leq R_0$, $h_1 \leq z \leq h$ — через P_2 .

Будем иметь для областей I и II следующую систему дифференциальных уравнений с граничными условиями:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial P_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 P_1}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial P_1}{\partial r} = 0 \quad \text{при} \quad r = r_c$$

$$\frac{\partial P_1}{\partial z} = 0 \quad \text{при} \quad z = 0$$

$$\frac{\partial P_1}{\partial r} = \frac{\partial P_3}{\partial r} \quad \text{при} \quad r = R_0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial P_2}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2} = 0, \quad (2)$$

$$P_2 = P_c \quad \text{при} \quad r = r_c,$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial z} = 0 \quad \text{при} \quad z = h,$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial r} = \frac{\partial P_4}{\partial r} \quad \text{при} \quad r = R_0,$$

где P_3 и P_4 — давления в областях III и IV.

На линии $z = h_1$ выполняются условия:

$$\kappa_1 \frac{\partial P_1}{\partial z} = \kappa_2 \frac{\partial P_2}{\partial z} \quad \text{и} \quad P_1 = P_2.$$

Принимая в области I плавное изменение скорости и ее производной по r , осредним в уравнении (1) производные по r .

$$\frac{2}{R_0^2 - r_c^2} \int_{r_c}^{R_0} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial P_1}{\partial r} \right) dr = \frac{2R_0}{R_0^2 - r_c^2} \frac{\partial P_1}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = A_1$$

Уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d^2 P_1}{dz^2} = -A_1.$$

Решением его, принимая во внимание граничные условия, будет

$$P_1 = -A_1 \frac{z^2}{2} + C_2$$

В области же II, принимая плавное изменение производной скорости по z , можем в уравнении (2) осреднить производную по z

$$\frac{1}{h - h_1} \int_{h_1}^h \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2} dz = - \frac{1}{h - h_1} \frac{\partial P_2}{\partial z} \Big|_{z=h_1}.$$

Учтя, что на линии $z = h_1$ выполняется условие

$$\kappa_1 \frac{\partial P_1}{\partial z} = \kappa_2 \frac{\partial P_2}{\partial z},$$

мы найдем, что

$$\frac{\partial P_2}{\partial z} \Big|_{z=h_1} = - \frac{\kappa_1}{\kappa_2} A_1 h_1,$$

тогда $\frac{1}{h - h_1} \int_{h_1}^h \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2} dz = \frac{\kappa_1}{\kappa_2} \frac{A_1 h_1}{h - h_1} = A_2$ и уравнение (2) примет вид:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dP_2}{dr} \right) + A_2 = 0.$$

Решением его, с учетом граничных условий, является:

$$P_2 = -A_2 \frac{r^2}{4} + C_3 \ln r + C_4,$$

где

$$C_3 = \frac{4(P_0 - P_c) + A_2(R_0^2 - r_c^2)}{4 \ln \frac{R_0}{r_c}},$$

$$C_4 = \frac{A_2(r_c^2 \ln R_0 - R_0^2 \ln r_c) - 4(P_0 \ln r_c - P_c \ln R_0)}{4 \ln \frac{R_0}{r_c}}.$$

Для областей III и IV, следуя [3], соответственно имеем:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dP_3}{dr} \right) = 0, \quad \frac{d}{dr} \left(r \frac{dP_4}{dr} \right) = 0.$$

Решениями этих уравнений являются:

$$P_3 = \frac{P_k - P_0}{\ln \frac{R_k}{R_0}} \ln r + C_5, \quad P_4 = \frac{P_k - P_0}{\ln \frac{R_k}{R_0}} \ln r + C_6,$$

Из условия, что $\frac{\partial P_3}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = \frac{\partial P_1}{\partial r} \Big|_{r=R_0}$ мы найдем:

$$A_1 = \frac{4(P_k - P_0)}{(R_0^2 - r_c^2) \ln \frac{R_k}{R_0}},$$

поэтому

$$A_2 = \frac{2 \kappa_1 h_1 (P_k - P_0)}{\kappa_2 (h - h_1) (R_0^2 - r_c^2) \ln \frac{R_k}{R_0}}.$$

Используя соотношение

$$2\pi R_k \left[h_1 \kappa_1 \frac{\partial P_3}{\partial r} \Big|_{r=R_k} + (h-h_1) \kappa_2 \frac{\partial P_4}{\partial r} \Big|_{r=R_k} \right] = 2\pi r_c (h-h_1) \kappa_2 \frac{\partial P_2}{\partial r} \Big|_{r=r_c},$$

можем определить P_0 .

Дебит скважины определяется из выражения

$$Q = \frac{\kappa_2 2\pi r_c (h-h_1)}{\mu} \frac{\partial P_2}{\partial r} \Big|_{r=r_c},$$

т. е. $Q = \frac{2\pi \kappa_2 (h-h_1) (P_k - P_c) [\kappa_1 h_1 + \kappa_2 (h-h_1)]}{\mu \ln \frac{P_k}{r_c} \left[\kappa_2 (h-h_1) + \frac{\kappa_1 h_1 R_0^2 \ln \frac{R_0}{r_c}}{(R_0^2 - r_c^2) \ln \frac{R_k}{r_c}} - \frac{\kappa_1 h_1}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \right]}$ (3)

Если $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$, то дебит определится по формуле:

$$Q = \frac{2\pi \kappa (h-h_1) (P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{P_k}{r_c} \left[\frac{h-h_1}{h} + \frac{h_1}{h} \frac{R_0^2 \ln \frac{R_0}{r_c} - (R_0^2 - r_c^2)}{(R_0^2 - r_c^2) \ln \frac{R_k}{r_c}} \right]}$$
 (4)

В случае же $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$ и $h=0$, мы получим известную формулу дебита совершенной скважины:

$$Q = \frac{2\pi \kappa h (P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}} \quad (5)$$

Примем $R_0 = h$ и обозначим:

$$h-h_1 = b;$$

$$100 \frac{b}{h} = \delta;$$

$$\frac{h}{2r_c} = \alpha_1$$

где b — вскрытая мощность пласта.

При этом выражение (4) примет вид:

$$Q = \frac{2\pi \kappa h (P_k - P_c)}{\mu \left[\ln \frac{R_k}{r_c} + \frac{100-\delta}{\delta} \left(\frac{4\alpha^2 \ln 2\alpha}{4\alpha^2-1} - 1 \right) \right]} \quad (6)$$

Из (6) видно, что дополнительное сопротивление, учитывающее несовершенство скважины по степени вскрытия, выразится так:

$$C = \frac{100-\delta}{\delta} \left(\frac{4\alpha^2 \ln 2\alpha}{4\alpha^2-1} - 1 \right) \quad (7)$$

На рис. 2 показаны кривые (пунктирной линией) зависимости величин C от δ , подсчитанные по формуле (7) для случая $\alpha=5$ и $\alpha=160$. Для сравнения на этом же рис. 2 приведены аналогичные зависимости, взятые из графиков В. И. Щурова [2] (сплошные линии).

Из сравнения видно, что величины C , подсчитанные по (7) и взятые из графиков В. И. Щурова, отличаются друг от друга незначительно.

Для анализа формулы (6) была собрана электрическая модель вышеописанного нефтяного пласта, на которой определялись дебиты скважин, несовершенный по степени вскрытия.

На рис. 3 показана зависимость дебита от степени несовершенства скважины (сплошная линия), подсчитанная по (6) и полученная на собранной модели (пунктирная линия).

Как видно из рис. 3, наибольшая погрешность получается при степени вскрытия 12,5% от h . Она равна 16%, но уже при степени вскрытия 37,5% погрешность составляет 7,8% относительно показания модели.

О характере фильтрационного потока жидкости к несовершенным скважинам, различным по степени вскрытия, можно судить по линиям равных давлений, полученных на модели и показанных на рис. 4, 5 и 6.

Решая аналогичным методом задачу о движении жидкости в гидродинамической системе, показанной на рис. 7, получим формулу дебита эксплуатационной галереи в виде:

$$Q = \frac{2\kappa_2 (P_k - P_c) [\kappa_1 \bar{h} + \kappa_2 (h - \bar{h})]}{\mu [2\kappa_2 \bar{h} l + \kappa_1 l_0 (h - \bar{h})]} \quad (8)$$

где κ_1 и κ_2 — проницаемости.

h — длина галереи нагнетания;

$\bar{h}$ — длина галереи эксплуатации;

l — расстояние между галереями;

l_0 — расстояние, за которым поток можно считать одномерным;

$P_k - P_c$ — перепад давления между нагнетательной и эксплуатационной галереями.

На рис. 8 показана зависимость дебита галереи от величины $\bar{h}$, полученная для случаев $\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = 1$ и $\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = 0,4$ и подсчитанная по (8)

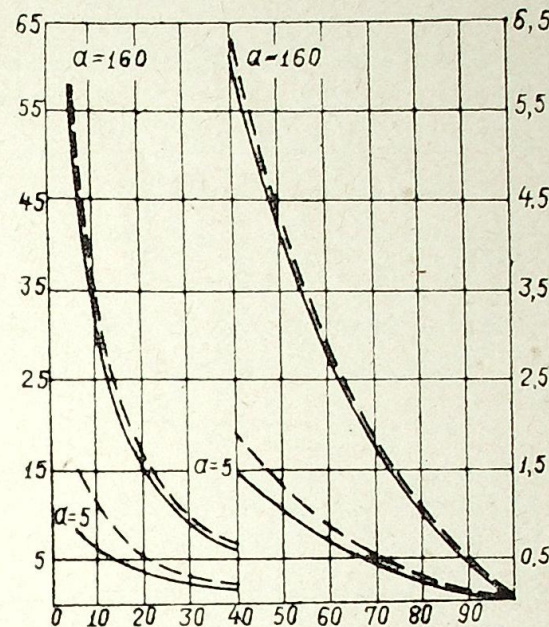


Рис. 2

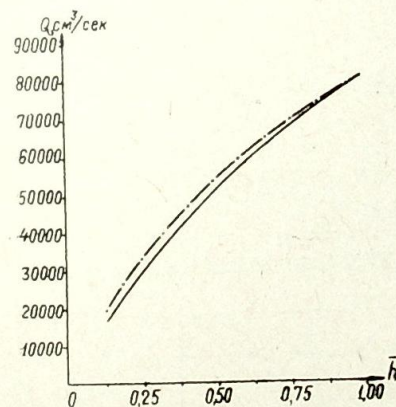


Рис. 3

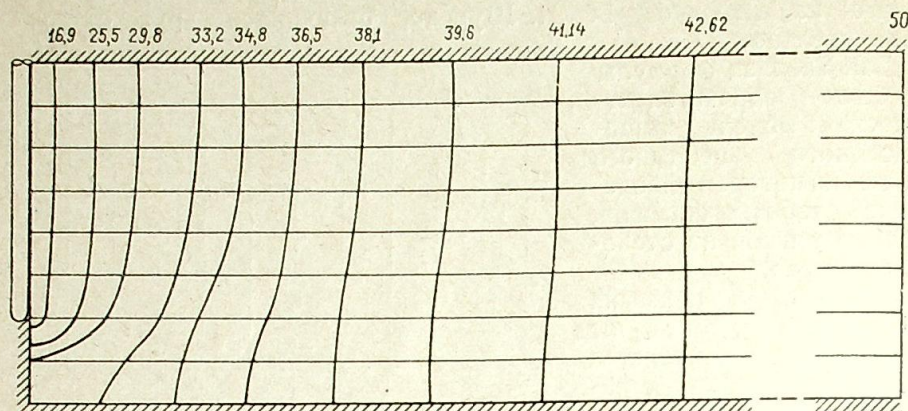


Рис. 4

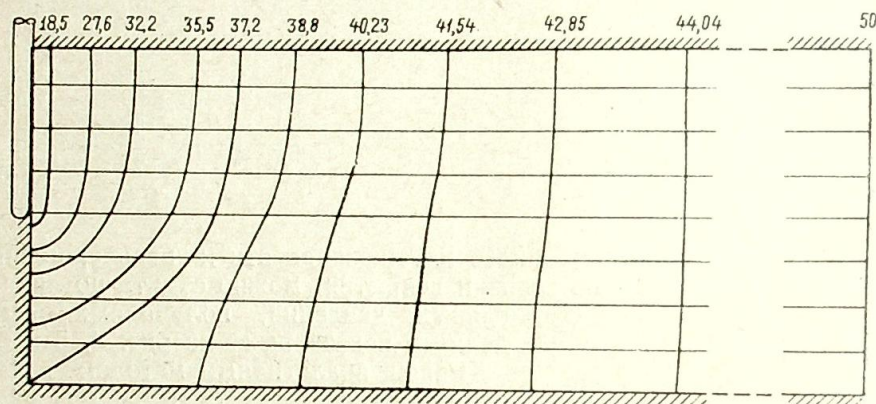


Рис. 5

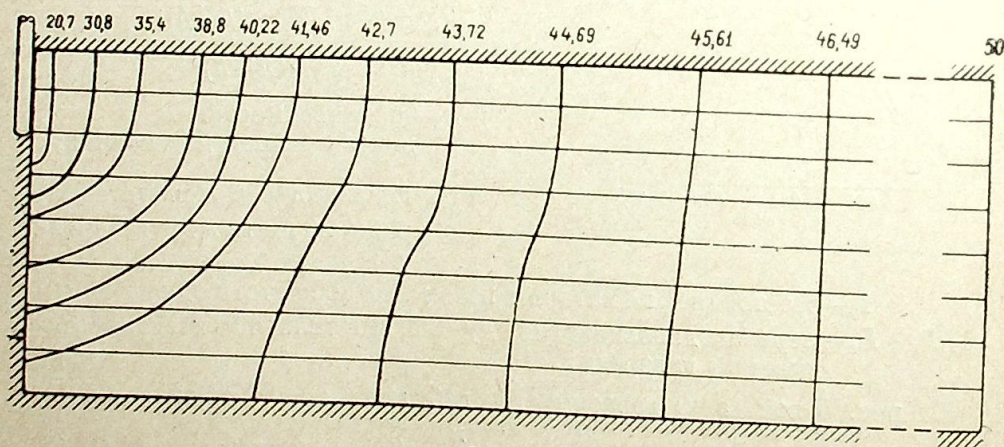


Рис. 6

(сплошные линии). Пунктирные кривые показывают аналогичную зависимость, полученную на модели ЭМ. Из рисунка видно, что кривая, построенная по (8) меньше отличается от кривой, полученной

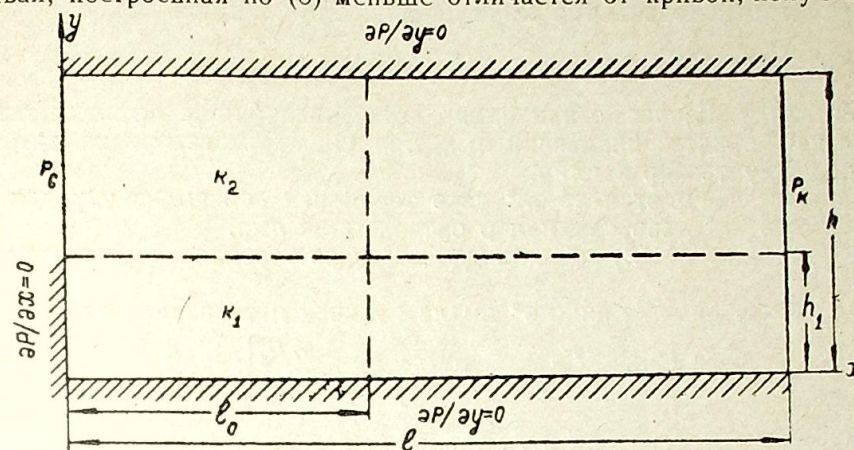


Рис. 7

на модели ЭМ для случая $\frac{k_1}{k_2} = 0,4$, чем для случая $\frac{k_1}{k_2} = 1$. Кроме того, чем меньше отношение $\frac{k_1}{k_2}$, тем больше кривая зависимости

выполаживается в прямую линию. Это объясняется тем, что для $k_1 < k_2$ вертикальные составляющие скоростей оказывают малое влияние на общий поток, который стремится к плоско-радиальному.

Из анализа вышеизложенного, можно сказать, что в большинстве случаев величину C , а также дебит несовершенной по степени вскрытия скважины можно подсчитывать по более простым формулам (3), (4) и (7).

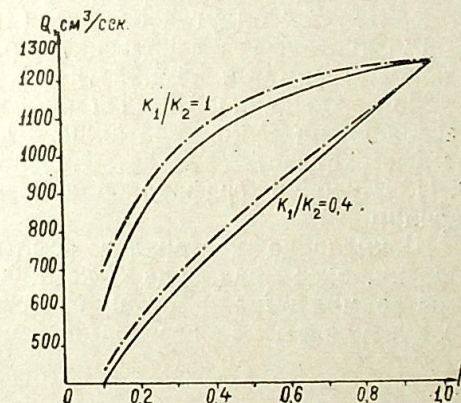


Рис. 8

ЛИТЕРАТУРА

1. Аббасов М. Т. и Джалилов К. М. О притоке жидкости к несовершенной скважине в неоднородном пласте. „ДАН Азерб. ССР“, т. XIII, №1, 1957.
2. Временная инструкция по исследованию и установлению технологического режима эксплуатации нефтяных скважин. Гостоптехиздат, 1954.
3. Мятлев А. И. Действие колодца в напорном бассейне подземных вод. „Изв. Туркм. ФАН СССР“, №3—4, 1946.
4. Мятлев А. И. Напорный комплекс подземных вод и колодцы. „Изв. АН СССР“, ОТН, №9, 1947.
5. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. Гостоптехиздат, 1949.
6. Пирвердян А. М. Приближенная формула для притока жидкости к несовершенной скважине. „Изв. АН СССР“, ОТН, № 4, 1957.
7. Чарный И. А. Подземная гидромеханика. ОГИЗ, Гостоптехиздат, 1948.

Ю. А. Бабич

Галынлығына көрә анизотроп олан лайда маеин ачылма дәрәчәсинә көрә тәкмил олмаян гуюа ахмасы

ХҮЛАСӘ

Мәгаләдә Лаплас тәнлийинин бә'зи һәдләринин орталашмасына әсасланан ералты гидравликанын бир сыра мәсәләләринин тәгриби һәли үсулу тәсвир әдилір.

I областда сүр'әтин вә „r“ үзрә төрәмәнин дәйишмәси үзүндән (1) тәнлийиндә „r“ үзрә төрәмәләр орталашдырылыр.

II областда исә (2) тәнлийиндә „Z“ үзрә төрәмәләр орталашдырылыр.

$Z = h$ хәттиндә „тикилмә“ әмәлә кәлмәси нәтичәсиндә вә

$$2\pi R_k \left[h_1 k_1 \frac{\partial P_3}{\partial r} \Big|_{r=R_k} + (h-h_1) k_2 \frac{\partial P_4}{\partial r} \Big|_{r=R_k} \right] = \\ = 2\pi r_c (h-h_1) k_2 \frac{\partial P_2}{\partial r} \Big|_{r=r_c}$$

нисбәтиндән истифадә әдәрәк биз $r = R_0$ хәттиндә P_0 кәмийәтини вә

$$Q = \frac{k_2 2\pi r_c (h-h_1)}{\mu} \frac{\partial P_2}{\partial r} \Big|_{r=r_c},$$

ифадәсиндән һасилат кәмийәтини тә'йин әдирик.

Һасилатын кәмийәти (3) ифадәсиндән тә'йин әдилір.

$k_1 = k_2 = k$ олдугда һасилат (4) дүстуру үзрә тә'йин әдилір.

Гуюнун ачылма дәрәчәсинә көрә гейри-тәкмиллийини нәзәрдә тутан әләвә мүгавимәтин кәмийәти (7) дүстуру илә ифадә олунур.

Мәгаләдә верилән 2-чи шәкилдә $\alpha=5$ вә $\alpha=160$ һалы үчүн (7) илә һесаблинмыш S кәмийәтинин δ -дән асылылығыны көстәрән әйриләр (гырыг хәтләр) верилір. Енә дә һәмин шәкилдә мүгайисә үчүн В. И. Шуровун графикләриндән көтүрүлмүш әйриләр (дүз хәтләр) верилір.

Шәкилләрдә көстәрилән асылылыглары мүгайисә әтмәклә демәк олар ки, әксәр һалларда S кәмийәтини, һабелә ачылма дәрәчәсинә көрә тәкмил олмаян гуюнун һасилатыны даһа садә олан (3), (4) вә (7) дүстурлары илә һесабламаг мүмкүндүр.

А. М. ГАСАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ФИЛЬТРАЦИИ
ГАЗИРОВАННОЙ НЕФТИ

В связи с эксплуатацией нефтяных месторождений исследование уравнений фильтрации газированной нефти имеет очень важное значение. Исследованием уравнений фильтрации газированной нефти занимались М. Д. Розенберг, З. И. Халилов и другие ученые. М. Д. Розенберг исследовал систему нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными, охватывающими уравнения фильтрации жидкостей, и при некоторых допущениях привел эту систему к системе обыкновенных дифференциальных уравнений; он занимался также линеаризацией уравнений фильтрации газированной нефти [3, 4].

З. И. Халилов исследовал общую задачу газированной нефти: разработал два численных метода (метод последовательных приближений и метод сеток) решения, указал критерий сходимости процесса и доказал устойчивость, существование и единственность решения поставленной задачи [5, 6].

По предложению З. И. Халилова в настоящей статье мы рассмотрим принцип максимума-минимума, а также единственности решения для задачи фильтрации газированной нефти.

Как известно, уравнения фильтрации газированной нефти в упрощенном виде пишутся:

$$\frac{s}{\mu_n} \nabla [p F_n(\rho) \nabla p] + \frac{\gamma_0}{\mu_r} \nabla [p F_r(\rho) \nabla p] = \frac{f}{k} \frac{\partial}{\partial t} \{p [(s - \gamma_0) \rho + \gamma_0]\}, \quad (1) \\ \frac{1}{\mu_n} \nabla [F_n(\rho) \nabla p] = \frac{f}{k} \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

В этих уравнениях неизвестными функциями являются давление $p(x, y, z, t)$ и насыщенность порового пространства нефтью (или просто насыщенность) $\rho(x, y, z, t)$. $s, \gamma_0, f, \mu_n, \mu_r$ — постоянные; $F_n(\rho)$ и $F_r(\rho)$ являются известными неотрицательными, монотонными функциями от насыщенности ρ , согласно экспериментам [1] Бийкофа и Ботсета, причем $F_n(\rho)$ монотонно возрастающая, а $F_r(\rho)$ монотонно убывающая функция от ρ .

Предположим, что $p(x, y, z, t)$ и $\rho(x, y, z, t)$ являются решением¹ системы (1) в объеме τ , ограниченной замкнутой поверхностью S в момент времени t .

¹ Под решением системы (1) подразумевается удовлетворяющая системе (1) пара непрерывных функций, имеющих непрерывные производные первого порядка по времени, второго порядка — по координатам.

При стационарном режиме фильтрации газированной нефти система (1) примет вид:

$$\frac{s}{\mu_n} \nabla [p F_n(\rho) \nabla p] + \frac{\gamma_0}{\mu_r} \nabla [p F_r(\rho) \nabla p] = 0, \quad \nabla [F_n(\rho) \nabla p] = 0 \quad (2)$$

Следует отметить, что в системе (1) p и ρ , вообще говоря, являются независимыми функциями, но в системе (2) они будут зависеть друг от друга. Поэтому для конкретного решения задачи, достаточно подчинить одному из них или p или ρ граничным условиям: при одновременном подчинении p и ρ граничным условиям, система (2), вообще говоря, не имеет решения.

Докажем следующие теоремы.

Теорема 1. *Всякое решение системы (2) p и ρ принимает наибольшее и наименьшее значение на границе S замкнутой ограниченной области τ , причем экстремальные точки для p и ρ совпадают.*

Доказательство. Как известно [1, 7], для стационарной фильтрации газированной нефти система (1) эквивалентна системе

$$p \left[\frac{F_r(\rho)}{F_n(\rho)} + \alpha \right] = c, \quad \nabla^2 H = \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0, \quad (3)$$

$$\text{где } H = \int_0^p F_n(\rho) d\rho;$$

α и c положительные постоянные.

Следовательно, решение стационарной задачи фильтрации газированной нефти приводится к решению уравнения Лапласа, т. е. к нахождению гармонической функции $H(x, y, z)$.

С другой стороны, известно [2], что гармоническая функция в замкнутой ограниченной области принимает свои наибольшие и наименьшие значения на границе.

Таким образом, наименьшее и наибольшее значения функций $H(x, y, z)$ находятся на поверхности (мы S предполагаем существование H в области определения p и ρ).

Теперь докажем, что давление p получает наименьшее и наибольшее значения на границе объема τ , т. е. на поверхности S . Действительно, дифференцируя выражение $H = \int_0^p F_n(\rho) d\rho$ по p , получим:

$$\frac{\partial H}{\partial p} = F_n(\rho) \geq 0. \quad (4)$$

Неравенства (4) показывают, что H является неубывающей функцией p , и так как H принимает наибольшее и наименьшее значения на поверхности S , то давление p тоже должно принимать свои наибольшее и наименьшее значения на S .

Теперь докажем, что насыщенность ρ тоже получает наибольшее и наименьшее значения на поверхности S , причем, соответственно в тех точках, где давление получило свои наибольшее и наименьшее значения.

Действительно, из первого уравнения системы (3) находим:

$$p = \frac{c}{\frac{F_r(\rho)}{F_n(\rho)} + \alpha} = \frac{c}{\psi(\rho) + \alpha}, \quad (5)$$

где

$$\psi(\rho) = \frac{F_r(\rho)}{F_n(\rho)}.$$

Дифференцируя (5) по ρ , имеем:

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} = - \frac{c \psi'(\rho)}{[\psi(\rho) + \alpha]^2}. \quad (6)$$

Заметим, что $\psi(\rho)$ убывающая функция от ρ , так как $F_r(\rho)$ убывающая функция, а $F_n(\rho)$ возрастающая функция от ρ ; следовательно, $\psi'(\rho) \leq 0$. Учитывая, что $\psi'(\rho) \leq 0$, из (6) получаем:

$$\frac{\partial p}{\partial \rho} \geq 0 \quad (7)$$

Неравенство (7) показывает, что давление p является неубывающей функцией ρ , и так как по доказанному p принимает свои наибольшее и наименьшее значения на S , то ρ тоже должно принимать свои наибольшее и наименьшее значения на S , причем экстремальные точки для p и ρ совпадут.

Этим теорема (1) полностью доказана.

Эта теорема дает достаточное представление о распределении давления и насыщенности в пласте.

Теперь предположим, что требуется решить систему (2) при граничных условиях

$$p|_S = p(S) \quad (2')$$

или

$$\rho|_S = \rho(S). \quad (2'')$$

Для этой задачи верна следующая теорема.

Теорема 2. *Решение системы (2) при условии (2') или (2'') единственно.*

Действительно, решения этих задач сводится к решению уравнения Лапласа $\Delta^2 H = 0$ при граничном условии $H|_S = H(S)$, которое имеет единственное решение.

Докажем, что при этом p также определяется единственно.

Действительно, так как $\frac{\partial H}{\partial p} \geq 0$, то H является монотонной функцией p , следовательно, они взаимно однозначны.

Поэтому, если H определяется единственно, то p тоже должно определяться единственно. Наконец, так как давление p является монотонным функциям насыщенности ρ и определяется единственно, то ρ тоже определяется единственно. Этим теорема 2 доказана.

Мы доказали теоремы о максимуме-минимуме и единственности решения стационарных задач фильтрации газированной нефти.

Следует отметить, что эти теоремы будут верны и при кусочно-стационарных задачах фильтрации газированной нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лопук Б. Б. Об установившемся движении газированной жидкости в простой среде. „Нефтяная промышленность СССР“, № 5, 1941.
2. Петровский И. Г. Лекции об уравнениях с частными производными. М., 1953.
3. Розенберг М. Д. Об одной нелинейной системе дифференциальных уравнений в частных производных, имеющей приложение в теории фильтрации. „ДАН СССР“, т. 89, № 2, 1953.
4. Розенберг М. Д. О фильтрации многофазных (газированных) жидкостей. Труды Всесоюзного нефтегазового научно-исследовательского института, в. 6, 1954.
5. Халилов З. И. Решение общих задач о не установившихся фильтрациях газированной жидкости. „ДАН Азерб. ССР“, т. X, № 8, 1954.
6. Халилов З. И. Решение задач фильтрации газированной нефти методом сеток. „ДАН Азерб. ССР“, т. XII, № 4, 1956.
7. Христианович А. С. О движении газированной жидкости в пористых породах. „Прикл. матем. и мех.“, т. V, № 2, 1941.

Ә. М. Һәсәнов

Газлы нефтин сүзүлмә тәнликләринин тәдгиги

ХУЛАСӘ

Мәгаләдә газлы нефтин тәнликләри тәдгиг әдилір: (2) тәнлийи үчүн максимум-минимум принципи вә (2'), (2''), яхуд (2), (2'') мәсәләси үчүн Һәллин еканәлийи өйрәнилір.

Ашағыдакы теоремләр исбат олунур:

Теорем 1. (2) тәнлийинин һәр бир Һәлли p вә p ән бөйүк вә ән кичик гиймәтләрини мәһдуд гапалы областын сәрһәддиндә алыр, p вә p үчүн экстремал нөгтәләр үст-үстә дүшүр.

Теорем 2. (2) тәнлийинин (2'), яхуд (2'') сәрһәд шәрти дахилиндә Һәлли p вә p еканәдилір.

Бу теоремләри исбат әтмәк үчүн А. С. Христановичин ишиндән, һормоник вә монотон функцияларын хассәләриндән истифадә олунур.

Биринчи теорем тәзийг вә доюмлуғун лайда пайланмасы һаггында кифайәт гәдәр тәсәввүр верир.

Х. М. ХАЛИЛОВ

О КРИТИЧЕСКИХ ПЛОТНОСТЯХ ВЕЩЕСТВ

Наличие точного значения критической плотности вещества ρ_k имеет исключительно важное значение, ибо этот параметр фигурирует во многих математических соотношениях. Однако в литературе зачастую приводятся не особенно точные значения ρ_k , найденные косвенно по правилу так называемого прямолинейного диаметра, т. е. путем экстраполяции данных о сосуществующих ортобарических плотностях или об удельных объемах жидкости и пара.

Результаты, найденные для ρ_k этими двумя путями, различаются между собой до 4 % и более [2]. Заранее зная величину ρ_k , можно уточнить аномальные значения ортобарических плотностей сосуществующих фаз вещества в критической области, где экспериментальное изучение их сопряжено со значительными затруднениями.

Нами установлено наличие линейной зависимости между величиной ρ_k и плотностью жидкости ρ_l , соответствующей ее температуре кипения при атмосферном давлении. Эта закономерность графически иллюстрируется на прилагаемом рисунке для ряда веществ, взятых произвольно. Найденное правило выражается соотношением

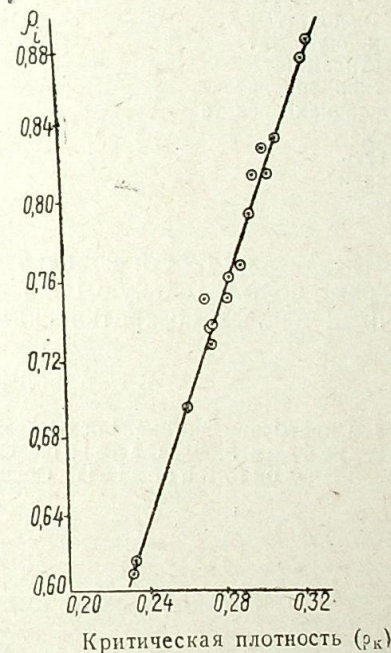
$$\rho_k = 0,3422 \rho_l + 0,0236.$$

В таблице приведены экспериментальные значения ρ_k , а также сохраняются значения ρ_k , вычисленные по предлагаемой здесь формуле.

Из приведенных данных видно, что значения ρ_k являются более точными, чем ρ_k , найденные по правилу прямолинейного диаметра.

Экспериментальные данные о критической плотности вещества заимствованы из справочников [1, 3], а некоторые из них, обозначенные звездочками, измерены нами.

Очевидно, что предлагаемое правило исключит затруднения, связанные с наличием некоторых аномалий в данных о сосуществующих



Вещество	P_i	$P_{к,}$ эксперим.	$P_{к,}$ вычислен.
Пентан	0,609	0,232	0,232
Гексан	0,613	0,234	0,233
Гептан	0,614	0,234	0,234
Октан	0,613	0,233	0,233
Циклогексан	0,721	0,270	0,270
Изооктан	0,602	0,236*	0,230
Бензол	0,814	0,304	0,302
Толуол	0,780	0,292	0,291
Ксилол (о)	0,770	0,290*	0,287
Хлорбензол	1,981	0,365	0,359
Йодбензол	1,565	0,581	0,559
Метиловый спирт	0,751	0,272	0,281
Этиловый спирт	0,736	0,275	0,275
Пропиловый спирт	0,735	0,273	0,274
Этиловый эфир	0,695	0,262	0,261
Этилформиат	0,875	0,323	0,323
Пропилформиат	0,833	0,309	0,309
Метилацетат	0,884	0,325	0,326
Этилацетат	0,828	0,308	0,307
Пропилацетат	0,794	0,296	0,295
Бутилацетат	0,761	0,284*	0,284
Этилпропионат	0,797	0,297	0,296
Масляная кислота	0,817	0,304	0,303
Вода	0,958	0,4*	0,352
Ртуть	12,741	4—5	4,384
Селен	3,097	—	1,083

плотностях жидкости и пара в области критических температур и сыграет положительную роль в ликвидации большого пробела в справочных данных по критическим параметрам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник химика. Госхимиздат, т. 1 (1951), стр. 735.
2. Benson S. W., Capeland C, S. J. Chem. Phys., 23, № 6, 1880 (1955).
3. Landolt—Bornstein. Chem. Phys., tab., (1927).

Х. М. Хэлилов

Маддэлэрин критик сыхлыгы наггында

ХҮЛАСЭ

Мэгалэдэ критик сыхлыгла нормал тэзийгдэ гайнама температурасына уйгун кэлэн сыхлыг арасында асылылыг верилмишдир.

Мөвчүд эдэбийятда бир чох маддэлэр үчүн критик сыхлыгын дэ-гиг гиймэти йохдур. Бу ондан ирэли кэлир ки, критик сыхлыгын тэч-рүби тэ'йининдэ бир чох чэтинликлэрэ раст кэлинир. Тэклиф олуна-ассылылыгын көмэйилэ алынан гиймэтлэр эдэбийятдакы критик сыхлыг гиймэтлэриндэн фэрглэнмир вэ бу асылылыг индийэ кими тапылма-мыш бир чох критик сыхлыг гиймэтлэрини тапмаға имкан ярадыр.

Верилэн ганунауйгунлуг бу саһэдэ эдэбийятда олан чатышмамаз-лыглары арадан галдыра билэр.

Л. М. МИРЗОЕВА

ВЫВОД ОБОБЩЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ (ГАЗ—ТВЕРДОЕ ВЕЩЕСТВО)

Вопрос теплоотдачи запыленных потоков до последних нескольких лет исследовался, в основном, только применительно к котельным топкам, где доминирующее значение имеет излучение запыленных потоков в топочном пространстве.

Процесс теплоотдачи между охлаждающейся стенкой и движущейся смесью газа, пара или воздуха со взвешенными в них твердыми частицами достаточно высокой температуры и с большой концентрацией твердых частиц, что имеет место в нефтеперерабатывающей промышленности, практически представляется очень сложным и до сего времени почти не исследовался.

В частности, при «флюидном» каталитическом процессе имеет место теплообмен двухфазных систем в кипящем слое—реакционные и регенерационные камеры, и сквозных потоков в транспортных линиях и аппаратах для снятия излишков тепла.

Эти процессы являются, в основном, результатом сложного теплообмена. Здесь происходит отдача тепла конвекцией от несущей фазы к тепловоспринимающей стенке, конвективный теплообмен между несущей фазой и твердыми частицами, теплоотдача излучением частиц. Каждое из этих явлений представляет самостоятельный вопрос и исследовалось как теоретически, так и экспериментально, так как каждое из них играет доминирующую роль в том или ином процессе нашей промышленной практики.

За счет отказа от рассмотрения явлений, не могущих иметь существенной роли для того или иного процесса, исследования сводятся к рассмотрению одного из всех явлений.

В соответствии с промышленными условиями работы теплообменных аппаратов нашей нефтеперерабатывающей промышленности, возникает необходимость исследования теплообмена сквозного двухфазного потока (газ—твердое вещество) при различных условиях движения его, что представляет как практический, так и определенный теоретический интерес, ввиду слабой освещенности данного вопроса в отечественной и зарубежной литературе.

Нами исследовался процесс теплообмена, связанный с движением двухфазного потока—газ—твердое вещество—в вертикальной трубе снизу вверх.

Для составления уравнений, характеризующих исследуемый процесс теплообмена, рассмотрим сначала основные условия его протекания.

Газ, двигаясь со скоростью C , увлекает за собой твердые частицы,

сообщая им некоторую скорость W , меньшую C . Наличие относительного движения между газом и твердыми частицами, зависящего от свойств несущей фазы, размера и формы частиц и других факторов, способствует турбулизации потока и повышению коэффициента теплоотдачи.

В идеальном случае—при невесомости частиц их скорость была бы равна скорости газа. В действительности же, при движении двухфазного потока в вертикальной трубе снизу вверх на частицу будет действовать сила тяжести, значительно большая силы тяжести газа, вследствие чего будет иметь место относительное движение твердых частиц в движущемся потоке, обуславливающее наличие скольжения между фазами.

Кроме того, скорость воздуха как при ламинарном, так и при турбулентном движении у стенок всегда меньше, чем по оси трубы. В струях воздуха с различными линейными скоростями твердые частицы будут иметь также различные скорости, а следовательно, и различные концентрации.

Неравномерное распределение скоростей по сечению обуславливает неравномерное распределение сил, действующих на частицу, а следовательно, и вращающего момента, создаваемого этими силами.

Вращение частицы может происходить также вследствие удара частиц о частицы, ударов их о стенку. Под влиянием этого вращения частицы будут двигаться из струи с большей скоростью в струю с меньшей, что приводит к перераспределению концентраций по сечению трубы, а именно, увеличению концентрации у стенок и быстрому износу стенок труб.

В соответствии с условиями работы теплообменных устройств нефтеперерабатывающей промышленности, мы здесь встречаемся со случаем теплообмена, когда двухфазный поток имеет небольшие скорости, довольно большие концентрации частиц в потоке и достаточно высокие температуры. При этих условиях, тепло отдается от потока стенке теплопроводностью, лучеиспусканием и конвекцией. Одновременно будет происходить теплообмен между газом и взвешенными в нем твердыми частицами.

Наличие большой концентрации твердых частиц в потоке и малого диаметра их (следовательно, большой поверхности соприкосновения с воздухом при одной и той же концентрации) способствуют установлению незначительного температурного градиента между частицами и воздухом. Поэтому для практических расчетов температуры воздуха и частиц можно принимать равными (пренебрегая разностью их), хотя общее количество тепла, передаваемого от воздуха к частицам, будет составлять конечную величину, которой нельзя пренебречь.

§ 1. СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПРОЦЕСС ТЕПЛОБМЕНА В ДВУХФАЗНОМ ПОТОКЕ

Согласно изложенному выше и учитывая, что наши исследования проводились при не столь высоких температурах, в рассматриваемом случае движения двухфазного потока в трубе, происходит отдача тепла к стенке конвекцией с теплопроводностью.

Одновременно происходит теплообмен между газом и твердыми частицами. При этих условиях процесс теплообмена сопровождается гидродинамическими явлениями, вследствие чего исследуемый нами процесс будет описываться следующей системой уравнений.

1. Уравнение неразрывности

Для составления уравнения неразрывности рассматриваем в движущемся потоке смеси газа со взвешенными в нем твердыми частицами некоторый фиксированный объем V , ограниченный поверхностью S . Берем на этой поверхности элемент dS с внешней нормалью $\vec{n}$ (рис. 1).

Так как отсутствует переход одной фазы в другую, то уравнение неразрывности распадается на два и для каждой фазы представляется в следующем виде [6]:

$$\frac{\partial[(1-\varphi)\rho]}{\partial\tau} + \text{div}[(1-\varphi)\rho\vec{C}] = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\tau} + \text{div}(\varphi\vec{W}) = 0, \quad (2)$$

где φ —объем твердой фазы в 1 м³ смеси;

ρ —плотность газа;

$\vec{C}$ —вектор скорости газовой фазы;

$\vec{W}$ —вектор скорости частицы твердой фазы;

τ —время.

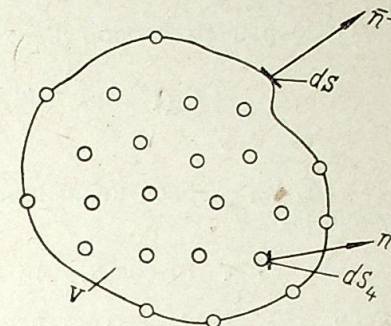


Рис. 1

2. Уравнение движения

Так как в исследуемом случае мы имеем дело с двухфазной системой, каждая фаза которой движется с различными скоростями, то целесообразно составить уравнения для каждой фазы в отдельности, объединив их условиями взаимодействия на поверхности раздела фаз.

а) Уравнение движения газовой фазы. Для вывода уравнения движения газовой фазы выделим в потоке смеси некоторый объем V , ограниченный поверхностью S , считая что взятый объем не соприкасается с ограничивающей поток поверхностью. На данный объем будут действовать массовые и поверхностные силы.

Под поверхностными понимаются силы, действующие на поверхности рассматриваемого объема и силы, действующие внутри его—на поверхности раздела фаз, вследствие наличия относительного движения твердых частиц, содержащихся в выделенном объеме газа (рис. 2).

Исключая из рассмотрения твердые частицы, уравнение движения газовой фазы, согласно принципу Даламбера, для системы будет иметь вид:

$$\int_V \left(\vec{g} - \frac{d\vec{C}}{d\tau} \right) \rho(1-\varphi) dV + \int_S \vec{P}_n(1-\varphi) dS + \sum_{i=1}^N \int_{S_i} \vec{P}_{n_i} dS_i = 0, \quad (3)$$

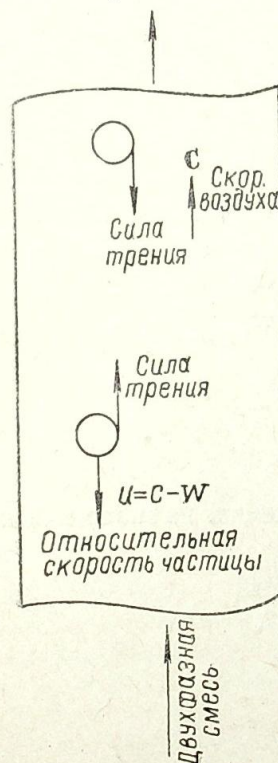


Рис. 2

где $\bar{g}$ —вектор массовой силы, оснесенный к единице массы;
 ψ —доля сечения, занимаемая твердой фазой;
 N —число частиц твердой фазы в рассматриваемом объеме;
 $\bar{P}_n$ —тензор напряжения сил, действующих на поверхности выделенного объема газа;
 $\bar{P}_{nq}$ —то же на поверхности твердой фазы (поверхность раздела фаз).

Преобразуем второй член равенства (3):

$$\int_S \bar{P}_n (1-\psi) ds = \int_V \left(\frac{d\bar{P}_x}{dx} + \frac{d\bar{P}_y}{dy} + \frac{d\bar{P}_z}{dz} \right) (1-\psi) dV, \quad (3a)$$

где $\bar{P}_x, \bar{P}_y, \bar{P}_z$ —составляющие тензора напряжения $\bar{P}_n$.
 Далее имеем

$$\bar{P}_{nq} = \bar{P}_{xq} \cos(\bar{n}, \bar{x}_q) + \bar{P}_{yq} \cos(\bar{n}, \bar{y}_q) + \bar{P}_{zq} \cos(\bar{n}, \bar{z}_q). \quad (3b)$$

Здесь $\bar{P}_{xq}, \bar{P}_{yq}, \bar{P}_{zq}$ —составляющие тензора напряжения $\bar{P}_{nq}$.

Подставляя выражения (3a) и (3b) в уравнение (3) и проектируя полученное уравнение на направление оси x , получим:¹

$$\begin{aligned} & \int_V g_x \rho (1-\psi) dV - \int_V \left(\frac{\partial C_x}{\partial \tau} + C_x \frac{\partial C_x}{\partial x} + C_y \frac{\partial C_x}{\partial y} + C_z \frac{\partial C_x}{\partial z} \right) \rho (1-\psi) dV + \\ & + \int_V \left(\frac{\partial P_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial P_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial P_{zx}}{\partial z} \right) (1-\psi) dV + \sum_{q=1}^N \int_{S_q} [P_{xxq} \cos(\bar{n}, \bar{x}_q) + \\ & + P_{yxq} \cos(\bar{n}, \bar{y}_q) + P_{zxq} \cos(\bar{n}, \bar{z}_q)] ds_q = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где P_{xx}, P_{yx}, P_{zx} —проекции на ось x составляющих тензора напряжений $\bar{P}_n$, которые определяются из выражений:

$$\begin{aligned} P_{xx} &= -P - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \bar{C} + 2\mu \frac{\partial C_x}{\partial x} \\ P_{yx} &= \mu \left(\frac{\partial C_x}{\partial y} + \frac{\partial C_y}{\partial x} \right), \\ P_{zx} &= \mu \left(\frac{\partial C_x}{\partial z} + \frac{\partial C_z}{\partial x} \right); \end{aligned}$$

$P_{xxq}, P_{yxq}, P_{zxq}$ —то же для тензора $\bar{P}_{nq}$, определяемых из аналогичных выражений:

$$\begin{aligned} P_{xxq} &= -P - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \bar{U} + 2\mu \frac{\partial U_x}{\partial x_q}, \\ P_{yxq} &= \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial y_q} + \frac{\partial U_y}{\partial x_q} \right), \\ P_{zxq} &= \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial z_q} + \frac{\partial U_z}{\partial x_q} \right). \end{aligned}$$

¹ Для краткости не приводим аналогичных уравнений движения в направлении осей y и z .

Принимая форму твердых частиц шарообразной с радиусом r_q можем написать:

$$\cos(\bar{n}, \bar{x}_q) = \frac{x'_q}{r_q}, \quad \cos(\bar{n}, \bar{y}_q) = \frac{y'_q}{r_q}, \quad \cos(\bar{n}, \bar{z}_q) = \frac{z'_q}{r_q},$$

где x'_q, y'_q, z'_q —координаты центра площадки ds_q , взятой на поверхности твердой частицы, относительно системы координат x', y', z' с началом в центре этой частицы.

Подставляя приведенные выше выражения в уравнение (4) получим:

$$\begin{aligned} & \int_V \left(\frac{\partial C_x}{\partial \tau} + C_x \frac{\partial C_x}{\partial x} + C_y \frac{\partial C_x}{\partial y} + C_z \frac{\partial C_x}{\partial z} \right) \rho (1-\psi) dV = \int_V g_x \rho (1-\psi) dV + \\ & + \int_V \left[-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial (\operatorname{div} \bar{C})}{\partial x} + \mu \Delta \bar{C}_x \right] (1-\psi) dV + \\ & + \sum_{q=1}^N \int_{S_q} \left(-P - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \bar{U} + 2\mu \frac{\partial U_x}{\partial x_q} \right) \frac{x'_q}{r_q} ds_q + \\ & + \sum_{q=1}^N \int_{S_q} \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial y_q} + \frac{\partial U_y}{\partial x_q} \right) \frac{y'_q}{r_q} ds_q + \sum_{q=1}^N \int_{S_q} \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial z_q} + \frac{\partial U_z}{\partial x_q} \right) \frac{z'_q}{r_q} ds_q. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $\bar{U}$ —относительная скорость движения твердой фазы, которая равна:

$$\bar{U} = \bar{C} - \bar{W} \quad (6)$$

б) Уравнение движения частицы. Пренебрегая, ввиду малости, величиной архимедовой силы и предполагая, что частицы не взаимодействуют между собой, рассмотрим отдельно движущуюся в газовой потоке частицу. На нее будут действовать силы веса и поверхностные силы.

На основании принципа Даламбера, уравнение движения твердой частицы будет иметь вид:

$$\int_{V_q} \left(\bar{y} - \frac{d\bar{W}}{d\tau} \right) \rho_q dV_q - \int_{S_q} \bar{P}_{nq} ds_q = 0, \quad (7)$$

где $\bar{W}$ —вектор скорости частицы твердой фазы;
 ρ_q —ее плотность;

V_q и S_q —объем и поверхность одной частицы.

С учетом соотношения (3a), уравнение (7) примет вид:

$$\begin{aligned} & \int_{V_q} \left(\bar{g} - \frac{d\bar{W}}{d\tau} \right) \rho_q dV_q = \int_{S_q} [\bar{P}_{xq} \cos(\bar{n}, \bar{x}_q) + \bar{P}_{yq} \cos(\bar{n}, \bar{y}_q) + \\ & + \bar{P}_{zq} \cos(\bar{n}, \bar{z}_q)] ds_q. \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнение (8), будучи развернутым и спроектированным, на ось x , примет следующий вид:²

$$\begin{aligned} & \int_{V_q} \left(\frac{\partial W_x}{\partial \tau} + W_x \frac{\partial W_x}{\partial x_q} + W_y \frac{\partial W_x}{\partial y_q} + W_z \frac{\partial W_x}{\partial z_q} \right) \rho_q dV_q = \\ & = \int_{V_q} \rho_q g_x dV_q - \int_{V_q} \left(-P - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \bar{U} + 2\mu \frac{\partial U_x}{\partial x_q} \right) \frac{x'_q}{r_q} ds_q - \\ & - \int_{S_q} \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial y_q} + \frac{\partial U_y}{\partial x_q} \right) \frac{y'_q}{r_q} ds_q + \int_{S_q} \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial z_q} + \frac{\partial U_z}{\partial x_q} \right) \frac{z'_q}{r_q} ds_q. \quad (9) \end{aligned}$$

в) *Условия на поверхности раздела фаз.* В каждой точке на поверхности раздела фаз должно существовать равенство:

$$C = W.$$

Силы, действующие на поверхности раздела твердой и газовой фаз, являются общими, определяющими их движение. Указанные силы являясь силами взаимодействия между фазами, согласно равенству действия противодействию, равны по величине и противоположны по направлению. Следовательно, так как частицы газовой фазы движутся быстрее твердых, то силы взаимодействия будут тормозить их движение. Движение же твердых частиц обусловлено именно этими силами. Поэтому, последние в уравнениях движения газовой и твердой фаз фигурируют с различными знаками.

Условие равенства скоростей на поверхности раздела фаз, дает нам дополнительное уравнение. Для этого, в уравнение движения газовой фазы, составленное для частиц, соприкасающихся с поверхностью твердой фазы, где относительные скорости равны нулю, подставляем вместо координат x, y, z точек указанной газовой фазы, координаты точек поверхности твердой частицы x_q, y_q, z_q . Тогда скорости точек обеих фаз будут равны.

Следовательно, будем иметь:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial U_x}{\partial \tau} + W_x \frac{\partial W_x}{\partial x_q} + W_y \frac{\partial W_x}{\partial y_q} + W_z \frac{\partial W_x}{\partial z_q} \right) \rho = g_x \rho - \frac{\partial P}{\partial x_q} + \\ & + \frac{1}{3} \mu \frac{\operatorname{div} W}{\partial x_q} + \mu \Delta W_x. \quad (10) \end{aligned}$$

3. Уравнение энергии

Выделяя в движущемся потоке некоторый объем V смеси газа со взвешенными частицами, составляем баланс изменения энергии в нем в единицу времени.

Указанное уравнение выводится на основе закона сохранения энергии. Изменение энергии рассматриваемого объема происходит вследствие отдачи тепла окружающей среде посредством теплопроводности. При этом происходит изменение температуры смеси и потеря давления, которые вызывают изменение потенциальной и кинетической энергии потока. Кроме этого, изменение энергии рассматриваемого объема происходит также вследствие работы, совершаемой массовыми и поверхностными силами.

² Для краткости не приводим аналогичных уравнений движения в направлении осей y и z .

Что же касается сил трения, входящих в состав поверхностных сил, то на преодоление их смесью совершается определенная работа, которая превращается в эквивалентном количестве в теплоту и усваивается ею.

Следовательно, в уравнение баланса изменения энергии влияние сил трения не учитывается, так как теплота и работа трения в указанное уравнение входят с различными знаками, будучи равными по величине.

Согласно закону сохранения энергии, можно написать

$$\frac{d\pi}{d\tau} + \frac{d\kappa}{d\tau} = \frac{dq_\lambda}{d\tau} + \frac{dq_m}{d\tau}. \quad (11)$$

Здесь $\frac{d\pi}{d\tau}$ и $\frac{d\kappa}{d\tau}$ — изменение потенциальной и кинетической энергий в единицу времени;

$\frac{dq_\lambda}{d\tau}$ — количество тепла, подведенное к выделенному объему V из окружающей среды за единицу времени теплопроводностью;

$\frac{dq_m}{d\tau}$ — работа массовых сил.

Подставляя в формулу (11) выражения всех видов энергии, получим:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\tau} [(1 - \varphi) \rho g C_p T + \varphi \rho_q g C_{p_q} T_q] + \frac{d}{d\tau} A \left[(1 - \varphi) \rho \frac{\bar{C} \cdot \bar{C}}{2} + \right. \\ & \left. + \varphi \rho_q \frac{\bar{W} \cdot \bar{W}}{2} \right] = \operatorname{div} [(1 - \varphi) \lambda \operatorname{grad} T] + \operatorname{div} (\varphi \lambda_q \operatorname{grad} T_q) + \\ & + A [(1 - \varphi) \rho \bar{g} \bar{C} + \varphi \rho_q \bar{g} \bar{W}]^3. \quad (12) \end{aligned}$$

4. Уравнение состояния газа

Учитывая, что рассматриваемый процесс теплообмена протекает при незначительном изменении давления и температуры, в качестве уравнения состояния для газовой фазы с достаточной для практики точностью можно принять уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$Pv = RT,$$

где v — удельный объем газовой фазы.

Выражая удельный объем через плотность, данное уравнение можно представить в виде:

$$\frac{P}{\rho g} = RT \quad (13)$$

§ 2. УСЛОВИЯ ОДНОЗНАЧНОСТИ

Приведенные выше дифференциальные уравнения теплообмена, происходящего в движущемся двухфазном потоке (газ—твердое вещество) описывают целый класс явлений. Для выделения из этого

³ Работа сил давления, действующих по нормали к внешней поверхности выделенного объема смеси, входит в выражение потенциальной энергии.

класса конкретного явления, т. е. исследуемый нами процесс, необходимо формулировать индивидуальные особенности его, которые, как уже отмечалось выше, называются условиями однозначности.

В условиях однозначности входят:

1) геометрические свойства системы: длина испытуемого участка трубы L , диаметр d ;

2) физические константы тел существенные для рассматриваемого явления: зависимость их от температуры и давления или их численные значения, если они постоянны:

$$\begin{aligned}\rho &= \rho(T, P), & \rho_q &= \rho_q(T), \\ C_p &= C_p(T, P), & C_{p,q} &= C_{p,q}(T) \\ \mu &= \mu(T, P) & \lambda_q &= \lambda_q(T); \\ \lambda &= \lambda(T, P),\end{aligned}$$

3) условия протекания процессов на границах системы:

а) распределение скоростей по сечению на входе в испытуемый участок трубы при $x=0$:

$$\begin{aligned}C_x &= C_0, & W_x &= W_0 \\ C_y &= C_z = 0, & W_y &= W_z = 0;\end{aligned}$$

б) распределение скоростей у стенки по всей длине трубы при значениях координат точек на поверхности стенки, удовлетворяющих уравнению этой поверхности ($y^2 + z^2 = r^2$):

$$\begin{aligned}C_x &= C_y = C_z = 0, \\ W_x &= W_y = W_z = 0;\end{aligned}$$

в) распределение температур по сечению на входе.

Температуры частиц и воздуха одинаковы по сечению и равны между собой при $x=0$:

$$T_q = T = T_0;$$

г) распределение температур у стенки при значениях x, y, z , удовлетворяющих уравнению поверхности $y^2 + z^2 = r^2$; $x = x_{ст}$,

$$T_q = T = T_{ст};$$

д) условия протекания процесса на границе системы с тепловоспринимающей стенкой, которые формулируются следующим образом:

$$q = \alpha(T - T_{ст}) = -\lambda \text{grad } T, \quad (14)$$

где q —тепловой поток.

С другой стороны, выражая q через тепло, отданное твердой и газообразной фазами, будем иметь:

$$\alpha(T - T_{ст})dF = C_p f C_\gamma (1 - \varphi) dT + C_{p,q} f W_{\gamma,q} \varphi dT_q; \quad (15)$$

4) временные условия, характеризующие особенности протекания процесса во времени.

Так как рассматривается стационарный процесс, то временные условия отпадают.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ

Решая систему приведенных выше дифференциальных уравнений совместно с условиями однозначности, можно было бы получить уравнение, описывающее рассматриваемый процесс теплообмена. Однако современная математика не в состоянии дать общее решение указанных уравнений. Возможны лишь частные решения при целом ряде

упрощающих предпосылок, которые дают результаты, не соответствующие действительным условиям.

Таким образом, аналитический метод излучения явлений теплоотдачи не приводит к желаемым результатам. Поэтому мы вынуждены прибегнуть к экспериментальному исследованию интересующего нас процесса.

Во избежание проведения многочисленных опытов в каждом отдельном конкретном случае, с целью изучения интересующего нас явления, при постановке опытов руководствуемся теорией подобия.

Согласно этой теории, выделяя из целого класса явлений, описываемых уравнениями (1), (2), (5), (9), (10) и (12) группу явлений, характеризующихся подобными условиями однозначности, получаем группу явлений, подобных между собой.

Таким образом, ввиду невозможности аналитического решения приведенной выше системы уравнений, из этих уравнений и условий однозначности определяем критерии подобия, а затем результаты опытов обрабатываем в виде зависимости между найденными критериями. Полученная зависимость называется критерияльным или обобщенным уравнением теплообмена, которое справедливо для всех явлений, протекающих в геометрически и физически подобных системах.

Для получения критериев подобия из уравнений (1), (2), (5), (9), (10), (12), (14) и (15) приводим последние к безразмерной форме.

Для этого введем безразмерные координаты типа:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{x}{l_0}, & \bar{W} &= \frac{W}{W_0}, \\ \bar{y} &= \frac{y}{l_0}, & \bar{C} &= \frac{C}{C_0} \text{ и т. д.} \\ \bar{z} &= \frac{z}{l_0},\end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned}x &= \bar{x} l_0 & W &= \bar{W} W_0 \\ y &= \bar{y} l_0 & C &= \bar{C} C_0 \text{ и т. д.} \\ z &= \bar{z} l_0\end{aligned} \quad (16)$$

Здесь индекс 0 означает, что величина относится к некоторой масштабной точке системы.

С учетом соотношений (16), уравнения (1) и (2) примут вид:

$$\frac{\rho_0}{\tau_0} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial \bar{\tau}} - \frac{\varphi_0 \rho_0}{\tau_0} \left(\frac{\partial \bar{\varphi} \bar{\rho}}{\partial \bar{\tau}} \right) + \frac{\rho_0 C_0}{l_0} \text{div}(\bar{\rho} \bar{C}) - \frac{\varphi_0 \rho_0 C_0}{l_0} \text{div}(\bar{\varphi} \bar{\rho} \bar{C}) = 0, \quad (17)$$

$$\frac{\varphi_0}{\tau_0} \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{\tau}} + \frac{\varphi_0 W_0}{l_0} \text{div}(\bar{\varphi} \bar{W}) = 0. \quad (18)$$

Разделив уравнения (17) и (18) на размерные части первых членов получаем их в безразмерной форме:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial \bar{\tau}} - \varphi_0 \frac{\partial (\bar{\varphi} \bar{\rho})}{\partial \bar{\tau}} + \frac{C_0 \tau_0}{l_0} \text{div}(\bar{\rho} \bar{C}) - \frac{\varphi_0 C_0 \tau_0}{l_0} \text{div}(\bar{\varphi} \bar{\rho} \bar{C}) = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{\tau}} + \frac{W_0 \tau_0}{l_0} \text{div}(\bar{\varphi} \bar{W}) = 0 \quad (20)$$

Условие тождественности безразмерных полей одноименных величин для двух или группы подобных явлений диктует тождественность безразмерных комплексов

$$\varphi_0 = \text{idem}, \frac{C_0 \tau_0}{l_0} = \text{idem}, \frac{W_0 \tau_0}{l_0} = \text{idem}.$$

Таким образом, уравнение неразрывности рассматриваемой смеси дает критерии:

$$H_0 = \frac{C_0 \tau_0}{l_0}, \quad \varphi_0, \frac{C_0}{W_0}$$

и может быть представлено в следующей критериальной форме:

$$f_1 \left(\varphi_0, H_0, \frac{C}{W_0} \right) = 0. \quad (21)$$

Для получения критериев подобия из уравнений (5), (6), (9), (10), (12), (14) и (15) поступаем аналогичным образом.

В результате получаем систему критериальных уравнений, совместное решение которых дает нам следующие два независимых уравнения:

$$F_1 \left(\varphi_0, Nu, Re, Pr, \frac{l_0}{L}, \frac{\lambda_{q_0}}{\lambda_0}, \frac{\rho_{q_0} l_{q_0}}{\rho_0 l_0} \right) = 0, \quad (22)$$

$$F_2 \left(\varphi_0, Eu, Re, Pr, \frac{l_0}{L}, \frac{\rho_{q_0} l_{q_0}}{\rho_0 l_0} \right) = 0. \quad (23)$$

Так как определяемыми являются критерии Nu и Eu и учитывая, что при обработке опытных данных в качестве масштаба линейных размеров берем диаметр трубы d и для твердых частиц d_q , окончательно получаем:

$$Nu = \psi_1 \left(\varphi_0, Re, Pr, \frac{d}{L}, \frac{\lambda_q}{\lambda}, \frac{\rho_q d_q}{\rho d} \right), \quad (24)$$

$$Eu = \psi_2 \left(\varphi_0, Re, Pr, \frac{d}{L}, \frac{\rho_q d_q}{\rho d} \right), \quad (25)$$

Здесь $Re = \frac{\rho C d}{\lambda}$ — критерий Рейнольдса;

$Pr = \frac{\rho g C_p}{\lambda}$ — критерий Прандтля;

$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ — критерий Нуссельта;

$Eu = \frac{\Delta P}{\rho C^2}$ — критерий Эйлера;

ΔP — перепад давления на испытуемом участке трубы.

Уравнение (24) используем для обработки опытных данных по конвективному теплообмену рассматриваемой двухфазной системы, а уравнение (25) — для изучения гидродинамических потерь, характеризующихся критерием Eu .

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочин Н. Е., Кибель И. А. и Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика. ОГИЗ, 1948.
2. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена, 1954.
3. Мазанько М. Г. Конвективный теплообмен в трубах при движении газа с взвешенной твердой фазой. Диссертация. ЭМИН АН СССР, 1951.

4. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, 1956.
5. Обрядчиков С. И., Марушкин Б. К. Исследование процесса с подвижным катализатором. НХ, № 11, 1946.
6. Телетов С. Г. Уравнения гидромеханики двухфазных жидкостей. Докт. диссертация. ЭМИН АН СССР, 1948.

Л. М. Мирзоева

Ики фазалы гарышыгын (газ-бэрк маддэ) истиликвермэ просесинин тэдгиги

ХҮЛАСЭ

Сон заманлара гэдэр тозландырылмыш ахынын истиликвермэ мөсөлөсү ялныз газан очагларына айд эдилэрэк тэдгиг олунмушдур. Бурада тозландырылмыш ахынын шүа бурахмасы даһа эсас рол ойнайыр.

„Флюид“ каталистик просеслэрин „гайнаан“ тэбэгэлэриндэ — реакция вэ рекенерасия камераларында, ахынында — нэглийат хэтлэриндэ вэ артыг истилийи көтүрэн апаратларда ики фазалы системлэрин истиликвермэ просеси мөвчуддур. Бу просес мүрэккэб истилик кечирмэнин нэтичэсидир.

Тэдгиг этдийимиз ики фазалы ахынын шагули боруда һэрэкэти заманы истилийин дивара верилмэси конвексия вэ истиликкечирмэ йолу илэ олур¹. Эйни заманда бэрк һиссэлэрлэ газ арасында истилик дэийшмэси баш верир.

Тэдгиг этдийимиз ахына айд олан тэнликлэри охшарлыг нэзэрий-йэси методу илэ тэдгиг эдэрэк, бу гэрара кэлирик ки, үмүми һалда ики фазалы (газ-бэрк маддэ) системинин конвектив истиликвермэ просеси ашағыда көстэрилэн критерик тэнликлэ тэсвир олунур.

$$Nu = f_1 \left(\varphi, Re, Pr, \frac{d}{L}, \frac{\lambda}{\lambda_h}, \frac{\rho_h d_h}{\rho d} \right)$$

Эйлер критериясына эсасэн тэ'йин эдилэн гидродинамик иткилэр ашағыдакы тэнликлэ характеризэ олунур:

$$Eu = f_2 \left(\varphi, Re, Pr, \frac{d}{L}, \frac{\rho_h d_h}{\rho d} \right)$$

Бурада:

d_h — бэрк фазанын һиссэлэринин диаметри (м-лэ);

d — борунун диаметри (м-лэ);

L — борунун узунлуғу (м-лэ);

λ, λ_h — уйғун оларак, газын вэ бэрк фазанын истиликкечирмэ

эмсаллары $\left(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{саат} \cdot ^\circ \text{C}} \right)$;

ρ, ρ_h — газ вэ бэрк фазанын сыхлыгы $\left(\frac{\text{кг} \cdot \text{санит}^2}{\text{м}^4} \right)$;

¹ Тэчрүбэ чох да юхары температурада апарылмадығындан шүа бурахманы нэзэрэ алмырыг.

$Re = \frac{\rho C d}{\mu}$ — Рейнольдс критериясы

$Pr = \frac{\mu g C_p}{\lambda}$ — Прандтл критериясы

$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ — Нуссельт критериясы

$Eu = \frac{\Delta P}{C^2}$ — Эйлер критериясы;

α — гарышығын истиликвермә әмсалы $\left(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{саат} \cdot \text{°C}} \right)$;

ΔP — борунун тәдгиг эдилән һиссәсиндә тәзйигин дүшмәси (кг/м^2) ;

C — һәммин һиссәдә газын сүр'әти (м/санийә) ;

μ — динамики өзлүлүк әмсалы $\left(\frac{\text{кг/санийә}}{\text{м}^2} \right)$.

А. А. ПАРШИНА

К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ В ТРУБНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Трубная промышленность — одна из отраслей черной металлургии, имеющая большое народнохозяйственное значение. Контроль геометрических размеров труб и автоматизация сортировки их в процессе практики, а также в готовом состоянии является важнейшей задачей, выдвигаемой трубопрокатным производством, так как в этой области до сих пор применяется ручной труд.

В настоящее время к точности размеров труб предъявляются все повышающиеся требования, которые делают автоматический контроль размеров трубопроката совершенно необходимым. Автоматизация прокатного производства не только облегчает труд оператора, но также повышает точность контроля и сокращает количество обслуживающего персонала.

Необходимо отметить, что в области автоматизации контроля геометрических размеров проката в отечественном прокатном производстве имеются определенные успехи. Разработаны приборы для измерения диаметра проволоки, толщины и ширины полосы проката и др.

За рубежом этот вопрос также получил некоторое разрешение. Так, например, для непрерывного измерения размеров профиля в процессе прокатки применяются измерители толщины и ширины, использующие излучение рентгеновских лучей и радиоактивных изотопов [7]. Наличие таких измерительных приборов позволило разработать системы автоматического регулирования профиля в процессе прокатки.

Характерным для современного развития отечественной измерительной техники является широкое применение электроизмерительной аппаратуры. К этой группе приборов следует отнести приборы для измерения толщины, основанные на методе изменения электрического сопротивления толщины материала при ее отклонении от стандарта, и приборы для измерения толщины, основанные на электромагнитном методе [5].

Кроме того, современная измерительная техника характеризуется применением косвенных методов измерения величин, в основе которых лежит измерение не непосредственно интересующих нас величин, а каких-либо сопутствующих им факторов.

Часто эти методы оказываются удобнее прямых вследствие лучшей доступности измеряемого фактора и, что особенно существенно,

вследствие возможности использования средств автоматизации в процессе измерения.

Наряду с другими, сейчас начинают применяться методы, основанные на измерении параметров звукового поля, специально создаваемого у измеряемого объекта [1]. В СССР, а также некоторыми зарубежными фирмами выпускаются резонансные толщиномеры, основанные на вышеуказанном принципе.

Для измерения геометрических размеров прокатываемого металла могут быть применены оптические методы, основанные на определении угла, под которым видно измеряемое тело (по его контурам). На этом принципе работает фотоэлектрический микрометр [4].

И, наконец, у нас ведутся работы по автоматизации контроля размеров прокатываемого металла, основанного на измерении поглощения излучений рентгеновых лучей и радиоактивных изотопов [2, 4, 5, 6].

Начато внедрение приборов автоматического контроля толщины металла в процессе холодной прокатки.

Перед специалистами в области автоматизации трубного производства стоят несколько ближайших задач:

1) разработка ряда дополнительных теоретических положений для определения параметров, на основе которых может быть осуществлено автоматическое регулирование технологического процесса производства труб;

2) разработка прибора для автоматического измерения геометрических размеров труб в потоке производства, а также в готовом состоянии с использованием одного из новейших методов замера.

Создание автоматически действующих приборов, непрерывно контролирующих размеры металла в процессе прокатки, а также в готовом состоянии, открывает большие перспективы в трубопрокатном производстве.

Из всех видов проката стальные бесшовные трубы имеют наиболее широкое и разнообразное применение в различных отраслях народного хозяйства.

В зависимости от условий эксплуатации к трубам предъявляют самые разнообразные требования. Основное из них — прочность, зависящая от качества металла и способа изготовления трубы. Другим важнейшим требованием к трубам является точность размеров, которая обуславливается соответствующими допусками. Допуск устанавливают по диаметру, толщине стенки, овальности, разностенности, длине и кривизне. Величины допусков предусмотрены техническими условиями и стандартами (ГОСТ).

В настоящее время стандартом установлено три класса точности размеров труб: обычная, повышенная и высокая. Допустимые отклонения диаметров и толщин стенок некоторых видов горячекатаных труб приведены в табл. 1.

Производство бесшовных труб горячей прокаткой на установке с автоматическим станом включает в себя пять основных агрегатов: нагревательную печь, прошивной стан, автоматический стан, рилинг-машину и калибровочный стан.

Технологический процесс состоит из следующих основных операций: подготовки металла к прокатке, нагрева заготовки, прошивки заготовок в гильзы, раскатки гильз в трубы, обкатки труб и калибровки труб по наружному диаметру.

Таким образом, калибровочный стан является последним звеном технологического процесса, где труба приобретает, наконец, диаметр, соответствующий заданному.

Таблица 1

Допуски размеров горячекатаных труб

Виды труб	ГОСТ	Наружный диаметр труб, мм	Допуски на наружный диаметр			Допуски по толщине стенки		
			при наружном диаметре, мм	обычная точность, %	повышенная точность, %	при толщине стенки, мм	обычная точность, %	повышенная точность, %
Для трубопроводов и деталей конструкции разного назначения	301—50	57÷426	57÷219	+1,25 —1,0	±1	3,5—20	+12,5 —1,5	±12,5
			219÷426	+1,25 —1,5	+1,5 —1,0	20—45	±12,5	±10,0
Котельные	3099—46	57÷152		±1,0			+12,5 —15	
Паропроводные	3100—46	114—426	до 159 159 >	±1,0 +1,25 —1,5			+12,5 —15	
Нефтепроводные	3101—46	146—426		+1,25 —1,0			±20	+12,5 —15

Поэтому после калибровочного стана обычно контролируются точность диаметра труб и толщина стенки, проверяя их на пробках-темплетах, отрезаемых обычно автогенными резаками через каждые 40—60 труб.

Вторично трубы на инспекционном столе подвергаются тщательному технологическому контролю, включающему следующие операции:

1) внешний и внутренний осмотр, выявляющий состояние наружной и внутренней поверхности труб (при контроле поверхности трубы осматривают невооруженным глазом);

2) замер внешнего диаметра трубы мерительной скобой—шаблоном и толщины стенки—микрометром;

3) замер длины труб;

4) определение кривизны труб (обычно допускается кривизна 1,5 мм на 1 м);

5) определение марки стали труб и т. д.

Таким образом, все операции по замеру диаметра труб и толщины стенки как после калибровочного стана, так и на инспекционном столе производятся в ручную, при помощи мерительных скоб-шаблонов и обычных микрометров.

Такой способ выявления брака является достаточно трудоемким и часто по недосмотру оператора не обеспечивает необходимой точности, занимая при этом на инспекционном столе большое количество контролеров (5—6 человек).

В литературе по производству стальных труб указывается, что выход годных труб после отделки при прокате на установках с автоматическим станом достигает 88—99% [3].

Полученные нами в 1957 г. данные наблюдений за готовой продукцией проанализированы на инспекционных столах (станы 140 и 250 Бакинского трубопрокатного завода) и представлены в таблицах 2, 3, 4.

Таблица 2

Дата	Процент дефектных труб
Стан 140	
8/III	11
11/III	22
25/III	18
27/III	12
29/III	3
Стан 250	
4/III	26
11/III	21
15/III	14
28/III	4
29/III	12
30/III	10

Из табл. 2 видно, что процент дефектных труб до отделки, взятый по станам 140 и 250, колеблется в ряде случаев от 3 до 26%. Этот брак вызывается неправильной настройкой станом, несоблюдением

режима нагрева, или применения некачественного инструмента. Кроме того он может произойти вследствие неудовлетворительного качества исходной заготовки.

Табл. 3 и 4 дают наглядную расшифровку отдельных видов брака: отклонение от номинала по диаметру, толщине стенки и разностенности.

Таблица 3

Дата	Смена	Стан 140, брак, %			Общий брак, %
		диаметр	стенка	разностенность	
8/III	A	4	4	5	13
	B	5	1,5	—	6,5
	B	3,35	2,8	4,6	10,75
11/III	A	0,06	10,1	9,7	20
	B	11,2	6,7	12,7	30,6
	B	—	12	—	12
25/III	A	0,9	10	17	27,9
	B	1,8	2,1	7,7	11,6
	B	—	0,9	3	4
27/III	A	—	—	20	20
	B	—	—	—	—
	B	—	—	50	50
29/III	A	—	5,7	1,3	7
	B	—	—	—	—
	B	—	1,7	—	1,7

Из данных таблиц следует, что процент дефектности труб по диаметру (станы 140 и 250) колеблется в пределах 5, процент брака по толщине стенки уже значительно выше и доходит до 13,4 и брак по разностенности колеблется в широких пределах—от 2 до 50%.

Таким образом, число бракованных труб в некоторых случаях доходит до 50%. Это требует особого подхода к вопросу контроля за качеством труб в процессе прокатки.

Естественно, автоматический контроль геометрических размеров труб в процессе проката, улучшая качество продукции, позволит значительно уменьшить брак. Наряду с этим, автоматический контроль и браковка сократят также количество обслуживающего персонала, не требуя при этом крупных капитальных затрат.

По сравнению со стоимостью прокатного оборудования, стоимость средств автоматизации в прокатном производстве составит сравнительно небольшой процент и может окупиться в короткие сроки.

Из всех геометрических размеров труб наибольший интерес представляет замер толщины проката и, в частности, толщины стенок и диаметра металлических труб.

Таблица 4

Дата	Смена	Стан 250, брак, %			Общий брак, %
		диаметр	стенка	разностенность	
4/III	A	—	1,6	24,0	25,6
	B	—	—	—	—
	B	—	—	—	—
11/III	A	—	—	—	—
	B	—	3,6	19,0	22,6
	B	—	—	—	—
15/III	A	—	7,0	—	7,0
	B	—	6,2	12,0	18,2
	B	—	0,1	14,6	14,7
28/III	A	0,2	5,0	—	5,2
	B	—	5,0	—	5,0
	B	—	2,0	—	2,0
29/III	A	0,7	13,4	8,0	22,1
	B	0,2	5,0	1,8	7,0
	B	0,1	0,4	—	0,5
30/III	A	3,6	8,0	2,8	14,4
	B	5	4,0	2,0	11,0
	B	3	5,0	7,0	15,0

В настоящее время существуют два основных метода измерения толщин:

контактный и безконтактный.

Рассмотрим некоторые приборы, относящиеся к этим основным методам измерения размеров труб.

1. Ультразвуковое измерение толщин

Измерение геометрических размеров тел можно произвести акустическим методом. За последнее время метод измерения ультразвуком довольно прочно вошел в измерительную технику.

Любая механическая система возбуждается колебанием на основной частоте и на последовательности высших гармонических составляющих. Если толщина пластинки d и длина волны возбуждаемого колебания в материале пластинки λ или его частота f удовлетворяют соотношению:

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{2} = \frac{k \cdot c_i}{2f_k},$$

где c_i — скорость распространения продольных звуковых волн в материале пластинки, а

k — порядок возбуждаемых собственных колебаний, то вызывается резонанс пластинки.

Скорость распространения чистых продольных и чистых поперечных волн в бесконечно протяженной среде в теории упругости выражается формулой:

$$c_i = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}}, \quad (1)$$

где E — модуль Юнга;

σ — коэффициент поперечного сжатия;

ρ — плотность.

Если выразить скорость звука c_i через модуль упругости E и коэффициент поперечного сжатия σ , то выражение (1) примет вид:

$$d = \frac{k}{2f_k} \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}}. \quad (2)$$

Таким образом можно найти толщину пластины, зная данные, входящие в формулу (2), т. е. скорость звука пластины или ее упругие постоянные.

На этом принципе созданы резонансные толщиномеры, выпускаемые в СССР и за рубежом (США, Западная Германия, Франция и др.).

Схема резонансного толщимера-дефектоскопа, выпускаемого в СССР, приведена на рис. 1.

От лампового генератора токов высокой частоты получает питание пьезопреобразователь Π , который будучи приложен (через слой контактной смазки) к контролируемому изделию $И$, возбуждает в нем УЗК. При изменении частоты генератора поворотом конденсатора переменной емкости C в какой-либо момент создадутся условия образования стоячих волн, возможных лишь в случае резонанса, т. е. совпадения частоты внешней возмущающей силы с частотой собственных колебаний системы.

Момент образования стоячей волны в изделии отмечается следующими своеобразными явлениями: уменьшается входное сопротивление нагрузки (реактивная составляющая его становится $=0$), в результате чего в контур генератора вносится большое затухание. Это приводит к уменьшению амплитуды колебаний и к увеличению анодного и уменьшению сеточного токов в нем и может быть отмечено индикатором — прибором Γ .

Неудобство этой схемы заключается в том, что при поиске стоячей волны возможен случай пропуска той или иной гармоники, т. е. возможен контроль акустического контакта.

Поэтому в выпускаемых нашей промышленностью приборах предусмотрена автоматизация поиска и электронный осциллоскоп, который позволяет видеть на экране гармоники.

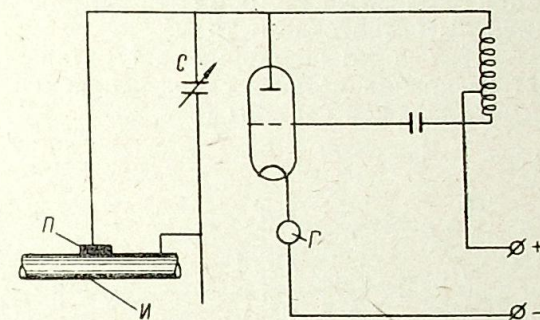


Рис. 1

В одной из приборов частота изменяется от 3 до 6 мГц, что обеспечивает измерения, начиная с минимальной толщины—0,485 мм.

Производство замера и особенно перевода показаний по графикам требует значительного времени и сравнительно высокой квалификации оператора, что является существенным недостатком прибора.

Аналогичный принцип действия имеет выпускаемый в США ультразвуковой измеритель толщины Эрвина и Рассвейлера.

При известной скорости звука в материале измеряемого тела этим прибором можно непосредственно определять толщину образца, поместив перед экраном трубки соответствующую шкалу. Четыре диапазона частот позволяют измерять толщины образца в пределах от 1 до 100 мм, с ошибкой в 2—3%.

Недостатком ультразвуковых толщмеров является его контактность, т. е. необходим доступ к объекту, который не всегда возможен в условиях трубопроката, особенно если необходимо произвести замер трубы в горячем состоянии.

2. Оптический метод измерения геометрических размеров

Для измерения некоторых геометрических размеров могут быть применены оптические методы.

Центральной лабораторией автоматики (ЦЛА) Энергочермета разработана принципиальная схема измерения ширины полосы при помощи фотоследящей системы (рис. 2).

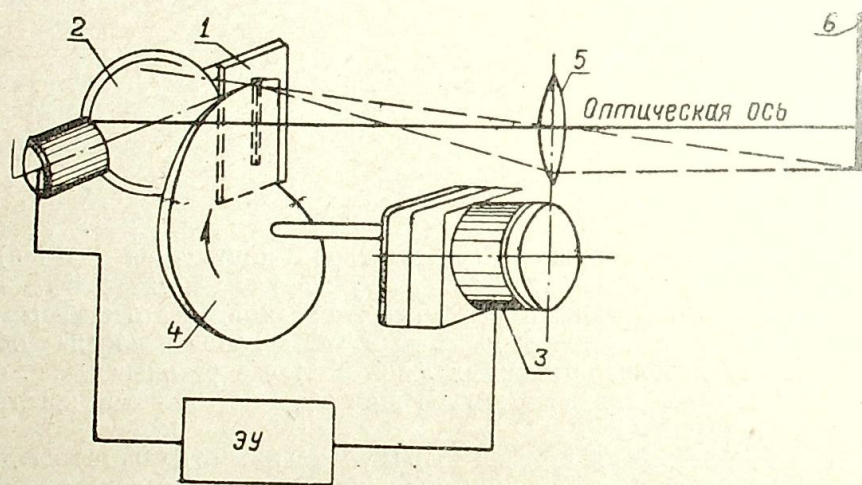


Рис. 2

Схема состоит из следующих элементов: экрана с щелевой диафрагмой 1, фотоэлемента 2, двигателя 3, лекала 4, линзы 5, измеряемого тела 6.

Измеряемое тело должно отличаться (по яркости) от окружающей среды.

При горячей прокатке световое излучение создает сам нагретый материал, а при холодной прокатке сзади измеряемого тела помещается специальный экран.

Действие схемы сводится к следующему: светящееся тело проецируется на экран с прорезью, площадь которой определяется контролируемым размером.

На катод фотоэлемента попадает узкая полоса света, излучаемого телом. Усиленный электронным усилителем фототок воздействует на реверсивный двигатель, вращающий непрозрачное лекало, имеющее форму архимедовой спирали. Если размер края измеряемой полосы соответствует заданному, лекало находится в положении, указанном на рис. 2, т. е. существует остаточное засвечивание фотоэлемента краем изображения полосы.

Этот фототок достаточен для уравнивания отрицательного момента, развиваемого двигателем. Двигатель, а следовательно и лекало, находится в покое.

При изменении размера измеряемой полосы остаточное засвечивание, вследствие изменения положения лекала, изменяется, увеличиваясь или уменьшаясь; следовательно, изменяется сила фототока, протекающего в обмотке двигателя; двигатель начинает вращаться, изменяя при своем движении положение лекала.

Для дистанционного измерения угла поворота лекала на валу последнего устанавливается датчик положения. Таким датчиком может служить либо сельсин, либо реохорд.

Для измерения ширины полосы имеются две фотоследящие системы, которые следят за обоими краями полосы.

Этот метод измерения дает достаточную для практики точность и позволяет произвести измерение ширины полосы в потоке производства и поперечном отклонении листа от нормального положения до 110 мм. Схема прибора представлена на рис. 3.

Имеются две следящие системы, расположенные в головках 1. С помощью винта 2 последние могут сдвигаться или раздвигаться, что соответствует изменению расстояния между их оптическими осями, измеряемого при помощи механического указателя 3. Датчиками положения 4 (например, реохордами) измеряются величины отклонения краев полосы, а также суммируются на входе указывающего или регистрирующего прибора 5. Винт 2 устанавливает расстояние между оптическими осями головок, которые равны заданной ширине прокатываемой полосы 6. Прибор 5 показывает отклонение ширины от заданной. Шкала прибора имеет нуль посередине и градуирована в миллиметрах. Погрешность при измерении данным прибором не превышает 2,5 мм.

Этот метод может применяться там, где методы измерения степени поглощения не пригодны, например, для определения диаметра про-

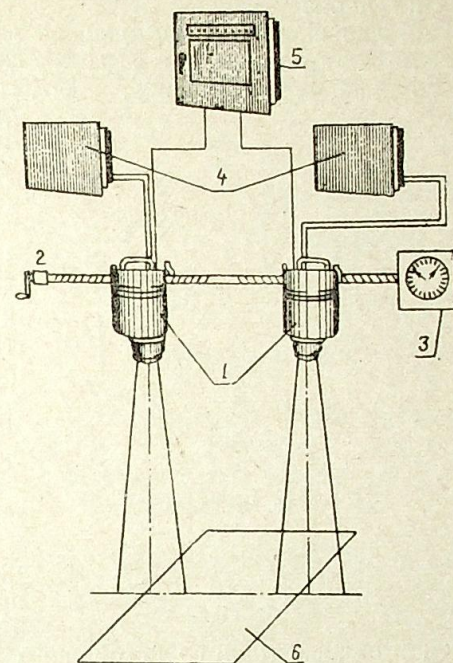


Рис. 3

волоки, так как излучаемые рентгеновской трубкой и радиоактивными изотопами лучи являются расходящимися и, следовательно, не поддаются фокусировке.

3. Измерение толщины при помощи радиоактивного излучения

Использование радиоактивного излучения для определения толщины оказалось весьма плодотворным благодаря возможности бесконтактного измерения различных материалов, непосредственно в процессе их производства.

Наиболее широко в настоящее время используют приборы, которые измеряют поглощение β -частиц или γ -лучей при их прохождении от источника через материал к детектору. Если такой прибор прокалибровать для определенного материала, то он может быть использован для бесконтактного измерения толщины.

Физическим институтом им. П. Н. Лебедева Академии наук СССР и ЦЛА Министерства черной металлургии СССР разработаны методика и приборы измерения толщины, основанные на явлении поглощения β - и γ -излучения контролируемым материалом [2, 6].

Принцип действия прибора показан на рис. 4.

При помощи дифференциальной ионизационной камеры 1 в приборе производится сравнение интенсивностей двух потоков

излучения радиоактивного источника 3. Один поток проходит через измеряемый материал 2, а другой поступает в камеру 1, пройдя через диафрагмирующую (компенсационную) шторку 4. Результирующий сигнал усиливается и приводит в движение сервомотор 5, ось которого связана со шторкой.

Таким путем производится автоматическое уравнивание ионизационных токов, при этом угол поворота шторки служит мерой толщины измеряемого материала.

ЦЛА Министерства черной металлургии СССР был построен ряд приборов для различных диапазонов толщин в интервале от 5 до 10 мм, при максимальной погрешности измерения $\pm 1,5\%$ от измеряемой величины. В качестве радиоактивного препарата применяется изотоп таллия 204, позволяющий измерять толщину полосы до 0,15 мм. Изотоп стронция 90 позволяет с этой же точностью измерять толщину полосы до 0,9 мм.

Для измерения толщины толстых листов, прокатываемых на станах горячей прокатки, в качестве источника излучения применяются препараты, дающие γ -излучения, обладающие большей проникаемостью, чем β -излучения. ЦЛА разработала измеритель толщины горячей полосы с применением изотопа U^{192} . Этот препарат позволяет измерять толщину полосы от 1,5 до 10 мм с точностью $\pm 0,08$ мм.

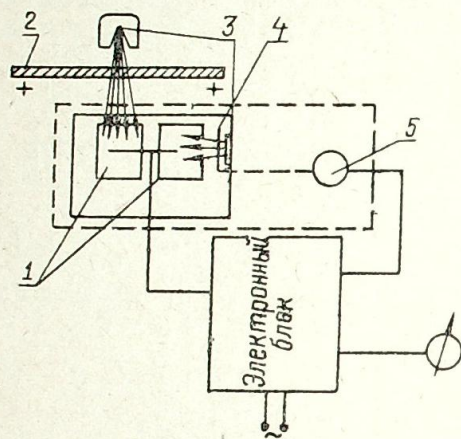


Рис. 4

Центральной научно-исследовательской лабораторией (ЦНИЛ) Гортехнадзора разработан разностеннометр—прибор для контроля разностенности и толщины стенок труб, основанный на измерении поглощения γ -лучей радиоактивных изотопов (рис. 5, 6).

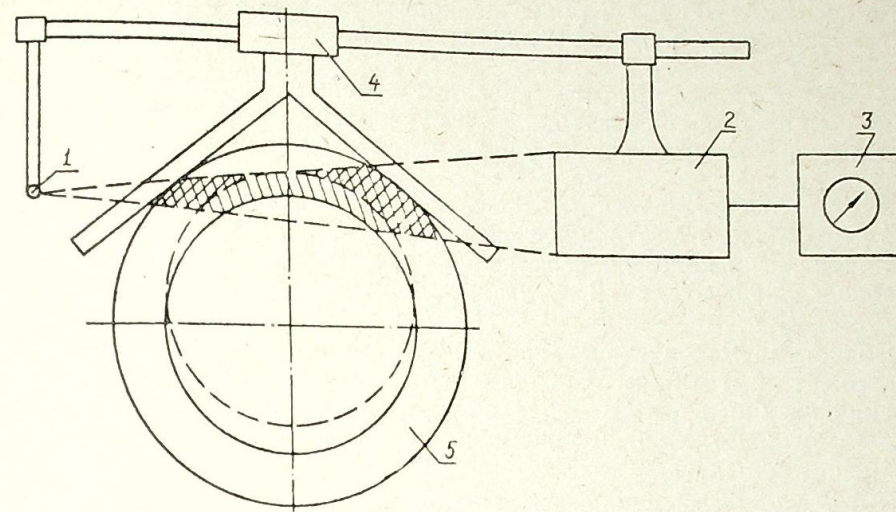


Рис. 5

Схема измерения состоит из следующих элементов: излучателя 1, детектора излучения 2, измерительного устройства и показывающего прибора 3, устройства для фиксирования источника и детектора излучения относительно трубы 4, измеряемой трубы 5.

Узкий пучок γ -лучей, выходящих из излучателя, пересекает стенку трубы, приблизительно, по касательной к средней окружности трубы и попадает на детектор излучения. Детектор излучения (преобразователь энергии излучения в электрические сигналы) выполняется плоским и расположен так, что он попадает в «тень» стенки, т. е. на детектор излучения попадает больше или меньше γ -квантов в секунду, в зависимости от толщины стенки.

В качестве детектора излучения может быть применен сцинтиляционный счетчик или ионизационная камера. В разработанной конструкции применен сцинтиляционный счетчик.

В зависимости от диаметра трубы на головку излучателя надеваются те или иные сменные захваты. Может быть применена головка

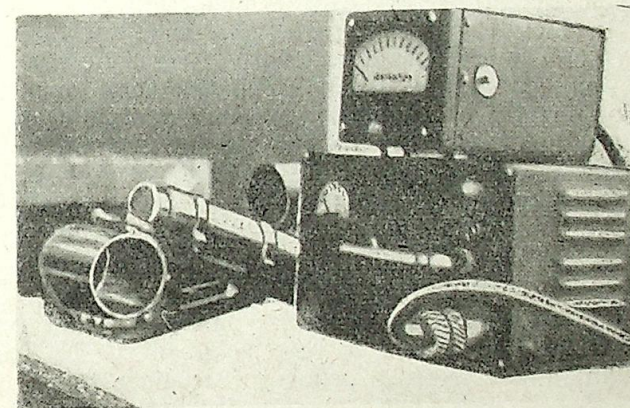


Рис. 6

Прибор для контроля разностенности и толщины стенок труб.

с универсальным фиксирующим устройством, пригодным для различных диаметров труб.

В зависимости от диаметра, материала и толщины стенок применяется тот или иной радиоактивный изотоп.

При $\varnothing 150-300$ мм и более подходит цезий 134. Для труб большего диаметра и большей толщины стенок наибольшую чувствительность дает кобальт 60.

Гильза с радиоактивным препаратом помещена в свинцовый пергамент, защищающий оператора от излучения.

Прибор выполнен в двух вариантах: стационарном и переносном.

В стационарном варианте прибора для получения большей точности и большего быстрого действия активности препарата может быть увеличена. Как показали испытания переносного варианта прибора, ошибка не превышает 0,2 мм, при диаметре 40—150 мм и $\delta = 1-8$ мм.

Область применения описанного разностенометра довольно обширна. Он может быть применен для контроля износа и коррозии труб, наличия накали и других внутренних наслоений на трубопроводах, газопроводах и т. д. Этим прибором можно пользоваться также при измерении полых валов.

Преимуществами прибора являются: универсальность, возможность контроля труб любого диаметра при любой толщине стенки, из любого материала, относительно высокая точность, простота эксплуатации. Кроме того, не требуется предварительной обработки поверхности труб. Источник и детектор излучения расположены вне контролируемой трубы.

Исходя из рассмотрения вышеизложенных методов контроля размеров, можно прийти к следующим выводам.

1. Несмотря на то, что имеется большое количество способов контроля размеров прокатного производства, однако до настоящего времени в трубопрокатном производстве контроль геометрических размеров труб—толщины, разностенности и диаметра производится самым примитивным способом—применением обычного микрометра и скобы, и сопровождается значительным расходом рабочей силы, занятой на сортировке труб.

2. В трубном производстве наибольший интерес представляет измерение размеров труб и браковка нестандартного изделия еще в процессе производства.

3. Из всех рассмотренных способов контроля размеров изделия в трубопрокатном производстве наиболее перспективными и легко применимыми, с учетом основных требований производства, являются: способ с применением радиоактивных изотопов (для измерения толщины и разностенности) и оптический метод, который может непрерывно контролировать наружный диаметр вдоль всей длины трубы.

4. В настоящее время одним из наиболее важных вопросов в трубном производстве является разработка конструкции датчиков, учитывающих все особенности контроля геометрических размеров труб в потоке производства и позволяющих автоматизировать процесс контроля и браковки труб.

В заключение следует отметить, что в настоящее время ближайшей задачей в области контроля размеров труб является разработка системы автоматического контроля по одному из их геометрических размеров (внешнего диаметра) и исследование как экспериментально,

так и теоретически всех вопросов системы автоконтроля: составление уравнений системы, снятие частотных характеристик звеньев, исследование системы на устойчивость и качество.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергман Л. Ультразвук. Изд. ИЛ, М., 1956.
2. Богачев А. М., Верховский Б. И. и Макаров А. Н. Метод и аппаратура для измерения толщины стального проката при помощи радиоактивного излучения, "Заводская лаборатория", № 7, 1955.
3. Данилов Ф. А., Глейберг А. З., Балакин В. Г. Производство стальных труб горячей прокаткой. М., 1954.
4. Зарезанков Г. Х. и Крашенникова А. А. Автоматический контроль размеров металла в процессе прокатки. Бюллетень Центрального ин-та информации Министерства черной металлургии СССР, № 4 (288), 1956.
5. Новые методы измерения толщины. Сборник статей под ред. акад. С. И. Вавилова. М.—Л., 1946.
6. Челюсткин А. Б. Непрерывный контроль размеров профиля в процессе прокатки. Бюллетень Центрального ин-та информации Министерства черной металлургии СССР, № 18—19 (302—303), 1956.
7. Clapp C. W. and Bernstein S. Noncontacting beta-ray thickness gage. "General electric Review", vol. 53, № 3, 1950.

А. А. Паршина

Бору истеҗсалатында бору өлчүлэринин йохланмасы

ХҮЛАСӘ

Металлургия сәнаиндә вә хусусән бору истеҗсалатында һәлә дә борунун һәндәси өлчүлэрини өлчмәк үчүн ибтидаи әл чиһазларындан истифадә эдирләр. Бу үсулла апарылан йохлама һәм артыг әмәк сәрф әдилмәсини тәләб әдир, һәм дә контрол просесини ағырлашдырыр. Одур ки, мүасир бору сәнаиндә борунун һәндәси өлчүлэринин йохланылмасы вә өлчү әтибарилә онларын нөвләрә бөлүнмәси просесинин автоматлашдырылмасы һазырда ән мүһүм бир мәсәлә кими ирәли чәкилир.

Метал сәнаиндә истеҗсал әдилән метал мөһсулунун һәндәси өлчүлэринин автоматик сурәтдә контрол әдилмәси саһәсиндә сон илләрдә хариҗи өлкәләрдә вә хусусилә Совет Иттифагында мүәййән мүсбәт нәтиҗәләр әлдә әдилмишдир.

Һазырда мүхтәлиф өлчү үсуллары әсасында гурулмуш бир чох өлчү чиһазлары мөвҗуддур. Бунлардан ашағыдакылары гейд әтмәк олар:

1. Металдан кечән электрик чәрәянынын дәйишмәси әсасында гурулан чиһазлар.
2. Электромагнит үсулуна әсасланан өлчү чиһазлары.
3. Сәда параметрлэринин өлчүлмәси әсасында гурулан—резонанс галынлыг өлчән чиһазлар.
4. Оптик үсул әсасында һазырланан фотоэлектрик микрометрләр.
5. Ренткен шүалары вә радиоактив изотопларын удулмасыны өлчән үсул әсасында гурулмуш чиһазлар вә с.

Истеҗсалатда һазырланан борулар мүәййән тәләблэри өдәмәлидир, бунларын ичәрисиндә ән әсасы борунун һәндәси өлчүлэринин дәгиглийидир.

Борунун өлчүлэри мүәййән дәрәҗәдә фәргләнә биләр ки, бу фәргләнмә дә дәвләт стандартынын вердийи рәғәмләр даирәсиндә олмадыр.

Бору сәнаеиндә мухтәлиф истеһсалат просесләри мөвчуддур ки, бунлардан да бәзиләри борунун өлчүләринә мүййән тәсир бураха биләр. Бору истеһсалатында техноложик просесләр ашағыдакы әмәлийятлардан: металын яйма просеси үчүн һазырланмасы, һазырланан металын гыздырылмасы, гыздырылмыш метала килиз шәкли верилмәси, килизшәкилли металын боруя чеврилмәси, борунун яйылмасы вә харичи диаметрә уйгун калибрә әдилмәсиндән ибарәтдир. Бу калибрә дэзкаһында борунун яйылма просеси гуртарыр вә бору онун үчүн мүййән әдилмиш диаметрә уйгун өлчү гәбул әдир. Одур ки, борунун һәндәси өлчүләри һәм калибрә дэзкаһындан сонра, һәм дә йохлама масасында контрол әдилир.

Йохлама масасында союдулмуш борунун диаметри, галынлығы әл чиһазлары васитәсилә—шаблон, ади микрометр вә бу кими башга әләтләрлә өлчүләр.

Бакы бору һазырлаян заводун бору прокат сехиндә гурулмуш 140 вә 250 типли дэзкаһларын йохлама масаларында апарылан өлчү мушаһидәләри нәтичәсиндә дүзәлдилмиш 2, 3 вә 4-чү чәдвәлләр верилмишдир.

Чәдвәлләрдән көрүнүр ки, нөгсанлы боруларын сайы фаиз һесабилә бир чох һалларда 3%-дән 26%-ә гәдәр олмушдур.

Мәгаләдә борунун галынлығынын өлчүлмәсинә аид олан үч үсул һагда мәлумат верилмишдир:

1. Ультра-сәда үсулу.
2. Оптик үсул.
3. Радиоактив шүаланма үсулу.

Верилән үсулларын һәр биринин мүсбәт вә мәнфи чәһәтләри изаһ әдилмишдир.

Нәзәрдән кечирилән һәндәси өлчүләрин йохланылмасы үсулларынын анализинә екун вурараг, мәгаләдә мүййән нәтичә верилмишдир.

Апарылан анализ нәтичәсиндә демәк олар ки, бору прокат истеһсалатында тәтбиг әдилә билән бүтүн өлчү контролу үсуллары сырасында истеһсалатын әсас тәләбләрини өдәйән ән перспективләри ашағыдакылар сайыла биләр.

Борунун галынлығыны өлчмәк үчүн радиоактив изотоплардан истифадә әтмәк әсасында гурулан үсул тәклиф әдилә биләр вә борунун бүтүн узунлуғу боюнча, онун диаметрини контрол әтмәк үчүн оптик үсул тәтбиг олуна биләр.

Бору истеһсалатында һәндәси өлчүләрин йохланылмасы саһәсиндә ән вачиб мәсәләрдән бири, бору өлчүләриндән бирини сечәрәк, онун әсасында һазырланмыш борулары контрол әтмәк үчүн автоматик тәнзим системи яратмаг мәсәләсидир. Белә бир оригинал автоматлашдырылмыш контрол системи, һәртәрәfli нәзәри вә экспериментал тәдгиг әдилмәлидир.

Т. Д. ДАДАШЕВА

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПРИТОКЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ К НЕСОВЕРШЕННОЙ СКВАЖИНЕ, РАСПОЛОЖЕННОЙ В ПЛАСТЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ПО ВЕРТИКАЛИ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

Исследованию притока к гидродинамически несовершенной по степени вскрытия скважине посвящены работы М. Маскета [1], И. А. Чарного [13], М. М. Глоговского [2], А. Л. Хейна [12], В. И. Шурова [8], К. Ф. Ширинова [14] и др.

В названных работах пласт принимался однородным или же принимались проницаемости в вертикальном и горизонтальном направлениях постоянными, но различными.

В литературе приводятся данные изменчивости проницаемости по вертикали в отдельных прослоях в пределах одного нефтяного пласта или горизонта [4, 11].

Согласно данным, приведенным в [11] для брэдфордского песчаника (Брэдфорд), проницаемость в пределах одного метра мощности изменяется почти в 10 раз. Так от кровли пласта на глубине 19,96 м проницаемость равна 0,43 *миллидарси*, а на глубине 20,88 м она равна 4,35 *миллидарси*.

Для месторождения Спичли Ойл-Сити на глубине 1,74 м проницаемость составляет 0,16 *миллидарси*, а на глубине 2,04 м—16,30 *миллидарси* [11].

О резкой изменчивости по вертикали проницаемости в пределах одного нефтяного горизонта свидетельствует и рис. 271, приведенный в [4].

Некоторые пласты и горизонты месторождений Апшеронского полуострова, в частности КС, представляют собою тонкое чередование песков и глин и образно называются промысловыми геологами „слоенным пирогом“.

Вышеприведенное свидетельствует о том, что с целью приближения к практическим условиям при решении задач подземной гидродинамики более правильно принимать проницаемость по вертикали непрерывно изменяющейся.

Зависимость $K_z = K_z(z)$ в первом приближений может быть получена на основе обработки данных проницаемостей по кернам, отображенным с различной глубины в пределах одного нефтеносного горизонта или пласта. При этом надо иметь в виду, что проницаемость по кернам бывает больше проницаемости, определенной по данным исследования скважины. В случае же, если есть трещины или имеются рыхлые включения, то имеет место обратное [1].

Для качественной оценки проницаемости пород могут быть использованы данные промысловой геофизики, в частности, диаграммы приращения потенциалов собственной поляризации пород, снятых при различных гидростатических давлениях промывочной жидкости [4].

Отметим, что согласно литературным данным, функция $K_z(z)$ в общем случае не является монотонной как в широком смысле, так и в строгом понимании.

Вид функции $K_z(z)$ может быть уточнен на основании данных исследования скважины. Для этого надо решить обратную задачу. Решение обратной задачи может быть получено приближенным способом, в частности, методом осреднения.

Приводимое нами ниже решение задачи о притоке жидкости к гидродинамически несовершенной по степени вскрытия скважине, расположенной в пласте с переменной по вертикали проницаемостью, представляет самостоятельный интерес и, кроме того может быть использовано для оценки приближенных методов, в частности, метода осреднения применительно к решению подобных задач.

Для рассматриваемого случая дифференциальное уравнение примет вид:

$$K \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{K}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z(z) \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] = 0, \quad (1)$$

Примем: дебит скважины с единицы мощности — постоянен; нижняя часть скважины обсажена; на контуре питания задан $\Phi_k = \text{const}$; $K_z(0) \neq 0$ и $K_z(h) \neq 0$.

Тогда граничные условия имеют вид:

$$\Phi(R_k z) = \Phi_k \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial r} = \frac{Q_{\mu}}{2\pi r_c (h - h_1) K} = q; \quad h < z < h, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial r} = 0 \quad 0 < z < h_1, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi(r, 0)}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Phi(r, h)}{\partial z} = 0. \quad (6)$$

Таким образом, имеем смешанную пространственную задачу, относящуюся к уравнению Лапласа.

Теоремы существования и единственности решения рассматриваемой задачи доказана С. Зарембой и Э. Гурса [3, 5].

Заметим, что дебит скважины с единицы мощности для простоты нами принят постоянным. В случае, если не известно изменение дебита с единицы мощности, а известен суммарный дебит, то условие (3) заменится на конечное интегральное условие. При этом решение задачи будет не единственным.

Вводя функцию $\Phi_1 = \Phi - \Phi_k$ получим однородные граничные условия для Φ_1 , причем функция Φ_1 будет удовлетворять уравнению (1).

Применим для решения этой задачи метод разделения переменных, т. е.

$$\Phi_1 = R(r) Z(z). \quad (7)$$

$$R''(r) + \frac{1}{r} R'(r) - \lambda R(r) = 0, \quad (8)$$

тогда

$$\frac{d}{dz} \left[K_z(z) \frac{dZ(z)}{dz} \right] + K \lambda Z(z) = 0 \quad (9)$$

Для нахождения собственных значений и собственных функций может быть применен метод Ритца [6], метод возмущения [7, 10], метод степенных рядов и др. [10].

Мы применим для нашей задачи метод возмущения, т. е. примем

$$Z(z) = Z_0(z) + \lambda Z_1(z) + \lambda^2 Z_2(z) + \dots \quad (10)$$

При $Z=0$ $\frac{dZ_0(0)}{dz} = 0$; а Z_1, Z_2, Z_3 обращаются в нуль вместе со своими первыми производными.

Подставляя (10) в (9), требуя от обеих частей равенства и используя вышеуказанные условия при $Z=0$, приходим к следующей последовательности рекуррентных соотношений:

$$\frac{dz_v(z)}{dz} = -\frac{K}{K_z(z)} \int_0^z Z_{v-1}(Z) dz; \quad (11)$$

$$Z_v(z) = -K \int_0^z \frac{1}{K_z(z)} dz \int_0^z Z_{v-1}(z) dz, \quad (12)$$

где $Z_0(z) = Z_{(0)}$.

Таким образом, все Z_v определяются точностью постоянного множителя $Z_{(0)}$.

Требуя выполнения граничного условия (6), т. е. $\frac{dZ(h)}{dz} = 0$, приходим к характеристическому уравнению

$$-\lambda h + \lambda^2 K \int_0^h \left[\int_0^z \frac{z dz}{K_z(z)} \right] dz - \dots + = 0 \quad (13)$$

Так как $\frac{K}{K_z(z)} > 0$, то характеристическое уравнение имеет только положительные корни, причем имеется нулевой корень $\lambda_0 = 0$.

Для доказательства абсолютной и равномерной сходимости бесконечного ряда (13) воспользуемся оценкой:

$$|Z_v(z)| \leq M^v |Z_{(0)}| \frac{z^{2v}}{2^v!},$$

где M — верхняя граница для $\frac{K}{K_z(z)}$, в случае изменения Z внутри заданного интервала $(0, h)$

Составим мажоранту ряда (13)

$$|Z_{(0)}| \sum_{v=1}^{\infty} |\lambda| M^v \frac{z^{2v}}{2^v!} \quad (14)$$

Таким образом, на основании признака Вейерштрасса, ряд (13) сходится абсолютно и равномерно быстрее его мажоранты (14) при любых конечных значениях $Z_{(0)}$ и λ и любых значениях Z из промежутка $(0, h)$, (причем это разложение единственно)¹.

Решение уравнения (8) с учетом граничного условия $R(R_k)=0$ имеет вид:

$$R(r) = C [I_0(\sqrt{\lambda}r)K_0(\sqrt{\lambda}R_k) - K_0(\sqrt{\lambda}r)I_0(\sqrt{\lambda}R_k)] \quad (15)$$

Таким образом,

$$\Phi = \Phi_k - qr_c \ln \frac{r}{R_k} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n R_n(r) Z_n(z) \quad (16)$$

Используем условия (4) и (5). Для этого возьмем производную Φ

$$\frac{\partial \Phi}{\partial r} = -q + \sum_{n=1}^{\infty} c_n R'_n(r_c) Z_n(z).$$

Следовательно,

$$c_n R_n(r_c) = \frac{1}{N_n} \int_0^h \left[\frac{\partial \Phi(r_c z)}{\partial r} + q \right] Z_n(z) dz = \\ = \frac{1}{N_n} \left\{ \int_0^{h_1} q_1 Z_n(z) dz + 2 \int_{h_1}^h q Z_n(z) dz \right\},$$

$$\text{где } N_n = \int_0^h Z_n^2(z) dz,$$

$$R'_n(r_c) = -\sqrt{\lambda_n} [I_1(\sqrt{\lambda_n} r_c) K_0(\sqrt{\lambda_n} R_k) - K_1(\sqrt{\lambda_n} r_c) I_0(\sqrt{\lambda_n} R_k)].$$

Таким образом, для распределения потенциала на вскрытой части пласта получим:

$$\Phi_c = \Phi_k - qr_c \ln \frac{r_c}{R_k} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n R_n(r_c) Z_n(z) \quad (17)$$

В случае, если $K_z(z) = K = \text{const}$ подставляя (12) в (10), получим

$$Z = Z_{(0)} \left[1 - \frac{\lambda_n Z^2}{2!} + \frac{\lambda_n^2 Z^4}{4!} - \frac{\lambda_n^3 Z^6}{6!} + \dots \right] = Z_{(0)} \cos \sqrt{\lambda} Z \quad (18)$$

Характеристическое уравнение примет вид:

$$\sin \sqrt{\lambda_n} h = 0,$$

т. е.

$$\sqrt{\lambda_n} = \frac{\pi n}{h}.$$

При этом формула (17) примет вид, ранее полученный И. А. Чарным [13].

В случае, если $K_r = K_r(r)$ и $K_z = K_z(z)$ решение может быть получено аналогично вышеизложенному.

В случае, если на вскрытой части задан потенциал, то мы имеем задачу Гильберта. Приближенное решение этой задачи может быть

¹ Данное доказательство абсолютной и равномерной сходимости бесконечного ряда (13) аналогично доказательству, приведенному в [10].

получено методом, аналогичному методу, примененному К. Ф. Шириновым [14].

Практическим следствиям этой статьи будет посвящена отдельная работа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейкер В. Дж. Течение жидкостей в трещиноватых породах. IV Международный нефтяной конгресс. Бурение скважин и добыча нефти и газа, т. III. Гостоптехиздат, М., 1955.
2. Глоговский М. М. Труды МНИ, в. 11, 1951.
3. Гурса Э. Курс математического анализа, т. III, ч. 1, ГТТИ, М.—Л., 1933.
4. Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезом скважин. Гостоптехиздат, М., 1955.
5. Заремба С. Об одной задаче, относящейся к уравнению Лапласа. „Успехи математических наук“, т. 1, в. 3—4 (13—14), 1946.
6. Кантарович Л. В., Крылов Б. И. Приближенные методы высшего анализа. Государственное издательство технико-теоретической литературы, Л.—М., 1949.
7. Коллатц Л. Численные методы решения дифференциальных уравнений. Изд. иностранной литературы, М., 1953.
8. Крылов А. П., Мирчинк М. Ф. и др. Научные основы разработки нефтяных месторождений. Гостоптехиздат, М., 1947.
9. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. М.—Л., 1949.
10. Микеладзе Ш. Е. Новые методы интегрирования дифференциальных уравнений. Государственное издательство технико-теоретической литературы, М.—Л., 1951.
11. Мирчинк М. Ф. Нефтепромысловая геология. Гостоптехиздат, М.—Л., 1947.
12. Хейн А. Л. Труды ВНИИгаз, 1953.
13. Чарный И. А. „Изв. АН СССР“, ОТН, № 2, 1955.
14. Ширинов К. Ф. Кандидатская диссертация. МГУ им. М. В. Ломоносова 1955.

Т. Д. Дадашова

Кечиричилиийн шагули истигамэтдэ дэйишэн лайда
ерлэшдирилмиш натамам гуяа сыхылмаян мае хэрэхэти
наггында мэсэлэ хэллн

ХҮЛАСЭ

Үмүмийэтлэ гидродинамики натамам гуяа мае хэрэхэти наггында мэсэлэлэр бир чох мүүлф [1, 2, 3, 4, 5, 6] тэрэфивдэн хэлл эдилмишдир. Хэлл эдилмиш мэсэлэлэрдэ лай эйни чинсли вэ яхуд да кечиричилик лайын шагули вэ үфуги истигамэти үзрэ сабит, лакин мүхтэлиф габул эдилмишдир. Мөвчүд эдэбийятдан мэлүмдур ки, эйни нефт лайынын мүхтэлиф тэбэгэлэриндэ кечиричилик шагули истигамэтдэ кэскин сурэтдэ дэйишир.

Алынган мэлүматлара эсасэн галынлығы 1 м олан Брэдфорд ятагында кечиричилик 10 дэфэ дэйишилир. Спичли-Ойл-Сити ятагынын 1,74 м дэринлийиндэ кечиричилик 0,16 миллидарси тэшкил этдийн халда, 2,04 м дэринлийиндэ 16, 30 миллидарси тэшкил эдир.

Юхарыдакы мэлүматлар сүбүт эдир ки, хэгиги шэрайтэ яхынлашаг шэртилэ ералты гидродинамикасына аид мэсэлэлэрин хэллиндэ кечиричилиийн лайын шагули истигамэти үзрэ дэйишэн габул этмэк даһа дүзкүн олар.

Иэ'ни

$$K_z = K_z(Z)$$

Буна көрэ мэсэлэнин экс хэллинэ бахылмалыдыр. Экс хэллн тэг-риби үсулла алмаг олар.

Мәгаләдә кечиричилик лайын шагули истигамәти үзрә дәйишән гәбул эдилір вә тәтбиг олунан тәгриби үсуллара гиймәт верилир. Мәсәләнн риязи гоюлушу ашағыдакы шәкилдәдир.

$$\kappa \frac{\partial^2 \Phi}{dr^2} + \frac{\kappa}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\kappa_z(Z) \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] = 0 \quad (1)$$

$$\Phi(R_{\kappa}, z) = \Phi_{\kappa}$$

$$\frac{\partial \Phi(r, Z)}{\partial r} = \frac{Q_{\mu}}{2\pi r_c (h - h_1) \kappa} = q; \quad h_1 \leq Z \leq h$$

$$\frac{\partial \Phi(r, Z)}{\partial r} = 0 \quad 0 \leq Z \leq h_1 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi(r, 0)}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Phi(r, h)}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

$\Phi_1 = \Phi - \Phi_{\kappa}$ функцияны гәбул эдәрәк Φ_1 үчүн әйни чинсли сәрһәд шәрти алырыг. Белә ки, Φ_1 (1) тәнлийини өдәйир.

Мәсәләнн һәлли үчүн өз дәйишәнләринә айрылма үсулундан истифадә эдиб ашағыдакылары алырыг:

онда: $\Phi_1 = R(r) Z(z)$

$$R''(r) + \frac{1}{r} R'(r) - \lambda R(r) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[K_z(Z) \frac{\partial Z(z)}{\partial z} \right] + K \lambda Z(z) = 0 \quad (9)$$

Хүсуси функция тапмаг үчүн кичик параметрләр үсулуну гәбул эдирик.

$$Z(z) = Z_0(z) + \lambda Z_1(z) + \lambda^2 Z_2(z) + \dots$$

Тәнликлә $Z=0$ шәртиндән вә (6) сәрһәдди шәртиндән истифадә эдәрәк ашағыдакы характеристик тәнлийи алырыг:

$$-\lambda h + \lambda^2 K \int_0^h \left[\int_0^z \frac{z dz}{K_z(z)} \right] dz - \dots + = 0.$$

(8) тәнлийи $R(R_{\kappa}) = 0$ сәрһәд шәртинә көрә ашағыдакы шәкли алыр:

$$R(r) = C [I_0(V\lambda r) K_0(V\lambda R_{\kappa}) - K_0(V\lambda r) I_0(V\lambda R_{\kappa})]$$

Беләликлә,

$$\Phi = \Phi_{\kappa} - q r_c \ln \frac{r}{R_{\kappa}} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n R_n(r) Z_n(z)$$

(4) вә (5) сәрһәд шәртиндән истифадә эдәрәк вә Φ -дән төрәмә ала-раг, лайын ачылмыш һиссәси үчүн потенциал пайланмасыны тапырыг.

$$\Phi_c = \Phi_{\kappa} - q r_c \ln \frac{r_c}{R_{\kappa}} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n R_n(r_c) Z_n(z)$$

Бу мәсәләнн тәчрүби һәлли кәләчәк мәгаләмиздә дәрч олуна-чагдыр.

С. Ч. МЕРДИЕВ, А. Ш. НОВРУЗОВА

АРОМАТИК КАРБОНИДРОКЕНЛӘРИН НИТРОЛАШМА РЕАКЦИЯСЫНЫН ТӘДГИГИ

Изопропилбензолун сульфат туршусу иштиракилә азот туршусу вә онун аммоний дузу васитәсилә нитролашма реакциясынын тәдгиги

(1-чи мәлүмәт)

Һал-һазырда үзви синтез сәнәинин демәк олар ки, бүтүн сәһәлә-риндә ароматик нитробирләшмәләр башлангыч мәддә вә я ярыммәһ-сул кими ишләдилір. Буна көрә дә әлми-техники әдәбийәтдә арома-тик карбонидрокенләрин нитролашма реакциясына аид нисбәтән чох ишә раст кәлмәк олур. Лакин гәйд әтмәк ләзымдыр ки, бу ишләрин әсас һиссәси молекуласында 8-ә гәдәр карбон атому олан ароматик карбонидрокенләрин нитролашма реакциясына аиддир [1—3, 6—8, 11—18, 20, 22—24, 26, 27, 29, 30—32, 34—36]. Һәмнн синиф карбо-нидрокенләрин нисбәтән йүксәк молекулалы бирләшмәләринә аид апарылмыш ишләр [4, 5, 9, 10, 19, 21, 25, 28, 33] исә олдугча аз вә натамамдыр.

Бу ишдә мүхтәлиф шәрайтдә сульфат туршусунун иштиракилә азот туршусу вә онун аммоний дузу тәсирилә изопропилбензолун нитро-лашма реакциясы үзәриндә апардығымыз тәдгигатын нәтичәләри верилир.

Тәчрүби һиссә

Хаммал. Хаммал кими гайнама температурасы 152—154°C, d_4^{20} —0,8638 вә n_D^{20} —1,4930 олан изопропилбензолдан истифадә әдилмиш-дир. Изопропилбензол өз нөвбәсиндә сульфат туршусу иштиракилә бензолун ади гайда үзрә пропиленлә алкилләшмәсиндән алынмышдыр. Нитролашдырычы мәддә кими ики чүр гарышыгдан (нитролашдырычы гарышыг) истифадә әдилмишдир.

Бунлардан бирисинин тәркиби 20,5% HNO_3 ; 63,5% H_2SO_4 вә 16% судан ибарәтдир. Икинчинин тәркибини исә мүхтәлиф нисбәтләрдә көтүрүлмүш NH_4NO_3 ; H_2SO_4 вә су тәшкил әдир.

Иш методикасы. Нитролашма реакциясы әкс союдучу, термометр вә дамчы ғыфы илә тәһиз олунмуш юмру дибли колбада апарыл-мышдыр. Реакция колбасына габагчадан һесапланмыш мигдарда изо-пропилбензол төкүлүр, үзәринә интенсив гарышдырмагла нитролаш-

дырычы гарышыг элава эдилер. Реаксия гарышыгынын температу-расы тэчрүбэнин эввэліндэ 15—20°, сонунда исэ 30—40°С олмалы-дыр. Реаксия гуртардыгдан сонра нитробирләшмэ реакция дахил олмамыш карбогидрокен гарышыгындан ибарэт олан алт тэбэгэни туршу (үст) тэбэгэсиндэн айрырлар. Алт тэбэгэ, ичэрисиндэ олан туршудан азад олмаг үчүн ююлур, гурудулур вэ колонкада 12 мм галыг тэйнгдэ говулур. Белэликлэ, хам нитробирләшмэ реакция дахил олмамыш карбогидрокендэн айрылыр. Реаксиядан алынмыш хам нитробирләшмэ енидэн һамин калонкада нисбэтэн гыса фраксия-лара айрылыр.

Реаксия мәнсулларынын гурушуну тә'йин этмәк мәгсәдилә алынмыш нитробирләшмә фраксиясы редуксия олунараг, мувафиг амин төрәмә-синә чеврилир. Редуксия реакциясы мә'лум гайда үзрә (хүсуси чәкиси 1,37 олан дуз туршусу вэ синкин иштиракилә) апарылмышдыр. Бу гайда илә алынмыш амин төрәмәләри анализ эдилер.

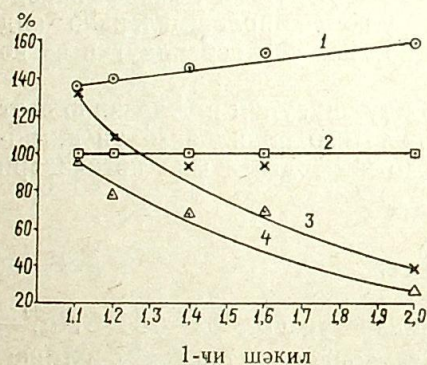
Нитроизопропилбензолун дизел яначагынын сетан әдәди харак-теристикасына тә'сири дә өйрәнилмишдир.

Тәчрүбә нәтичәләринин мұзакирәси. Юхәрыда гейд олундуғу кими, изопропилбензолун нитролашма реакциясы ики нөв нитролаш-дырычы гарышыгла (сульфат вэ азот туршусу гарышыгы, аммонийум нитратла сульфат туршусу гарышыгы) өйрәнилмишдир.

Изопропилбензолун көстәрилмиш ики нөв нитролашдырычы гары-шыгла нитролашма реакциясынын өйрәнилмәсиндән алынмыш нәтичә-ләрин мұзакирәси айрыча олараг ашағыда верилир.

1. ИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛУН СУЛФАТ-АЗОТ НИТРОЛАШДЫРЫЧЫ ГАРЫШЫГЛА НИТРОЛАШМА РЕАКЦИЯСЫ

Нитролашма реакциясы тәркиби 20,5% HNO_3 ; 63,5% H_2SO_4 вэ 16% H_2O олан (сульфат-азот) нитролашдырычы гарышыгла, тәчрүбә-нин эввэліндә 18—20°, сонунда исэ 30—40°С температурада вэ кар-



Карбогидрокеннин азот туршусуна олан моляр нисбәти

1—башлангыч карбогидрокеннин чеврилмә фаизи;
2—чеврилмиш карбогидрокенә көрә хам нитробирләшмәнин чыхымы, %-лә; 3—чеврил-миш карбогидрокенә көрә мононитротөрәмәнин чыхымы, %-лә; 4—чеврилмиш карбогидрокенә көрә мононитротөрәмәнин нәзәри оларат чыхымы, %-лә.

мәнин чыхымы 160,3% тәшкил эдирсә, 1:1,1 моляр нисбәтиндә 137% олур. Реаксия компонентләринин моляр нисбәтинин дәйишилмәси мононитротөрәмәнин чыхымына айдын сүрәтдә тә'сир эдир, белә ки, карбогидрокеннин азот туршусуна олан 1:2,0 моляр нисбәтиндә моно-

1-чи чәдвәл

Тәчрүбәнин №-си	Реаксия үчүн көтүрүлмүш		Карбогидрокенин азот туршу-суна олан моляр нисбәти	Башлангыч маддәнин чеврилмә фаизи	Реаксиядан алынмыш				
	изопропилбензол, г-ла	нитролашдырычы гары-шыг, г-ла			хам нитро-бирлешмә		мононитротөрәмә		
					г-ла	чеврилмиш карбо-гидрогенә көрә, %-лә	г-ла	чеврилмиш карбо-гидрогенә көрә, %-лә	нәзәри оларат чеврилмиш карбогидрогенә көрә, %-лә
60	15	78,5	1: 2	100	24	160,3	5,57	37,13	27,01
55	15	78,5	1: 2	100	23,5	156,6	6,14	40,93	29,77
10	30	124,8	1: 1,6	100	46	153,3	57,36	95,6	69,5
12	30	124,8	1: 1,6	100	46	153,3			
56	15	62,4	1: 1,6	100	23	153,3	14,11	94,06	68,49
14	30	109,2	1: 1,4	99	42	141,4	27,8	93,6	68,1
57	15	54,6	1: 1,4	100	22	146,6	14,1	94,0	68,4
62	15	54,6	1: 1,4	100	22	146,6	14,2	94,6	68,9
58	15	46,6	1: 1,2	100	21	140,0	16,32	108,8	79,22
63	15	46,6	1: 1,2	100	21	140,0	16,24	108,2	78,83
59	15	40,3	1: 1,1	100	20,5	136,6	19,64	130,9	95,34
84	120	372,8	1: 1,1	100	165	137,5	164,67	137,2	99,80
85	120	372,8	1: 1,1	100	166	138,3	164,26	136,8	99,55
86	120	372,8	1: 1,1	100	164,5	137,00	163,66	136,4	99,20

нитротөрәмәнин чеврилмиш карбогидрокенә көрә вэ нәзәри чыхым фаизи мувафиг оларат 37,13 вэ 27,01 олурса, 1:1,1 моляр нисбәтлә-риндә исә мувафиг оларат 136,8 вэ 99,5 олур.

Юхәрыда дейиләнләрә әсасланараг гейд этмәк лазымдыр ки, реак-сия компонентләринин моляр нисбәтләринин дәйишилмәси нитролашма реакциясынын, әсас әтибарилә, дәринлийинә тә'сир көстәрир.

Беләликлә, апарылмыш тәчрүбәләрин нәтичәләринә әсасән демәк олар ки, мононитротөрәмә алмаг үчүн оптимал моляр нисбәт 1:1,1 һесап олуна биләр. Хам нитробирләшмәнин фраксиялара айрылмасы-нын нәтичәләри вэ онларын физики сабитләри 2-чи чәдвәлдә верилир.

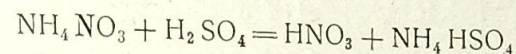
2-чи чәдвәлин рәгәмләри көстәрир ки, хам нитробирләшмәнин әсас һиссәси гайнама башлангычы—125°/12 мм вэ 125—135°/12 мм интер-валында гайнайыр.

Тәҗрибә үзгәртү №-и	Гайнама башлангычы, 125°/12 мм	125—135°/12 мм			135—155°/12 мм			155—173°/12 мм			Гайнама союу, 0/12 мм	Галыт, %-ләр	Иктл, %-ләр
		чылым, %-ләр	d_4^{20}	n_D^{20}	чылым, %-ләр	d_4^{20}	n_D^{20}	чылым, %-ләр	d_4^{20}	n_D^{20}			
60	122	7,7	1,0880	1,5320	15,5	1,0928	1,5349	56,5	1,2249	1,5508	173	4,9	0,7
55	119,5	11,7	1,0870	1,5292	14,4	1,1010	1,5349	53,6	1,2246	1,5498	173	3,2	0,90
101 121	114	22,5	1,1040	1,5350	39,9	1,1079	1,5382	16,80	1,2634	1,5565	173	1,8	2,9
56	115,5	27,7	1,0795	1,5319	33,7	1,1030	1,5355	17,3	1,2364	1,5427	173	4,5	0,5
14	112,5	29,32	1,0880	1,5331	36,84	1,1082	1,5385	14,27	1,2515	1,5530	473	1,91	2,25
57	114	28,3	1,0920	1,5308	35,8	1,1095	1,5391	13,9	1,2453	1,5512	173	5,20	0,6
62	115	19,60	1,0860	1,5312	45,9	1,0965	1,5350	14,4	1,2245	1,5500	173	4,6	0,7
58	113,5	34,80	1,0880	1,5332	42,9	1,1108	1,5395	7,6	1,2271	1,5498	173	3,3	0,5
63	114,5	30,7	1,0865	1,5312	46,7	1,0948	1,5358	8,02	1,2273	1,5498	173	3,7	0,7
59	114	41,3	1,0772	1,5293	54,5	1,1041	1,5365	—	—	—	133,5	3,6	0,6
84	112,5	47,24	1,0860	6,5297	52,55	1,1092	1,5389	—	—	—	134	0,21	0,0
85	114,5	46,87	1,0863	1,5297	52,78	1,1069	1,5379	—	—	—	135,5	0,35	0,0
86	115	48,91	1,0913	1,5339	50,60	1,0898	1,5378	—	—	—	134,5	0,49	0,0

Сонрадан үзәриндә даяначагымыз анализләре әсасланараг, демәк олар ки, һәммин фраксиялар, мұвафиг олараг, орто вә пара-моно-фраксия үчүн алынган сабитләрин әдәбийятда верилән сабитләре уйгун гайнаея онун динитротөрәмә олмасыны көстәрир. 135—155°/12 мм-дә олуна биләр.

ИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛУН ШОРА-СУЛФАТ НИТРОЛАШДЫРЫЧЫ ГАРЫШЫГЛА НИТРОЛАШМА РЕАКЦИЯСЫ

Нитролашма реакциясы аммоний-нитрат, сульфат туршусу вә су гарышыгындан ибарәт нитролашдырычы гарышыгла апарылмышдыр. Сөз йох ки, бу һалда нитролашма реакциясы шоранын сульфат туршусу тәсириндән ашағыдакы тәнлик үзрә алынган азот туршусу һесабына кедир.



Буна көрә дә бүтүн һесабламалар вә мұзакирәләр азот туршусуна көрә апарылмышдыр.

Бу гарышыгда шоранын мигдары бүтүн һалларда сабит (26%) сахланылыр, сульфат туршусу вә суон мигдары исә дәйишилир. Тәчрүбәләр юхарыда сульфат-азот нитролашдырычы гарышыг үчүн гәбул әдилмиш шәрантә апарылмышдыр.

Апарылмыш тәчрүбәләрин шәранти вә үмуми балансы 3-чү чөдвәлдә верилир.

3-чү чөдвәлдәки рәгәмләрден айдын көрүнүр ки, нитролашма реакциясы нитролашдырычы гарышыгын тәркибиндән вә карбоидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтинин дәйишилмәсиндән асылдыр. Белә ки, башлангыч маддәнин чеврилмәси 0—100%, мононитротөрәмәнин чыхымы исә 0—156,6% арасында дәйишир.

Һам нитробирләшмәнин фраксиялара айрылмасы вә онларын физики сабитләри 4-чү чөдвәлдә верилир.

4-чү чөдвәлин рәгәмләриндән көрүнүр ки, изопропилбензолун шора-сульфат гарышыгы илә нитролашма реакциядан алынган мононитротөрәмәнин әсас һиссәси дә гайнама башлангычы—125°/12 мм, 125—135°/12 мм интервалында гайнайыр. Изопропилбензолун шора-сульфат гарышыгы илә нитролашма реакциясынын кедишинә гарышыгын тәркибинин вә карбоидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтинин тәсирини өйрәнмәк мәгсәдилә ашағыдакы тәчрүбәләр апарылмышдыр.

1. Нитролашдырычы гарышыгын тәркибинин тәсирини. Изопропилбензолун нитролашма реакциясына шора-сульфат гарышыгынын тәркибинин тәсирини өйрәнмәк мәгсәдилә гарышыгда суон мигдарыны 0—16% арасында дәйишдирмәклә бир сыра тәчрүбәләр апарылмышдыр (бүтүн тәчрүбәләрдә карбоидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәти 1:2,0 көтүрүлүр). Апарылмыш тәчрүбәләрин нәтичәләри 5-чи чөдвәлдә верилир.

5-чи чөдвәлдәки рәгәмләрден вә 2-чи шәкилдәки әйриләрин хусусийәтиндән көрүнүр ки, нитролашдырычы гарышыгда суон мигдары 16% олдугда нитролашма реакциясы, демәк олар ки, кетмир. Суон мигдарыны 10%-ә гәдәр азалтыгда башлангыч карбоидрокенин чеврилмә фаизи 72,6 олур. Беләликлә, суон мигдарыны азалтмагла чеврилмә фаизи 100-ә чатдырылыр. 5-чи чөдвәлин рәгәмләри вә 2-чи шәкилдәки әйриләрин хусусийәтләри реакциянын дәринлийинин нитролашдырычы гарышыгын тәркибиндән нә дәрәчәдә асылы олмасыны

Тәҗрүбә- нин №-си	Реаксия кәтүрүлмүш		Карбогид- роқенин азот тур- шусуна олан моляр нисбәти	Башланғыч карбогид- роқенин чөврилмә фаизи	Реаксиядан	
	изопропил- бензол, г-ла	нитролаш- дырычы гарышыг, г-ла			хам нитробирләшмә	
					г-ла	чөврилмиш карбогидро- кенә көрә, %-лә
16	30	154,4	1 : 2	0	Реаксия	
17	30	154,4	1 : 2	72,6	29,95	137,3
20	30	154,4	1 : 2	100	41,5	138,3
26	30	154,4	1 : 2	100	41	136,6
28	30	154,4	1 : 2	100	41,5	138,3
27	30	154,4	1 : 2	100	42	140,0
18	30	154,4	1 : 2	100	42	140,0
25	30	154,4	1 : 2	100	45	150,0
19	30	154,4	1 : 2	100	47	156,6
32	30	138,4	1 : 1,8	100	41	136,6
34	30	138,4	1 : 1,8	100	41	136,6
35	30	123,0	1 : 1,6	87,3	35,7	137,02
36	30	108,0	1 : 1,4	77,6	32,3	108,7
30	30	108,0	1 : 1,4	79,3	32,8	137,8
21	30	92,3	1 : 1,2	62,2	25,7	137,5
23	30	92,3	1 : 1,2	63,1	25,9	136,9
37	30	84,6	1 : 1,1	57,6	23,8	137,6

алынмыш			Нитролашдырычы гарышыгын тәркиби, чәки- %-лә
мононитротәрәмә			
г-ла	чөврилмиш карбонидро- кенә көрә, %-лә	нәзәри оларак чөврилмиш карбонидроке- нә көрә, %-лә	
кетмир			NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —58; H_2O —16
28,3	129,8	94,6	NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —64; H_2O —10
37,4	124,6	88	NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —66,5; H_2O —7,5
38,1	127,0	89,6	"
37,9	126,3	89,2	"
25,8	86,0	60,7	NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —68,8; H_2O —5,2
26,3	87,6	63,7	NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —69; H_2O —5,0
10,6	35,3	25,7	NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —72,2; H_2O —1,2
9,1	30,3	22,1	NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —74,0; H_2O —0
37,5	125,0	88,2	NH_4NO_3 —26; H_2SO_4 —66,5; H_2O —7,5
35,8	119,3	86,8	"
33,34	127,3	92,4	"
30,5	130,9	95,2	"
30,2	126,8	92,2	"
23,8	127,4	92,7	"
24,9	131,6	95,7	"
23,2	134,6	97,7	"

Тәүрүбәни №-си	Реаксия дахил олмашыш карбо- гидроген			Гайнама башлангычы, 0/12 мм	Гайнама башлангычы, 125°/12 мм			125—135°/12 мм		
	чылым, %-лэ	d_4^{20}	n_D^{20}		чылым, %-лэ	d_4^{20}	n_D^{20}	чылым, %-лэ	d_4^{20}	n_D^{20}
16										
17	22,22	0,8642	1,4932	114	51,09	1,0960	1,5329	43,47	1,0980	1,5360
20	—	—	—	114,7	56,85	1,0925	1,5314	33,47	1,0990	1,5341
26	—	—	—	115	35,22	1,0845	1,5309	57,74	1,1046	1,5370
28	—	—	—	113,5	35,38	1,0924	1,5315	57,14	1,0975	1,5358
27	—	—	—	115	20,6	1,0961	1,5332	41,1	1,0965	1,5356
18	—	—	—	114,5	20,2	1,0960	1,5328	45,8	1,1070	1,5380
25	—	—	—	115	6,8	1,0103	1,5348	16,9	1,1084	1,5387
19	—	—	—	114	1,5	1,0928	1,5319	17,9	1,1030	1,5365
32	—	—	—	115,5	34,53	1,0926	1,5318	57,03	1,0952	1,5350
34	—	—	—	113	34,6	1,0976	1,5330	52,08	1,1020	1,5360
35	9,63	0,8590	1,4920	114,5	43,14	1,0960	1,5325	50,25	1,0965	1,5354
36	17,24	0,8570	1,4919	114	38,89	1,0895	1,5319	55,55	1,0925	1,5341
30	15,9	0,8600	1,4925	114	42,29	1,0890	1,5320	49,25	1,0973	1,5359
21	30,67	0,8581	1,4920	115,5	48,08	1,0880	1,5319	44,87	1,1070	1,5380
23	29,90	0,8590	1,4921	115	44,59	1,0900	1,5332	49,04	1,0970	1,5357
37	34,80	0,8603	1,4931	114	35,58	1,0880	1,5320	61,96	1,0950	1,5353

4-чү чәдвәл

135—153°/12 мм			155—175°/12 мм			Гайнама сону, 0/12 мм	Галыг, %-лэ	Итки, %-лэ
чылым, %-лэ	d_4^{20}	n_D^{20}	чылым, %-лэ	d_4^{20}	n_D^{20}			
						134	4,95	0,49
						135	9,68	0,0
						134,5	4,69	2,34
3,57	1,1402	1,5385				137,5	3,57	0,4
14,1	1,1320	1,5350	16,7	1,2260	1,5510	168,5	5,2	2,3
7,9	1,1490	1,5390	22,4	1,2330	1,5540	171	0,9	2,8
26,6	1,1400	1,5380	36,2	1,2418	1,5592	171,5	12,2	1,2
25,3	1,1500	1,5420	50,6	1,2510	1,5530	173	1,8	2,9
—	—	—	—	—	—	134	7,63	0,81
—	—	—	—	—	—	133,5	11,8	0,8
—	—	—	—	—	—	135	5,08	1,53
—	—	—	—	—	—	132,5	4,63	0,93
—	—	—	—	—	—	134,5	5,47	2,99
—	—	—	—	—	—	135	5,13	1,92
—	—	—	—	—	—	134	5,10	1,27
—	—	—	—	—	—	133,5	2,0	2,46

5-чи чадвал

Тәчрүбәнин №-си	Нитролашдырычы гарышыгын тәркиби, чәки-%-лә	Башлангыч карбогидро-кенин чеврилмә фаизи	Чеврилмиш карбогидро-кенә көрә хам нитробир-ләшмәнин чыхымы, %-лә	Мононитротөрәмә-нин чыхымы	
				чеврилмиш карбо-гидрокенә көрә, %-лә	нәзәри оларга чеврилмиш карбогидро-кенә көрә, %-лә
16	$\text{NH}_4\text{NO}_3-26$; H_2SO_4-58 ; $\text{H}_2\text{O}-16$	0	Реаксия кетмир		
17	$\text{NH}_4\text{NO}_3-26$; H_2SO_4-64 ; $\text{H}_2\text{O}-10$	72,6	137,3	129,8	94,6
20	$\text{NH}_4\text{NO}_3-26$; $\text{H}_2\text{SO}_4-66,5$; $\text{H}_2\text{O}-7,5$	100	138,3	124,6	88,0
26	"	100	136,6	127,0	89,6
28	"	100	138,3	126,3	89,2
27	$\text{NH}_4\text{NO}_3-26$; $\text{H}_2\text{SO}_4-68,8$; $\text{H}_2\text{O}-5,2$	100	140,0	86,0	60,7
18	$\text{NH}_4\text{NO}_3-26$; H_2SO_4-69 ; $\text{H}_2\text{O}-5$	100	140,0	87,6	63,7
25	$\text{NH}_4\text{NO}_3-26$; $\text{H}_2\text{SO}_4-72,2$; $\text{H}_2\text{O}-12$	100	150,0	35,3	25,7
19	$\text{NH}_4\text{NO}_3-26$; H_2SO_4-74 ; $\text{H}_2\text{O}-0$	100	156,6	30,3	22,1

да көстәрир; белә ки, 10% су олдугда мононитротөрәмәнин чыхым фаизи башлангыч карбогидрокенә көрә 129,8 олур. Эйви шәрантдә, лакин реакцияны суюн иштиракы олмадан апардыгда, һәммин рәгәм 30,3-ә гәдәр азалыр. Бу вәзийәттә мононитротөрәмәнин аз алынмасы ди вә полинитротөрәмәләрин алынмасы илә изаһ олунур. Нитролашдырычы гарышыгда суюн мигдары 7,5% олдугда, демәк олар ки, изопропилбензол тамамилә мононитротөрәмәйә чеврилир. Беләликлә, әлдә эдилән нәтичәләрә әсасланараг, гейд әтмәк ләзымдыр ки, максимум мигдар мононитротөрәмә алмаг үчүн нитролашдырычы гарышыгын тәркиби ашагыдакы нисбәттә көтүрүлә биләр.

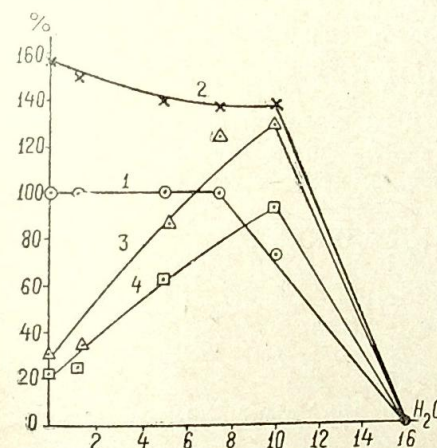
$\text{NH}_4\text{NO}_3-26\%$; $\text{H}_2\text{SO}_4-66,5\%$; $\text{H}_2\text{O}-7,5\%$

2. Моляр нисбәтин тәсири. Нитролашма реакциясына карбогидро-кенин азот туршусуна олан моляр нисбәтинин тәсирини өйрәнмәк мәгсәдилә бир нечә тәчрүбә апарылмышдыр. Апарылмыш тәчрүбәләрин нәтичәләри 6-чы чадвалдә вә әйриләр дә 3-чү шәкилдә верилир.

6-чы чадвалдәки рәгәмләрин мугайисәси вә 3-чү шәкилдәки әйриләрин хусусийәтләри көстәрир ки, карбогидрокененин азот туршусуна

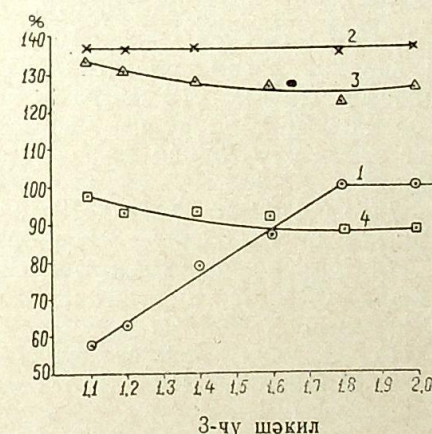
6-чы чадвал

Тәчрүбәнин №-си	Карбогидро-кенин азот туршусуна олан моляр нисбәти	Башлангыч карбогидро-кенин чеврилмә фаизи	Чеврилмиш карбогидро-кенә көрә хам нитробирләш-мәнин чыхымы, %-лә	Мононитробирләшмәнин чыхымы	
				чеврилмиш маддәйә көрә, %-лә	нәзәри оларга чеврилмиш маддәйә көрә, %-лә
20	1:2	100	138,3	124,6	88,0
26	1:2	100	136,6	127,0	89,6
28	1:2	100	138,3	126,3	89,2
32	1:1,8	100	136,6	125,0	88,2
34	1:1,8	100	136,6	119,3	86,8
35	1:1,6	87,3	137,0	127,3	92,4
36	1:1,4	77,6	138,7	130,3	95,2
30	1:1,4	79,3	137,8	126,8	92,2
21	1:1,2	62,2	137,5	127,4	92,7
23	1:1,2	63,1	136,9	313,6	95,7
37	1:1,1	57,6	137,6	134,3	97,7



2-чү шәкил

Гарышыгдакы суюн мигдарынын тәсири
1—башлангыч карбогидрокенә чеврилмә фаизи; 2—чеврилмиш карбогидрокенә көрә хам нитробирләшмәнин чыхымы, %-лә; 3—чеврилмиш карбогидрокенә көрә мононитробирләшмәнин чыхымы, %-лә; 4—чеврилмиш карбогидрокенә көрә нәзәри оларга мононитробирләшмәнин чыхымы, %-лә.



3-чү шәкил

Азот-сульфат гарышыгынын моляр нисбәти

1—башлангыч карбогидрокенә чеврилмә фаизи; 2—чеврилмиш карбогидрокенә көрә хам нитробирләшмәнин чыхымы, %-лә; 3—чеврилмиш карбогидрокенә көрә мононитробирләшмәнин чыхымы, %-лә; 4—чеврилмиш карбогидрокенә көрә нәзәри оларга мононитробирләшмәнин чыхымы, %-лә.

олан 1:2,0 вә 1:1,8 моляр нисбәтләриндә башланғыч маддә тамамилә (100%) нитробирләшмәйә чеврилләр. Бу заман алынан мәһсул эйни тәркибдә олур. Моляр нисбәтләрин сонракы азалдылмасы башланғыч маддәнин чеврилмә фаизини ашағы салыр вә мононитротөрәмәнин чыхым фаизини (чеврилмиш маддәйә көрә) чохалдыр. Белә ки, 1:1,8 моляр нисбәтиндә чеврилмә фаизи 100, мононитротөрәмәнин чыхымы 125% (чеврилмиш карбоһидрокенә көрә) тәшкил эдирсә, 1:1,1 моляр нисбәтиндә һәмин рәгәмләр мұвафиг олараг 57,6 вә 134,3-ә чатыр.

Беләликлә, әлдә эдилмиш нәтичәләрә әсасланараг гейд этмәк лазымдыр ки, изопропилбензолун шора-сулфат нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясы үчүн оптимал моляр нисбәт 1:1,8 һесабулунур.

Изопропилбензолун сулфат-азот вә шора-сулфат нитролашдырычы гарышыглары илә нитролашма реакциясындан алынан нәтичәләрин мұгайисәси (1 вә 6-чы чәдвәлләрә, 1 вә 3-чү шәкилләрә бах) сулфат-азот гарышыгынын үстүнлүйүнү көстәрир. Белә ки, нитролашма реакциясынын там кетмәси үчүн биринчи гарышыгда (сулфат-азот) карбоһидрокенин азот-туршусуна олан 1:1,1-ә моляр нисбәти кифайәт эдирсә, икинчи гарышыгда (шора-сулфат) бу нисбәт 1:1,8 олмалыдыр.

Изопропилбензолун нитролашма реакциясындан алынан мәһсулларынын анализи

Юхарыда гейд этдийимиз кими, изопропилбензолун истәр сулфат-азот вә истәрсә дә шора-сулфат нитролашдырычы гарышыгла нитролашма реакциясындан алынан хам нитробирләшмәнин әсас һиссәси гайнама башланғычы 125°/12 мм вә 125—135°/12 мм температура интервалында гайнайыр. Бу көстәрилән фраксияларын анализи ашағыдакы гайда илә апарылмышдыр.

Гайнама башланғычы 125°/12 мм гайнааян фраксиянын анализи. Бу мәгсәдлә һәмин фраксия тәкратар говулараг нисбәтән гыса фраксия (116—120°/12 мм) алынмышдыр. Һәмин фраксиянын d_4^{20} —1,0659; n_D^{20} —1,5323; молекула чәкиси 163,3-дүр. Алынан рәгәмләрин әдәбийятда верилән рәгәмләрлә (гайнама температурасы 117—119°/12 мм) мұгайисәси 116—120°/12 мм гайнааян фраксиянын ортонитроизопропилбензолдан ибарәт олмасыны көстәрир. Алынан нәтичәләри бир даһа тәсдиг этмәк үчүн һәмин фраксиянын элементар тәркиби тәйин эдилмишдир.

Маддә—0,1722 г; CO₂—0,4129 г; H₂O—0,1055 г;

Тапылмыш С—65,43%; Н—6,80%.

C₉H₁₁NO₂ үчүн һесапланмыш С—65,41%; Н—6,72%;

Маддә—0,1586 г; 15 мл N (30°, 741,5 атм.).

Тапылмыш Н—8,67%.

C₉H₁₁NO₂ үчүн һесапланмыш Н—8,48%.

Алынан нәтичәләр 116—120°/12 мм гайнааян фраксиянын мононитротөрәмә олмасыны көстәрир.

Нитрогруппун бензол һәлгәсиндә изопропил группна нисбәтән вәзийәтини тәйин этмәк мәгсәдилә һәмин фраксия редукция эдилмишдир. Редукция реакциясы дуз туршусу вә синкин иштиракилә, мәлүм гайда үзрә апарылмышдыр.

Алынмыш амин төрәмәнин физики-кимйәви сабитләри 7-чи чәдвәлдә верилләр.

222—224,5° С гайнааян амин фраксиясынын анализинин нәтичәләри беләдир:

7-чи чәдвәл

	Редукция мәһсулу				Әримә температурасы			
	гайнама температурасы, С-лә	d_4^{20}	n_D^{20}	молекула чәкиси	оксалат дузу	HCl дузу	H ₂ SO ₄ дузу	ацетат төрәмәси
116—120°/12 мм гайнааян фраксиянын редукция мәһсулу	222—224,5	0,9524	1,5410	134,3	155—157,5	186	1987 (парчаланыр)	720,5
ортонитроизопропиланилин үчүн мөвчуд әдәбийятда верилән сабитләр	225/761 мм	0,9526		135 (нәзәри)	159 (парчаланыр)		—205	72

Маддә—0,2117 г; CO₂—0,6194 г; H₂O—0,1835 г;

Тапылмыш С—79,84%, Н—9,69%;

C₉H₁₁NH₂ үчүн һесапланмыш С—80,0%; Н—9,62%;

Маддә—0,1412 г; 14,2 мл N (30°, 743 атм.);

Тапылмыш Н—10,58%.

C₉H₁₁NH₂ үчүн һесапланмыш Н—10,57%.

Анализин нәтичәләринә әсасән 116—120°/12 мм гайнааян фраксиянын ортонитроизопропилбензолдан ибарәт олмасы бир даһа мұәййәнләшдирилләр.

125—135°/12 мм гайнааян фраксиясынын анализи. Бу фраксиянын анализи үчүн 125—135°/12 мм гайнааян фраксия енидән тәкратар говулараг, әсас һиссәси 126—129,5°/12 мм гайнааян вә d_4^{20} —1,0832; n_D^{20} —1,5364; молекула чәкиси 164,1 олан фраксия алынмышдыр. Алынан сабитләрин паранитроизопропилбензол үчүн әдәбийятда верилмиш сабитләрлә (гайнама температурасы 128°/12 мм; d_4^{20} —1,0830; n_D^{20} —1,5361; молекула чәкиси 165—нәзәри) тутушдурулмасы, һәмин фраксиянын пара-изомер олмасыны көстәрир. Бу фраксиянын элементар анализиндән ашағыдакы рәгәмләр алынмышдыр:

Маддә—0,1738 г; CO₂—0,4173 г; H₂O—0,1105 г;

Тапылмыш С—65,52%; Н—7,1%;

C₉H₁₁NO₂ үчүн һесапланмыш С—65,41%; Н—6,72%;

Маддә—0,1402 г; 11,6 мл N (30°, 741,5 атм.);

Тапылмыш Н—8,48%;

C₉H₁₁NO₂ үчүн һесапланмыш Н—8,48%.

Нитрогруппун бензол һәлгәсиндә изопропил группна нисбәтән вәзийәтини тәйин этмәк мәгсәдилә 126—129,5°/12 мм гайнааян фраксия редукция эдилмишдир. Редукция реакциясы юхарыда көстәрилмиш шәраитдә апарылмышдыр.

Амин төрәмәси үчүн алынмыш физики-кимйәви сабитләр 8-чи чәдвәлдә верилләр.

Амин төрәмәнин элементар анализинин нәтичәләри ашағыда верилләр:

8-чи чәдвәл

	Редуксия мәһсулу				Әрәмә температурасы, С-лә	
	гайнама температурасы	d_4^{20}	n_D^{20}	молекула чәкисе	оксалат дузу	асетат төрәмәсе
126—129,5°/12 мм гайнаан фраксиянын редуксия мәһсулу	244,5—248	0,9529	1,5419	134,0	153—153,5	101—102,5
Параизопропиланилин үчүн әдәбийятда верилмиш сабитләр	245—250	0,9534	—	135 (нәзәри)	—	102—102,5

Маддә—0,2125 г; CO₂—0,6219 г; H₂O—0,1855 г;

Тапылмыш С—79,86%; Н—9,76%;

C₉H₁₁NO₂ үчүн һесапланмыш С—80,0%; Н—9,62%;

Маддә—0,1398 г; 14,0 мл N(30°, 743 атм.);

Тапылмыш Н—10,54%.

C₉H₁₁NO₂ үчүн һесапланмыш Н—10,37 %.

Нитролашмадан алынган мәһсулун 126,5—129°/12 мм гайнаан фраксиясы вә әләчә дә онун редуксия мәһсулу (224—226° С гайнаан фраксия) үчүн алынмыш физики-кимйәви сабитләрин әдәбийятда верилмиш сабитләрлә мүгайисәси һәмин фраксиянын паранитроизопропилбензолдан ибарәт олмасыны көстәрир.

Беләликлә, изопропилбензолун истәр сульфат-азот вә истәрсә дә шора-сульфат нитролашдырычы гарышыгларла апарылмыш нитролашма реакциясында алынган мәһсулларын анализләринин нәтичәләри һәр ики һалда әсасән орто вә параизомерләрин алынмасыны көстәрир. (гейд әтмәк ләзимдыр ки, чыхым әтибарилә параизомер ортоизомерә нисбәтән чох алыныр).

Бензолун моноалкилтөрәмәсинин бә'зи техники хассәләринин өйрәнилмәси

Изопропилбензолун орто вә паранитротөрәмәләринин дизел яначагынын сәтан әдәди характеристикасына тә'сирини өйрәнмәк мәгсәдилә дизел яначагына 1% юхарыда көстәрилән маддәләрдән әләвәдәрәк, яначагынын кейфийәтинә тә'сири ВОКЕШ чиһазында йохланылмышдыр. Алынмыш нәтичәләр 9-чу чәдвәлдә верилир.

9-чу чәдвәл

Әләвәнин ады	Сәтан әдәди		Йүксәлиш
	әләвәсиз	1% әләвә илә	
Ортонитроизопропилбензол	41,5	42,3	0,8
Паранитроизопропилбензол	41,5	42,0	0,5

9-чу чәдвәлдә верилән рәгәмләрдән айдын көрүнүр ки, орто вә паранитробирләшмәләрин дизел яначагына әләвәси сәтан әдәдинә, демәк олар ки, һеч бир тә'сир көстәрмир. Әлдә әдилән нәтичәләрә әсасланараг изопропилбензолун мононитротөрәмәләринин бу мәгсәд үчүн ярарлы олмасыны гейд әтмәк ләзимдыр.

Нәтичәләр

1. Изопропилбензолун сульфат-азот вә шора-сульфат нитролашдырычы гарышыгларла нитролашма реакциясы өйрәнилмишди.

2. Нитролашма реакциясына карбогидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтләринин (һәр ики нитролашдырычы гарышыг үчүн), нитролашдырычы гарышыгы нөвүнүн вә тәркибинин тә'сири өйрәнилмишди:

а) азот-сульфат нитролашдырычы гарышыгла нитролашдырма реакциясында карбогидрокенин азот туршусуна олан моляр нисбәтини 1:2,0—1:1,1 әтрафында дәйишдикдә, хам нитробирләшмәнин вә мононитротөрәмәнин чыхымына тә'сир көстәрәрәк бүтүн һалларда көтүрүлмүш карбогидрокенин чеврилмә фаизи дәйишмәмиш галыр.

Шора-сульфат нитролашдырычы гарышыгла нитролашдырма реакциясында реакция гарышыгы компонентләринин моляр нисбәтинин дәйишдирилмәси көтүрүлмүш карбогидрокенин чеврилмә фаизинә мүәййән дәрәчә тә'сир көстәрир.

б) истәр азот-сульфат вә истәрсә дә шора-сульфат туршусу нитролашдырычы гарышыгларын тә'сирлә мононитротөрәмәләрин эйни изомерләри—орто вә параизомерләр алыныр, лакин хаммалын эйни дәрәчәдә нитролашмасы үчүн шоранын шора-сульфат туршусу гарышыгындакы артыг мигдары азот-сульфат туршулары гарышыгындакы азот туршусунун артыг мигдарына нисбәтән даһа чох олмалыдыр.

в) шора-сульфат туршусу гарышыгы илә нитролашдырма просесиндә нитролашдырычы гарышыгын мигдары тәркиби нитролашма дәрәчәсинә кәскин сурәтдә тә'сир көстәрир; гарышыгын тәркибиндә суюн мигдары артыгча вә буна уйгун оларак сульфат туршусунун гатылыгы азалдыгча, көтүрүлмүш карбогидрокенин чеврилмә дәрәчәси кәскин азалыр вә әксинә, гарышыгын тәркибиндә суюн мигдарынын азалмасы көтүрүлмүш карбогидрокенин максимал дәрәчәдә нитролашма просесинә чәлб әдилмәсинә имкан ярадыр.

3. Моноалкилбензолларын ян зәнчиләриндә карбон атомларынын сайынын С₃-дән С₅-әдәк артырылмасы карбогидрокенин нитролашма, хусусилә динитробирләшмә әмәлә кәтирмә габилийәтини азалдыр.

4. Алкил группларынын сайынын артмасы ароматик карбогидрокенләрдә һәлгәдәки гидрокен атомунун нитрогруппа әвәз олунмасыны чәтинләшдирир вә карбогидрокенин нитролашма реакциясында чеврилмә фаизини ашагы салыр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев И. З. ЖРХО, т. 32, отд. 1 (1902).
2. Гепп П. ЖРХО, т. 8, отд. 2, в. 5 (1876).
3. Геворкян А. А. Диссертация, АЗНИИ им. Куйбышева, 1944.
4. Гольман А. Ф. ЖРХО, т. 28, отд. 2 (1896).
5. Залесская Т. Е. ЖХО, т. 17, отд. 3 (1947).
6. Коновалов М. И. ЖРХО, т. 24, отд. 2, в. 1 (1892).
7. Коновалов М. И. ЖРХО, т. 28, отд. 2 (1896).
8. Коновалов М. И. ЖРХО, т. 37, отд. 1, в. 4 (1905).
9. Курсанов Н. И. ЖРХО, т. 33, отд. 1, в. 8 (1901).
10. Поспехов В. Л. ЖРХО, т. 18 (1886).

11. Титов А. И. ЖОХ, т. 6, в. 12 (1936).
12. Титов А. И. ЖОХ, т. 7, в. 3—4 (1937).
13. Титов А. И. и Боряникова А. Н. ЖОХ, т. 22, в. 8 (1925).
14. Топчиев А. В. Нитрование углеводов и других органических соединений. Изд. АН СССР, 1949.
15. Усанович М. И. и др. ЖОХ, т. 10, в. 3 (1940).
16. Шарыгин П. П. и Топчиев А. В. ЖОХ, т. 5 (1935).
17. Шарыгин П. П. и Топчиев А. В. ЖОХ, т. 7 (1937), т. 8 (1938).
18. Battegay. Bull. Soc. Chim., 43, 109 (1928).
19. Bomberger. Rising. Ber., 33, 3625 (1900).
20. Cormack Mc. Ind. Eng. Chem., 29, 1933 (1937).
21. Grossley, Renouff. J. Chem. Soc., 95—96, 215 (1909).
22. Hasenbach. J. Prakt. Chem., 4, 17 (1871).
23. Holleman A. J. Chem. Soc. Abstr., 17 (1909); Chem. Rev., 1, 187 (1925).
24. Leeds. Ber., 13, 1993 (1880); 14, 482 (1881).
25. Marqueroli, Lorette. Bull. Soc. Chim., 27, 424 (1920).
26. Menke. Rec. Trav. Chim., 44, 1163 (1907).
27. Neroton. J. Am. Chem. Soc., 65, 2434 (1943).
28. Noelting, Geismann. Ber., 19, 144 (1886).
29. Orton. Ber., 40, 371 (1907).
30. Pink. J. Am. Chem. Soc., 49, 2536 (1927).
31. Spinder P. Ann., 224, 283 (1884).
32. Schaarschmidt, Smolla. Ber., 57, 32 (1924).
33. Schultz G. Ber., 17, 477 (1884).
34. Wieland. Ber., 54, 1776 (1921).
35. Will. Ber., 47, 704 (1914).
36. Witt, Noelting. Ber., 18, 1337.

С. Д. Мехтиев, А. Ш. Новрузова

Исследование реакции нитрования ароматических углеводов

Сообщение 1

Исследование реакции нитрования изопропилбензола серноазотной и селитросерной нитрующими смесями

РЕЗЮМЕ

Основная часть опубликованных в научно-технической литературе работ, посвященных реакции нитрования ароматических углеводов, относится к исследованию реакции нитрования низкомолекулярных ароматических углеводов, содержащих до 8 углеродных атомов в молекуле. Число работ, посвященных исследованию более высокомолекулярных ароматических углеводов очень ограничено.

В резюмируемой работе представляются результаты нашего экспериментального исследования реакции нитрования изопропилбензола серноазотной и селитросерной нитрующими смесями при различных условиях ведения процесса.

Исследование влияния различных факторов на течение процесса позволили установить оптимальные условия реакции, позволяющие получить максимальные выходы моонитропроизводного изопропилбензола.

Детальное изучение состава продуктов реакции с применением различных химических приемов и физико-химических методов дали возможность установить природу полученных нами нитропродуктов и основные направления протекающей реакции.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать по проведенной работе следующие основные выводы.

1. Исследованы реакции нитрования изопропилбензола как серноазотной, так и селитросерной нитрующими смесями.

2. Изучено влияние различных факторов (молярного соотношения компонентов исходного сырья, типа и состава нитрующей смеси) на процесс нитрования изопропилбензола и установлено, что

а) изменение молярного соотношения углеводорода к азотной кислоте в пределах 1:2—1:1,1 при нитровании серноазотной нитрующей смесью приводит лишь к изменению выхода серого нитропродукта и моонитрозамещенного, сохраняя почти неизменным во всех случаях процент превращения исходного углеводорода. В процессе нитрования селитросерной нитрующей смесью изменение молярного соотношения компонентов реакционной смеси значительно влияет и на процент превращения исходного углеводорода;

б) нитрование как серноазотной, так и селитросерной нитрующими смесями приводит к одним и тем же изомерам моонитропроизводных орто- и пара-изомерам; образование мета-изомера, если даже имеет место, то во всяком случае незначительное. Для достижения одинаковой глубины нитрования при серноазотной нитрующей смеси требуется значительно меньшего избытка азотной кислоты, чем селитры при нитровании селитросерной нитрующей смесью;

в) в процессе нитрования селитросерной нитрующей смесью количественный состав нитрующей смеси в сильной степени влияет на глубину нитрования: с повышением в составе нитрующей смеси количества воды и соответственным уменьшением количества серной кислоты процент превращения исходного углеводорода резко снижается и, наоборот, уменьшение содержания воды способствует максимальному вовлечению в реакцию нитрования исходного углеводорода.

3. Исследовано влияние орто- и парамоонитроизопропилбензола на качество дизельного топлива; установлено, что добавка указанных соединений в количестве 1% к топливу почти не влияет на его цетановую характеристику.

В. Ф. НЕГРЕЕВ, А. А. ФАРХАДОВ, Б. А. ЗАМАНОВ

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ТЕКУЩЕЙ МОРСКОЙ ВОДЫ

Борьба с коррозией стали в морской воде приобрела в нефтяной промышленности значительно большую остроту в связи с развитием морского бурения и эксплуатации нефтяных месторождений в Каспийском море.

Коррозия в морской воде стальных свай грозит авариями и потерей дорогостоящих сооружений. Наибольшая скорость коррозии наблюдается в зоне периодического смачивания [1]. Поэтому защите свай в этой зоне должно быть уделено наибольшее внимание.

В настоящее время от коррозии в зоне периодического смачивания применяют краску АИШ с дополнительным усилением пушсмазкой. Этот способ защиты свай требует частого подхода к сваям наиболее неудобной для работы зоне, что затрудняется штормами и практически возможно лишь в летнее время.

В зоне полного погружения защита свай осуществляется электрохимическим способом, при этом отмечена возможность снижения скорости коррозии на участке до 0,3—0,4 м выше уровня воды [4].

Электрохимическая защита является единственно приемлемой и практически полностью прекращающей коррозию свай в подводной зоне.

Большой интерес представляет распространение электрохимической защиты на зону периодического смачивания. Основным условием применения электрохимической защиты является наличие электролита. В зоне периодического смачивания свай это может быть осуществлено непрерывным орошением свай морской водой. В этом случае электрохимическая защита отличается от обычных условий ее применения (в почве или объеме морской воды), тем, что она осуществляется в пленке текущей морской воды.

Кинетика электрохимических процессов коррозии металлов под неподвижными тонкими слоями электролитов исследована в Институте физической химии Академии наук СССР [2, 3].

Настоящая работа имела целью изучить электрохимическое поведение стали в тонких пленках текущей морской воды, что имеет место на сваях в зоне периодического смачивания, при набегании волны или при искусственном орошении морской водой для осуществления катодной защиты в этой зоне.

Для расчета катодной защиты в тонких пленках текущей морской воды необходимо было выяснить минимальную защитную плот-

В. Ф. НЕГРЕЕВ, А. А. ФАРХАДОВ, Б. А. ЗАМАНОВ

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ТЕКУЩЕЙ МОРСКОЙ ВОДЫ

Борьба с коррозией стали в морской воде приобрела в нефтяной промышленности значительно большую остроту в связи с развитием морского бурения и эксплуатации нефтяных месторождений в Каспийском море.

Коррозия в морской воде стальных свай грозит авариями и потерей дорогостоящих сооружений. Наибольшая скорость коррозии наблюдается в зоне периодического смачивания [1]. Поэтому защите свай в этой зоне должно быть уделено наибольшее внимание.

В настоящее время от коррозии в зоне периодического смачивания применяют краску АИШ с дополнительным усилением пушсмазкой. Этот способ защиты свай требует частого подхода к сваям наиболее неудобной для работы зоне, что затрудняется штормами и практически возможно лишь в летнее время.

В зоне полного погружения защита свай осуществляется электрохимическим способом, при этом отмечена возможность снижения скорости коррозии на участке до 0,3—0,4 м выше уровня воды [4].

Электрохимическая защита является единственно приемлемой и практически полностью прекращающей коррозию свай в подводной зоне.

Большой интерес представляет распространение электрохимической защиты на зону периодического смачивания. Основным условием применения электрохимической защиты является наличие электролита. В зоне периодического смачивания свай это может быть осуществлено непрерывным орошением свай морской водой. В этом случае электрохимическая защита отличается от обычных условий ее применения (в почве или объеме морской воды), тем, что она осуществляется в пленке текущей морской воды.

Кинетика электрохимических процессов коррозии металлов под неподвижными тонкими слоями электролитов исследована в Институте физической химии Академии наук СССР [2, 3].

Настоящая работа имела целью изучить электрохимическое поведение стали в тонких пленках текущей морской воды, что имеет место на сваях в зоне периодического смачивания, при набегании волны или при искусственном орошении морской водой для осуществления катодной защиты в этой зоне.

Для расчета катодной защиты в тонких пленках текущей морской воды необходимо было выяснить минимальную защитную плот-

ность тока, потенциал и радиус действия защиты (расстояние зоны эффективной защиты от анода).

Схема установки для изучения поляризации стали показана на рис. 1.

Для создания непрерывно текущих пленок электролита различной толщины был изготовлен лоток 6 из органического стекла, в дно которого были вмонтированы электроды 16 и 17 из трубной стали таким образом, чтобы поверхности электродов и лотка были бы на одном уровне. Поверхность электрода была отполирована. Морская

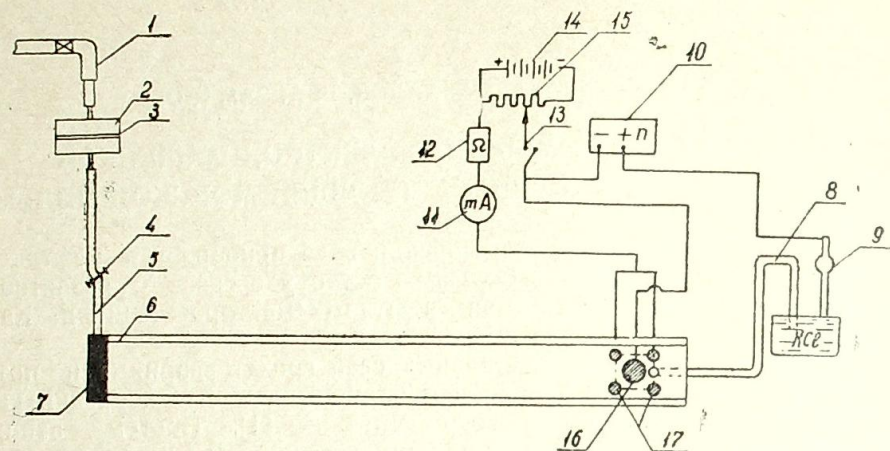


Рис. 1

Экспериментальная схема для снятия кривых катодной поляризации в пленках текущей морской воды

1—пожарный водопровод, 2—фильтр, 3—прокладка из стеклоткани, 4—зажим, 5—питающая трубка, 6—лоток, 7—трубка, 8—агар-агаровый ключ, 9—каломельный электрод, 10—потенциометр, 11—миллиамперметр, 12—магазин сопротивлений, 13—переключатель, 14—аккумуляторная батарея, 15—реостат, 16—катод, 17—анод

вода непрерывно поступала из пожарного водопровода через щель на конце трубки, вставленной в торец лотка. Морская вода предварительно фильтровалась для очистки от механических примесей. Толщина пленок электролита определялась по количеству воды, протекающей через лоток за определенный промежуток времени (30 сек.) и вычислялась по формуле.

$$h = \frac{G}{V \cdot S} = \frac{\omega \tau}{30 I \cdot S},$$

где h —толщина пленки, см;

G —расход воды, см³/сек;

V —скорость потока, см/сек;

S —ширина лотка, см;

ω —объем электролита, протекающего через лоток, см³;

l —длина лотка, см;

τ —время прохождения электролитом пути l , сек.

Регулирование потока морской воды производилось зажимом на питающей трубке и краном водопроводной системы.

Для поддержания постоянной скорости потока, равной 42 см/сек, для пленок электролита различной толщины приходилось изменять угол наклона лотка. Во всех случаях время прохождения электролитом пути l , равного 50 см, равнялось 1,2 сек. Определялась катодная поляризация стали с целью установления минимальной защит-

ной плотности тока. Поляризация производилась в пленках электролита толщиной 150, 300, 500, 750 мк и в потоке воды с толщиной пленки, равной глубине лотка — 3 мм. Малая толщина (150—300 мк) соответствует пленке, образующейся в реальных условиях на сваях при набегании волны, большая толщина (свыше 500 мк)—пленке, образующейся при искусственном орошении свай морской водой.

Катодом служил круглый стальной электрод диаметром 10 мм. Для равномерного распределения тока на катоде аноды (выполненные в виде круглых стержней) располагались вокруг катода на расстоянии 10 мм. Агар-агаровый ключ устанавливался у катода в отверстии лотка, заподлицо, ниже катода по течению воды и, таким образом, не мешал равномерному протеканию электролита.

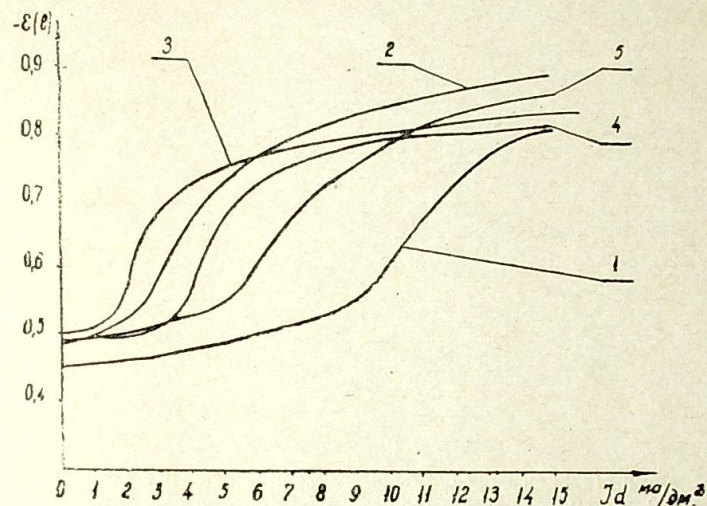


Рис. 2

Кривые катодной поляризации стали в пленках текущей морской воды
Толщина пленки: 1—150 мк, 2—300 мк, 3—500 мк, 4—750 мк, 5—поток морской воды—2—3 мк

Перед опытом катод стабилизировался в текущей морской воде, пока изменение потенциала не превышало 1 мВ в минуту (примерно около 2 часов). Кривые катодной поляризации для различной толщины пленки текущей морской воды графически показаны на рис. 2. Величина начального потенциала стали под пленками текущей морской воды различной толщины колеблется в пределах 450—500 мВ (относительно водородного электрода). Наибольшая величина защитного тока (11 мА/дм²) соответствует пленке толщиной 150 мк. При этом кривая получается пологой и диффузионный участок не так редко выделяется, как при более толстых пленках.

Для пленок толщиной 300 мк защитный ток соответственно равен 4 и 2,5 мА/дм². Таким образом, с увеличением толщины текущей пленки электролита защитная плотность тока уменьшается. Однако более значительное увеличение толщины пленки приводит к некоторому возрастанию защитного тока, достигающего 4,5 мА/дм² для пленки толщиной 2—3 мм.

Это можно объяснить тем, что с увеличением толщины пленки от 150 до 500 мк затрудняется приток кислорода к металлу, осуществляемый диффузией и конвекцией. Этим уменьшается активность катод-

ного процесса и соответствующая скорость коррозии, что сказывается на уменьшении требуемого защитного тока для торможения коррозии. Увеличение толщины пленки до 750 μ и выше приводит к изменению характера протекания электролита. Плавное течение сменяется турбулентным потоком с завихрениями, электролит перемещается и увеличивается конвекционный приток кислорода к катоду. Соответственно возрастает скорость кислородной деполяризации коррозионного процесса и повышается защитная плотность тока. Защитный потенциал для всех толщин текущих пленок морской воды получается одинаковым и равным 0,65 в (относительно нормального водородного электрода). При изучении катодных поляризационных

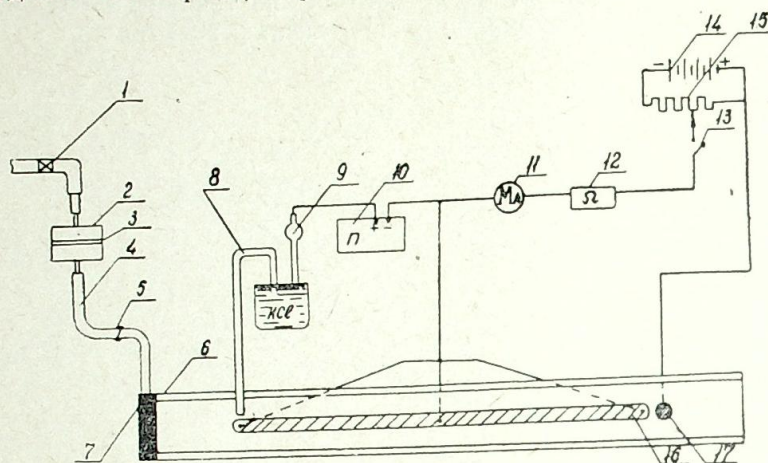


Рис. 3

Экспериментальная схема для определения зоны распространения катодной защиты в пленках текущей морской воды

1—пожарный водопровод, 2—фильтр, 3—прокладка из стеклоткани, 4—питающая трубка, 5—зажим, 6—лоток, 7—трубка, 8—агар-агаровый ключ, 9—каломельный электрод, 10—потенциометр, 11—миллиамперметр, 12—магазин сопротивлений, 13—переключатель, 14—аккумуляторная батарея, 15—реостат, 16—катод, 17—анод

кривых для принятой толщины пленок было проверено влияние омического фактора. Как показали эксперименты, омический фактор не влияет в данных условиях на расположение и характеристику поляризационных кривых.

Для установления расстояния между анодами изучалось распределение потенциалов вдоль катодозащищенной поверхности стального электрода. Схема установки показана на рис. 3. Стальной катод 16 имел форму полосы длиной 420 мм, шириной 10 мм, анод 17—форму круга диаметром 10 мм, расположенного на расстоянии 2 см от конца катода. Катод поляризовался внешним током. Пленки текущей морской воды имели толщину 150, 300, 500 и 2000—3000 μ .

Сила защитного тока в каждом случае соответствовала найденной выше плотности тока.

Потенциалы измерялись в 13 точках вдоль катода. Первой точкой являлся конец, ближайший к аноду. Интервал между первыми пятью точками равнялся 2 см, между последними восемью точками—4 см. Для выяснения изменения распространения защитного эффекта со временем замеры производились через 15 мин. (начальные) и по истечении суток после начала поляризации внешним током. Размеры зоны распространения катодной защиты приведены в таблице.

В этой таблице жирной чертой отделены потенциалы, достаточные для защиты (сверху), от потенциалов меньших, чем требуемые для полной защиты стали (внизу).

Коррозия стали в пленках текущей морской воды должна прекратиться при смещении потенциала в сторону отрицательных значений на 175—200 мв. Считая начальный потенциал стали в 420—460 мв, защитный потенциал принимаем равным 640—650 мв (относительно водородного электрода). Эта величина совпадает со значением защитного потенциала, определенного (см. выше) по кривым катодной поляризации в тонких пленках текущей воды.

Как видно из таблицы, при катодной поляризации токами, установленными для соответствующей толщины пленки текущей воды, протяженность защитной зоны во всех случаях примерно одинакова и со временем возрастает. Через сутки длина защитной зоны близка к 12 см.

Следует отметить, что увеличение времени поляризации до 48 час. лишь незначительно увеличивает зону распространения защиты. С целью увеличения протяженности защищенного участка были проведены опыты с повышением плотности поляризующего тока.

Расстояние от анода, см	Потенциал (мв) при различной толщине пленки и соответствующей плотности тока							
	150 μ		300 μ		500 μ		поток 3000 μ	
	11 ма/дм ²		4 ма/дм ²		2,5 ма/дм ²		5,5 ма/дм ²	
	начальн.	через 24 часа	начальн.	через 24 часа	начальн.	через 24 часа	начальн.	через 24 часа
2	1020	1503	888	942	830	950	894	1040
4	850	1215	868	844	724	872	815	894
6	740	1036	740	784	645	810	760	814
8	662	887	685	740	580	760	690	750
10	610	760	652	713	530	715	640	682
14	542	565	592	632	462	657	550	616
18	502	512	574	612	432	598	508	550
22	495	495	563	580	430	560	494	515
26	488	492	550	554	430	508	480	490
30	502	490	534	540	410	490	472	480
34	507	490	520	536	400	482	470	462
38	503	488	515	538	400	480	470	461
42	490	490	510	540	402	472	468	462

Примечание. Все значения потенциалов отрицательные, вычислены относительно нормального водородного электрода.

Результаты опытов показали, что при этом протяженность защитного участка со временем возрастает незначительно. Увеличение плотности поляризующего тока в 2—3 раза мало влияет на протяженность защищаемого участка. Увеличение плотности тока с 5 до 15 ма/дм² при поляризации в потоке (толщина пленки 2—3 мм) расширяет защитную зону всего на 2 см (с 12 до 14 см). В пленке толщиной 300 μ защитная зона увеличивается на 4 см. Таким образом, следует отметить, что повышение плотности защитного тока не на много увеличивает зону защиты. Зону распространения защиты следует принять в 10—12 см.

Для подтверждения правильности полученных результатов работы по определению параметров электрической защиты в пленках текущей воды было проведено испытание в естественных условиях для проверки возможности применения катодной защиты в пленках текущей воды.

Для этой цели нами были изготовлены модели свай, представляющие набор стальных патрубков (диаметром 100 мм, высотой 50 мм), одевавшихся на деревянный шток и соединенных друг с другом проводом. Места контакта и провод тщательно изолировались. Модели свай устанавливались в море так, что один патрубок каждой модели находился на границе вода—воздух, остальные—над водой на различной высоте до 1,7 м.

Одна из моделей не омывалась и не подвергалась катодной защите. Другие непрерывно омывались морской водой из специального омывающего устройства. Патрубки, расположенные на деревянном штоке, подключались к отрицательному полюсу источника тока. Положительный полюс соединялся с анодами. Аноды состояли из стальных вертикально расположенных полос, электрически изолированных от модели свай, и отстоящих от нее на 2—3 мм. Расстояние между параллельно расположенными анодными стержнями—25 мм. При подсчете требуемой силы тока для одной модели учитывались поверхности образцов, находящихся непосредственно в зоне действия анода. Испытание проводилось при плотности тока 5—5,5 ма/дм^2 в течение 60 суток.

После 60-суточного испытания модели свай были извлечены из моря, очищены от продуктов коррозии и взвешены. Скорость коррозии незащищенных и неомываемых образцов на высоте 0,7 м от уровня воды достигала (в июле—августе) 0,7 $\text{г/м}^2 \cdot \text{час}$.

Совсем иная картина наблюдается на образцах, подвергавшихся катодной защите. На них не наблюдалось максимума коррозии в зоне периодического смачивания, а скорость коррозии не превышала 0,02—0,03 $\text{г/м}^2 \cdot \text{час}$, т. е. была в 30—40 раз меньшей.

Эти испытания, проведенные в естественных условиях, подтвердили результаты лабораторных исследований параметров электрохимической защиты в тонких пленках текущей морской воды.

Заключение

Проведенная работа показала возможность осуществления электрохимической защиты в тонких пленках текущей морской воды, что может быть практически применено для защиты свай морских сооружений и других объектов. Установлены основные параметры защиты (плотность тока, защитный потенциал, зоны действия защиты в зависимости от толщины пленки).

Защитная плотность тока не является линейной функцией толщины пленки, она зависит от притока кислорода.

Зона распространения катодной защиты возрастает со временем, она зависит от отлагающихся катодных осадков. Значительное увеличение плотности тока не приводит к большому увеличению зоны защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Негреев В. Ф., Знайченко С. Г. АНХ, № 11, 1948.
2. Розенфельд И. Л., Павлуцкая Т. П. „Заводская лаборатория“, № 4, 1955.
3. Розенфельд И. Л., Павлуцкая Т. П., ЖФХ, т. XXX, в. 6, 1956.
4. Фархадов А. А. Коррозия морских нефтепромысловых сооружений и катодная защита. Азнефтеиздат, 1955.

В. Ф. Негреев, Э. Э. Фархадов, Б. Э. Заманов

Полад сәтһиндә ахар дәннз суюнун яратдығы назик пәрдэләрдә электрокимйәви мұһафизәнин тәтбиг олунмасы

ХҮЛАСӘ

Дәннз шәраитиндә кедән коррозия гаршы апарылан мұбаризә дәннз нефт сәнаенин вә дәннз шәраитиндә ишләйән мұхтәлиф сәһәләри йүксәк дәрәчәдә марагландырыр.

Коррозиянын шиддәтли тәсири, әсас әтибарилә, даягларын вахташыры исламма зонасында мұшәһидә олунур. Буна көрә дә даягларын вахташыры исламма зонасында кедән коррозия гаршы мұбаризәйә чидди нәзәр етирмәк лазымдыр. Шүбһәсиз, коррозиянын бу зонада гаршысынын электрокимйәви үсулла алынмасы артыг дәрәчәдә мараглыдыр. Бу зонада коррозиянын сүрәти 0,7 мм/ил-дир . Апарылмыш тәдгигатын әсас мәгсәди полады ахан дәннз суюнун тәбәгәси алтындакы электрокимйәви хассәсини, йәни катод мұһафизәсинин тәтбиги үчүн лазыми чәрәян сыхлығыны вә катод мұһафизәсинин метал сәтһи боюнча ййылмасыны өйрәнмәк иди.

Тәдгигат нәтичәсиндә мұәййән олду ки, даягларын вахташыры исламма зонасындакы шиддәтли коррозиянын гаршысыны алмаг үчүн катод мұһафизәсинин тәтбиги мүмкүндүр.

Гейд этмәк лазымдыр ки:

а) мұһафизә үчүн тәййин олунмуш чәрәян сыхлығы даягларын вахташыры исламма зонасында дәннз суюнун һәммин зонада су тәбәгәсинин галынлығы илә дүз мұтәнасиб дейил вә катод реакциясында иштирак әдән оксикенин мигдарындан асылдыр.

б) катод мұһафизәсинин метал сәтһи үзәриндә ййылмасы вахтдан вә сәтһ үзәриндә катод реакциясы нәтичәсиндә әмәлә кәлмиш карбонат дузлары тәбәгәсинин галынлығындан асылдыр.

в) чәрәян сыхлығынын бир нечә дэфә артырылмасы катод мұһафизәсинин метал сәтһи боюнча (анода нисбәтән) артмасына имкан яратмыр.

МҮНДӘРИЧАТ

Б. Н. Ағаев, К. Г. Һәсәнов, К. И. Худавердиев, С. Я. Ягубов. Хәтти фәзаларда хәтти функционалларын еканә давамы һаггында	3
Ю. А. Маһмудов. Тезһесаблаян ардычыл привсипли риязи электрон машыналарында бөлмә әмәлийятыны сүр'әтләндирән ени бир үсул һаггында	13
Һ. Б. Абдуллаев. Селен дүзләндиричиләринин комплекс мугавимәтинин тәдгиги	27
Ю. А. Бабич. Галынлығына көрә анизотроп олан лайда маеин ачылма дәрәҗәсинә көрә тәкмил олмаян гуюя ахмасы	39
Ә. М. Һәсәнов. Газлы нефтин сүзүлмә тәнликләринин тәдгиги	47
Х. М. Хәлилов. Маддәләрин критик сыхлығы һаггында	51
Л. М. Мирзәева. Ики фазалы гарышығын (газ-бәрк маддә) истиликвермә просесинин тәдгиги	53
А. А. Паршина. Бору истеһсалатында бору өлчүләринин йохланмасы	65
Т. Д. Дадашова. Кечиричилыйи шагули истигамәтдә дәйишән лайда ерләшдирилмиш натамам гуюя сыхылмаян мае һәрәкәти һаггында мәсәлә һәлли	79
С. Ч. Мейдиев, А. Ш. Новрузова. Ароматик карбоһидрокенләрин нитролашма реакциясынын тәдгиги	85
В. Ф. Негреев, Ә. Ә. Фәрһадов, Б. Ә. Заманов. Полад сәтһиндә ахар дәниз суюнун яратдығы назик пәрдәләрдә электрокимйәви мугафизәнин тәтбиг олунамасы	103

СОДЕРЖАНИЕ

Г. Н. Агаев, К. Г. Гасанов, К. И. Худавердиев, С. Я. Якубов. О единственном положении линейных функционалов в линейных пространствах	3
Ю. А. Махмудов. Об одном методе сокращения времени деления в цифровых быстродействующих машинах последовательного действия	13
Г. Б. Абдуллаев. Исследование комплексного сопротивления селеновых выпрямителей	27
Ю. А. Бабич. Приток жидкости к несовершенной по степени вскрытия скважине в пласте анизотропном по мощности	39
А. М. Гасанов. Исследование уравнений фильтрации газированной нефти	47
Х. М. Халилов. О критических плотностях веществ	51
Л. М. Мирзоева. Вывод обобщенной зависимости теплообмена для двухфазной системы (газ — твердое вещество)	53
А. А. Паршина. К вопросу контроля размеров в трубном производстве	65
Т. Д. Дадашева. Решение задачи о притоке несжимаемой жидкости к несовершенной скважине, расположенной в пласте с переменной по вертикали проницаемостью	79
С. Д. Мехтиев, А. Ш. Новрузова. Исследование реакции нитрования ароматических углеводов	85
В. Ф. Негреев, А. А. Фархадов, Б. А. Заманов. К вопросу о применении электрохимической защиты в тонких пленках текущей морской воды	103