П-169

АЗӘРБАЈҶАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН

ХӘБӘРЛӘРИ

ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ФИЗИКА-РИЈАЗИЈЈАТ ВӘ ТЕХНИКА ЕЛМЛӘРИ СЕРИЈАСЫ

☆

СЕРИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

2

П 28597

[illegible] НАУЧНАЯ
[illegible] БИБЛИОТЕКА
[illegible] АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

1960

АЗӘРБАЈҶАН ССР ЕА НӘШРИЈЈАТЫ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Бакы — Баку

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ә. С. ЧӘФӘРОВ

n-ҺАРМОНИК ФУНКСИЈАЛАРЫН БӘ'ЗИ ХАССӘЛӘРИ ҺАГГЫНДА

Сон заманлар сәрһәд функсијасынын вә ујғун һармоник функсијанын диференсиал-гурулуш хассәләри арасындакы әлагәни көстәрән бә'зи мараглы нәтичәләр алынмышдыр (мәсәлән, бах [1] — [8], [10], [13]).

Мәгаләдә n-һармоник функсијаларын n-һармоник полиномлар васитәсилә ән јахшы јахынлашмасына аид бир сыра дүз вә тәрс теоремләр исбат олунур. Алынмыш бу нәтичәләр сәрһәд функсијасынын диференсиал хассәләринә әсасән ујғун n-һармоник функсијанын диференсиал хассәләрини вә тәрсинә n-һармоник функсијанын диференсиал хассәләринә әсасән сәрһәд функсијасынын диференсиал хассәләрини мүәјјән етмәјә имкан верир.

n-һармоник функсијанын диференсиал хассәләринә аид алынмыш бу нәтичәләр исә $n=1$ һалында өзлүјүндә С. М. Николски [10], Ј. С. Бугров [3], [4] В. М. Бабич вә Л. Н. Слободетскинин [1], һармоник функсија илә онун сәрһәд функсијасынын диференсиал хассәләри арасындакы әлагәни көстәрән ујғун нәтичәләрдән дә үмумидир.

$L_p^{(N)}(G)$ илә $1\leqslant p<\infty$ олдугда n өлчүлү G областында p дәрәчәдән интегралланан вә нормасы

$$\| \varphi \|_{p,G}^{(N)} = \left(\int \ldots \int_G | \varphi(x_1, \ldots, x_N)|^p dx_1 \ldots dx_N \right)^{1/p}$$

илә, $p=\infty$ олдугда исә

$$\| \varphi \|_{\infty,G}^{(N)} = \operatorname{supurai} | \varphi(x_1, \ldots, x_N) |$$
$$(x_1, \ldots, x_N) \in G$$

илә тә'јин олунан $\varphi(x_1, \ldots, x_N)$ функсијалар синфини ишарә едәк; хүсуси һалда $\varphi(x_1, \ldots, x_N)$ функсијасы һәр бир дәјишәнә нәзәрән 2π периодлу олса вә $G = \{0\leqslant x_s \leqslant 2\pi,\ s=1, \ldots, N\}$ исә биз $L_p^{*(N)}$ ишарәсини ишләдәчәјик.

k—тәбии әдәд олсун. G' илә G-нин ихтијари алт областыны ишарә едәк вә фәрз едәк ки, kh елә векторун гијмәтидир ки, oG' областыны x_s оху истигамәтиндә вә G-дән кәнара чыхмамаг шәртилә һәрәкәт етдирир. Белә вектора јарајан вектор дејәчәјик.

G-нин ихтијары алт областы G' вә ихтијары ујғун јарајан вектору васитәсилә ашағыдакы кими тә'јин олунан $\omega_{kx_s}(\delta, \varphi)_{p,G}$ функсијасына

РЕДАКСИЈА ҺЕЈ'ӘТИ: *З. И. Хәлилов* (редактор), *С. М. Гулијев* (редактор мүавини), *Һ. Б. Абдуллајев*, *Ч. М. Чүварлы*, *И. И. Ибраһимов*, *А. Ә. Әфәндизадә*, *Һ. Ф. Султанов*.

φ-нин x_s дәјишәнинә көрә k тәртибли кәсилмәзлик модулу дејәчәјик:

$$\omega_{kx_s}(\delta, \varphi)_{p,\,G} = \sup_{G',\,|h|<\delta} \| \Delta^k_{hx_s} \varphi \|^{(N)}_{p,\,G'},$$

бурада $\Delta^k_{hx_s}\varphi$, φ функсијасының x_s дәјишәнинә нәзәрән h аддымлы вә k тәртибли сонлу фәргдир.

Хүсуси һалда $\varphi(x_1, \ldots, x_N)$ функсијасы x_s дәјишәнинә нәзәрән периодик олса јухарыдакы тә'рифдә $G'=G$ вә δ-ны ихтијары әдәд көтүрмәк лазымдыр. $\varphi(x_1, \ldots, x_N)$ һәр бир дәјишәнә нәзәрән 2π периодлу функсија вә $G_* = \{0 \leqslant x_s \leqslant 2\pi,\ s = 1, \ldots, N\}$ олса $\omega_{kx_s}(\delta, \varphi)_{p,\,G}$ ишарәси әвәзинә $\omega_{kx_s}(\delta, \varphi)_{p,\,N}$ ишарәсини ишләдәчәјик.

$a_s(x_1, \ldots, x_N)$ вә $b_s(x_1, \ldots, x_N)$ $(s = 1, \ldots, N)$ функсијалары бахылан G областы үчүн $L_p^{(N)}(G)$ синфинә дахил исә

$$\Phi_{m\rho 0}(\rho, \theta, x_1, \ldots, x_N) = \sum_{s=0}^{m} \rho^s (a_s \cos s\theta + b_s \sin s\theta)$$

функсијасына ρ, θ дәјишәнләр чүтүнә нәзәрән m дәрәчәли һармоник полином дејәчәјик, $\Phi_{m_1 \ldots m_n} = \Phi_{m_1 \ldots m_n}(\rho_1, \theta_1, \ldots, \rho_n, \theta_n)$ илә $\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n$ дәјишәнләр чүтүнә нәзәрән ујғун олараг $m_1, \ldots, m$ дәрәчәли һармоник полином олан функсијаны ишарә едәк вә ону n-һармоник полином адландыраг.

Даһа сонра

$$D'_{\rho_0} = [\rho_0 \leqslant \rho < 1,\ 0 \leqslant \theta \leqslant 2\pi,\ (x_1, \ldots, x_{N-2}) \in G]$$

$$D_{\rho_0 I^s} = [0 \leqslant \rho_1 < 1,\ i \neq s,\ \rho_0 \leqslant \rho_s < 1,\ 0 \leqslant \theta_i \leqslant 2\pi \quad i = 1, \ldots, N]$$

олсун. Кәләчәкдә, хүсуси һалда, $\rho_0=0$ олдугда јухарыдакы ишарәләр әвәзинә ујғун олараг D' вә D, јухарыдакы ишарәләри исә $\rho_0>0$ олан һалда, ишләјәчәјик.

$F \in L_p^{(N)}(D')$ олдугда

$$B^{(N)}_{m\rho 0}(F)_{p,\,D'} = \inf_{\Phi_{m\rho 0}} \| F - \Phi_{m\rho 0} \|^{(N)}_{p,\,D'},$$

$F \in L_p^{(2N)}(D)$ олдугда исә

$$B^{(2N)}_{m_1 \ldots m_N}(F)_{p,\,D} = \inf_{\Phi_{m_1 \ldots m_n}} \| F - \Phi_{m_1 \ldots m_n} \|^{(2N)}_{p,\,D}$$

олсун.

Үмумиләшмиш Дирихле мәсәләси вә онун һәлли һаггында

Полјар кординатларында

$$\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2}\frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$$

Лаплас оператору үчүн ашағыдакы үмумиләшмиш Дирихле мәсәләсинә бахаг:

Елә $U(\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$ функсијасы тапмаг тәләб олунур ки, о гејд олунмуш

$\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_{i-1}, \theta_{i-1}; \rho_{i+1}, \theta_{i+1}; \ldots; \rho_n, \theta_n$ үчүн ρ_i, θ_i дәјишәнләринә нәзәрән

$$\Delta U = 0 \quad (0 \leqslant \rho_i < 1,\ 0 \leqslant \theta_i \leqslant 2\pi) \qquad (1)$$

$$(i = 1, \ldots, n)$$

тәнлијини өдәмәклә (белә U функсијасына n-һармоник функсија дејәк).

$$U\Big|_{\substack{\rho_s = 1 \\ s = 1, \ldots, n}} = f(\theta_1, \ldots, \theta_n) \qquad (2)$$

сәрһәд шәртини өдәсин.

Теорем 1. *$f(t_1, \ldots, t_n)$ функсијасының, өзү $r \geqslant 0$ тәртибдән $\frac{\partial^r f}{\partial t_1^r}$ хүсуси төрәмәси $L_p^{*(n)}$ синфинә дахилсә*

$$K(\rho, t) = \frac{1}{2}\frac{1-\rho^2}{1-2\rho\cos t+\rho^2} \qquad 0 \leqslant \rho < 1, \qquad 0 \leqslant t \leqslant 2\pi$$

(Пуассон нүвәси),

$$F_m(t) = \left(\frac{\sin\frac{nt}{2}}{n\sin\frac{t}{2}}\right)^2$$

(Фејер нүвәси) олдугда

$$\left\| \frac{1}{\pi^{n+1}} \int_0^{2\pi} K(\rho, t_1) f(t_1 + \theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt - \right.$$

$$- \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho, t_1) [2F_{2m-1}(\alpha) - F_m(\alpha)] f(t_1 + \alpha + $$

$$\left. + \theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt_1\, d\alpha \right\|^{(n+1)}_{p,\,D'} \leqslant d \frac{1}{m^{r+\frac{1}{p}}} \omega^*_{k t_1}\left(f_{t_1}^{(r)}, \frac{1}{m}\right)_{p,\,n}$$

Исбаты. Асанлыгла көстәрмәк олар ки,

$$K(\rho, t) = \sum_0' \rho^k \cos kt = \sum_{k=0}^{\infty} (k+1)\,\Delta^2 \rho^k F_k(t) \quad (0 \leqslant \rho < 1)$$

$$\Delta^2 \rho^k = \rho^k - 2\rho^{k+1} + \rho^{k+2}$$

(Биринчи чәм үзәриндәки штрих $k=0$-а ујғун һәддин $\frac{1}{2}$-ә бәрабәр олдуғуну көстәрир).

$f(t_1, \ldots, t_n)$ функсијасынын t_1 дәјишәнинә нәзәрән Фурје сырасынын хүсуси чәмини s_{mt_1} вә $\tau_{mt_1} = \frac{s_{mt_1} + \ldots + s_{(2m-1)t_1}}{m}$ көтүрсәк ајдындыр ки, санки һәр јердә гејд олунмуш $t_2, \ldots, t_n$ дәјишәнләри үчүн

$$\tau_{mt_1}(f) = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} [2F_{2m-1}(t_1) - F_m(t_1)]\, f(t_1+\theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt_1$$

ифадәсини ала биләрик, бурада $F_k(t)$ Фејер нүвәсидир вә

$$\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} F_k(t_1)\, dt_1 = 1 \quad (k = 1, 2, \ldots,)$$

Ајдындыр ки, $\tau_{mt_1}(f)$-ин нәтичәси θ дәјишәнинә нәзәрән тәртиби $2m$—1-дән бөјүк олмајан тригонометрик полиномдур вә $1 \leqslant p \leqslant \infty$ үчүн

$$\| \tau_{mt_1}(f) \|_p^{(n)} = \left(\int_0^{2\pi} \ldots \int_0^{2\pi} | \tau_{mt_1}(f) |^p\, dt_1 \ldots dt_n \right)^{1/p} \leqslant B \| f \|_p^{(n)} \quad (3)$$

бурада B сабитдир.

Теоремин шәртләри дахилиндә t_1 дәјишәнинә нәзәрән тәртиби m-дән бөјүк олмајан елә тригонометрик полином вар ки,

$$\| f - \tau_{mt_1} \|_p^{(n)} \leqslant \frac{C}{m^r} \omega^*_{kt_1}\left(f^{(r)}_{t_1}; \frac{1}{m} \right)_p \quad (4)$$

бәрабәрсизлији өдәнилир, C бурада f вә m-дән асылы дејилдир.

$\tau_{mt_1}(f)$-ин ифадәсиндән ајдынча көрүнүр ки, $\tau_{mt_1}(T_{mt_1}) = T_{mt_1}$. Буна көрә дә (3) вә (4)-дән

$$\| f - \tau_{mt_1}(f) \|_p^{(n)} \leqslant \| f - T_{mt_1} \|_p^{(n)} + \| \tau_{mt_1}(f - T_{mt_1}) \|_p^{(n)} \leqslant$$

$$\leqslant \frac{C(B+1)}{m^r} \omega_{kt_1}\left(f^{(r_1)}_{t_1} \frac{1}{m}; \right)_p .$$

ρ, θ дәјишәнләринә нәзәрән дәрәчәси $(2m-1)$-дән бөјүк олмајан ашағыдакы һармоник полинома бахаг.

$$\Phi_{m\rho\theta}(\rho, \theta, t_2, \ldots, t_n) = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho, t_1)\, \tau_{mt_1}(t_1+\theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt_1 =$$

$$= \frac{1}{\pi^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho, t_1)\, [2F_{2m-1}(t) - F_{m-1}(t)]\, f(t + t_1 +$$

$$\theta_1, t_2, \ldots, t_n) dt dt_1 .$$

Онда J. C. Бугровда (бах: [4] сәh. 497) олдуғу кими давам етсәк алырыг ки,

$$\| U(\rho, \theta, t_2, \ldots, t_n) - \Phi_{m\rho\theta}(\rho, \theta, t_2 \ldots, t_n) \|_{p,D'}^{(n+1)} \leqslant$$

$$\leqslant \frac{C_1}{m^{r+\frac{1}{p}}} \omega^*_{kt_1}\left(f^{(r)}_{t_1} \frac{1}{m} \right)_p .$$

C_1—бурада m вә f-дән асылы дејил.

Бу теоремдән ашағыдакы нәтичәләри аларыг.

Теорем 1′. Теорем 1-ин шәртләри дахилиндә

$$B^{(n+1)}_{m\rho\theta}(f)_{p,D'} \leqslant \frac{C_2}{m^{r+\frac{1}{p}}} \omega^*_{kt_1}\left(f^{(r)}_{t_1}; \frac{1}{m} \right)_p .$$

Теорем 2. *Фәрз едәк ки, $f(t_1, \ldots, t_n)$ функсијанын өзү вә $i=1, \ldots, n$ үчүн r_i $(r_i \geqslant 0)$ мәртибдән $\frac{\partial^{r_i} f}{\partial t_i^{r_i}}$ хүсуси төрәмәси*[1] *$L_p^{*(n)}$ синфинә дахилдир.*

Онда (1)—(2) мәсәләсини өдәјән функсијаны $U(\rho_1, \theta_1; \ldots \rho_n, \theta_n)$ $(0 \leqslant \rho_s < 1,\ 0 \leqslant \theta_s \leqslant 2\pi\ s=1, \ldots, n)$ илә ишарә етсәк ихтијари $m_1, \ldots, m_n$ мәбиј әдәдләри үчүн елә $\Phi_{m_1,\ldots,m_n}(\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$ полиному вар ки,

$$\| U - \Phi_{m_1 \ldots m_n} \|_{p,D}^{(2n)} \leqslant d \sum_{s=1}^{n} \frac{1}{m_s^{r_s+\frac{1}{p}}} \omega^*_{k_s t_s}\left(f^{(r_i)}_{t_i}; \frac{1}{m} \right)_p ,$$

d—бурада f вә $m_1, \ldots, m_n$-дән асылы дејил.

Исбаты. Садә олмаг үчүн теореми $n=3$ һалында исбат едәк. Ајдындыр ки, (1)—(2) мәсәләсинин һәлли белә дир.

$$U(\rho_1, \theta_1; \rho_2, \theta_2; \rho_3, \theta_3) =$$

$$= \frac{1}{\pi^3}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_1, t_1)\, K(\rho_2, t_2)\, K(\rho_3, t_3)\, f(t_1+\theta_1, t_2+\theta_2, t_3+\theta_3) dt_1\, dt_2\, dt_3 .$$

Ашағыдакы дүстурла тә'јин олунан $\Phi_{m_1 m_2 m_3}(\rho_1, \theta_1; \rho_2; \theta_2; \rho_3, \theta_3)$ асанлыгла јохламаг олар ки, $\rho_1, \theta_1; \rho_2, \theta_2; \rho_3, \theta_3$ дәјишән чүтләринә нәзәрән ујғун олараг m_1, m_2, m_3 дәрәчәли һармоник полиномдур:

$$\Phi_{m_1 m_2 m_3} = \frac{1}{\pi^6} \underbrace{\int_0^{2\pi} \ldots \int_0^{2\pi}}_{6} A_{m_1}(\rho_1, t_1, \alpha_1)\, A_{m_2}(\rho_2, t_2, \alpha_2)\, A_{m_3}(\rho_3, t_3, \alpha_3) \times$$

$$\times f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+\alpha_2+\theta_2, t_3+\alpha_3+\theta_3)\, dt_1\, dt_2\, dt_3\, d\alpha_1\, d\alpha_2\, d\alpha_3,$$

бурада

$$A_m(\rho, t, \alpha) = K(\rho, t)\, [2F_{2m-1}(\alpha) - F_m(\alpha)]$$

Бу полином үчүн ашағыдакы бәрабәрлик доғрудур:

$$U - \Phi_{m_1 m_2 m_3} = \frac{1}{\pi^6}\int_0^{2\pi} \ldots \int_0^{2\pi} A_{m_1}(\rho_1, t_1, \alpha_1) A_{m_2}(\rho_2, t_2, \alpha_2)\, A_{m_3}(\rho_3, t_3, \alpha_3) \times$$

$$\times [f(t_1+\theta_1, t_2+\theta_2, t_3+\theta_3) - f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+\alpha_2+\theta_2, t_3 +$$

$$+ \alpha_3+\theta_3)]\, dt_1\, dt_2\, dt_3\, d\alpha_1\, d\alpha_2\, d\alpha_3 = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3,$$

бурада исә

[1] Мәгаләдә төрәмә үмумиләшмиш мә'нада башa дүшүлүр.

$$\psi_1 = \frac{1}{\pi^6}\int_0^{2\pi}\ldots\int_0^{2\pi} A_{m_1}(\rho_1, t_1, \alpha_1)\, A_{m_2}(\rho_2, t_2, \alpha_2)\, A_{m_3}(\rho_3, t_3, \alpha_3)\times$$

$$\times [f(t_1+\theta_1, t_2+\theta_2, t_3+\theta_3) - f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+\theta_2, t_3+ +\theta_3)]\, dt_1\, dt_2\, dt_3\, d\alpha_1\, d\alpha_2\, d\alpha_3 =$$

$$= \frac{1}{\pi^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_2, t_2)\, K(\rho_3, t_3)\left\{\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_1, t_1)\, f(t_1+\theta_1, t_2+ + \theta_2, t_3+\theta_3)\, dt_1 - \frac{1}{\pi^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho, t_1)\,[2F_{2m_1-1}(\alpha) - F_{m_1}(\alpha)]\, f(t_1+ + \theta_1+\alpha_1, t_2+\theta_2, t_3+\theta_3)\, dt_1\, d\alpha_1\right\} dt_2\, dt_3$$

$$\psi_2 = \frac{1}{\pi^6}\int_0^{2\pi}\ldots\int_0^{2\pi} A_{m_1}(\rho_1, t_1, \alpha_1)\, A_{m_2}(\rho_2, t_2, \alpha_2)\, A_{m_3}(\rho_3, t_3, \alpha_3)\times$$

$$\times [f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+\theta_2, t_3+\theta_3) - f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+ + \alpha_2+\theta_2, t_3+\theta_3)]\, dt_1\, dt_2\, dt_3\, d\alpha_1\, d\alpha_2\, d\alpha_3 =$$

$$= \frac{1}{\pi^3}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_1, t_1)\, K(\rho_3, t_3)\,[2F_{2m_1-1}(\alpha_1) - F_{m_1}(\alpha_1)]\left\{\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_2, t_2)\, f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+\theta_2, t_3+\theta_3)\, dt_2 - \frac{1}{\pi^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K,(\rho_2, t_2)\,[2F_{2m_2-1}(\alpha_2) - F_{m_2}(\alpha_2)]\, f(t_1+\alpha_1+ + \theta_1, t_2+\alpha_2+\theta_2, t_3+\theta_3)\, dt_2\, d\alpha_2\right\} dt_1\, dt_2\, d\alpha_1$$

$$\psi_3 = \frac{1}{\pi^6}\int_0^{2\pi}\ldots\int_0^{2\pi} A_{m_1}(\rho_1, t_1, \alpha_1)\, A_{m_2}(\rho_2, t_2, \alpha_2)\, A_{m_3}(\rho_3, t_3, \alpha_3)\times$$

$$\times [f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+\alpha_2+\theta_2, t_3+\theta_3) - f(t_1+\alpha_1+\theta_1, t_2+ +\alpha_2+\theta_2, t_3+\alpha_3+\theta_3)]\times dt_1\, dt_2\, dt_3\, d\alpha_1\, d\alpha_2\, d\alpha_3 =$$

$$= \frac{1}{\pi^4}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_1, t_1)\, K(\rho_3, t_3)\times[2F_{2m_1-1}(\alpha_1) - F_{m_1}(\alpha_1)][2F_{2m_2-1}(\alpha_2) - F_{m_2}(\alpha_2)]\times\left\{\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_3, t_3)\, f(t_1+\alpha_1+ +\theta_1, t_2+\alpha_2+\theta_2, t_3+\theta_3)\, dt_3 - \frac{1}{\pi^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} K(\rho_3, t_3)\, f(t_1+\alpha_1+ + \theta_1, t_2+\alpha_2+\theta_2, t_3+\alpha_3+\theta_3)\, dt_3\, d\alpha_3\right\} dt_1\, dt_2\, d\alpha_1\, d\alpha_2$$

Умумиләшмиш Минковски бәрабәрлијинә вә әввәлки теорема әсасән алырыг ки,

$$\|\psi_1\|^{(6)}_{p,D_1'} \leqslant \frac{d_{k_1}}{m_1^{r_1+\frac{1}{p}}}\,\overset{*}{\omega}_{k_1 t_1}\left(f^{(r_1)}_{t_1}; \frac{1}{m_1}\right)_p,$$

$$\|\psi_2\|^{(6)}_{p,D_2'} \leqslant \frac{3d_{k_2}}{m_2^{r_2+\frac{1}{p}}}\,\overset{*}{\omega}_{k_2 t_2}\left(f^{(r_2)}_{t_2}; \frac{1}{m_2}\right)_p$$

$$\|\psi_3\|^{(6)}_{p,D_3'} \leqslant \frac{9d_{k_3}}{m_3^{r_3+\frac{1}{p}}}\,\overset{*}{\omega}_{k_3 t_3}\left(f^{(r_3)}_{t_3}; \frac{1}{m_3}\right)_p.$$

Демәли ашағыдакы доғрудур.

$$\|U - \Phi_{m_1 m_2 m_3}\|_{p,D} \leqslant \sum_1^3 \|\psi_s\|_{p,D_s^1} \leqslant d\sum_1^3 \frac{1}{m_s^{r_s+\frac{1}{p}}}\,\overset{*}{\omega}_{k_s t_s}\left(f^{(r_s)}_{t_s}; \frac{1}{m_s}\right)_p$$

Теорем исбат олунду.

Ахырынчы теоремдән ашағыдакы нәтичә алыныр:

Теорем 2′. Теорем 2-нин шәртләри дахилиндә

$$B^{(2n)}_{m_1\ldots m_n}(U)_{p,D} \leqslant d\sum_{s=1}^{n}\frac{1}{m_s^{r_s+\frac{1}{p}}}\,\overset{*}{\omega}_{k_s t_s}\left(f^{(rs)}_{t_s}; \frac{1}{m_s}\right)_p.$$

J. С. Бугровун $\Phi_{m\rho\theta}(\rho, \theta, x_1, \ldots, x_n)$ һармоник полиному үчүн олан

$$\left\|\frac{\partial^l \Phi_{m\rho\,0}}{\partial\rho^l}\right\|_{p,D'_{1/2}} \leqslant C_2\, m^l \|\Phi_{m\rho 0}\|_p$$

$$\left\|\frac{\partial^l \Phi_{m\rho 0}}{\partial\theta^l}\right\| \leqslant m^l \|\Phi_{m\rho 0}\|_p,$$

(бурада $l=1, 2, \ldots, 1\leqslant p\leqslant\infty$, C_2—исә сабитдир) бәрабәрсизликләриндән истифадә едәрәк С. Б. Стечкинин [14] ишиндәки 9 вә 11 теоремләринин исбатларыны үјғунлашдырараг ашағыдакылары исбат етмәк олар.

Теорем 3. *$F\in L_p^{(n+2)}(D')$ оларса ихтијари тәбии k вә $m\leqslant\delta^{-1}$ $(0<\delta\leqslant\delta_0<1)$ үчүн*

$$\left.\begin{matrix}\omega_{k\rho}(\delta, F)_{p,D'_{\rho_0}}\\ \omega_{k\theta}(\delta, F)_{p,D'}\end{matrix}\right\} \leqslant C_3\, m^{-k}\sum_{\nu=1}^{m}\nu^{k-1}\, B^{(n+2)}_{m\rho\theta}(F)_{p,D'}$$

C_3—бурада m вә F-дән асылы дејил.

Теорем 4. *Тутаг ки, $F\in L_\rho^{(n+2)}(D')$, λ-тәбии әдәд вә*

$\sum_{m=1} m^{\lambda-1} B^{(n+2)}_{m\rho\theta}(F)_{p,D'}$ *сырасы јығылыр. Онда истәнилән тәбии k вә*

$m\leqslant\delta$ *үчүн* $(0<\delta\leqslant\delta_0<1)$,

$$\left.\begin{matrix}\omega_{k\rho}\left(\delta, \dfrac{\partial^\lambda F}{\partial \rho^\lambda}\right)_{p, D'\rho_0}\\ \omega_{k\theta}\left(\delta, \dfrac{\partial^\lambda F}{\partial \theta^\lambda}\right)_{p, D'}\end{matrix}\right\} \leqslant C_4\left\{m^{-k}\sum_{\nu=1}^{m}\nu^{k+\lambda-1}B_{m\rho\theta}(F)_p + \sum_{\nu=m+1}^{\infty}\nu^{\lambda-1}B_{m\rho\theta}(F)\right\}$$

C_4—*бурада* m вә F-*дән асылы дејил.*

$m_1, \ldots, m_n$ ихтијары тәбии әдәдләри үчүн теорем 2′-ин шәртләри дахилиндә

$$B^{(2n)}_{m_1 \ldots m_n}(U)_{p, D} \leqslant d\sum_{s=1}^{n}\frac{1}{m_s^{r_s+\frac{1}{p}}}\omega^*_{k_s t_s}\left(f^{(r_s)}_{t_s}; \frac{1}{m_s}\right)_p$$

вә үмуми јәтлә

$$B^{(2n)}_{m_s \rho_s \theta_s}(U)_{p, D} \leqslant B^{(2n)}_{m_1 \ldots m_n}(U)_{p, D}$$

олдуғуну нәзәрә аларағ теорем 3 вә 4-дән ујғун олараг ашағыдакылар алыныр.

Теорем 3′. Теорем 2-нин шәртләри дахилиндә $U(\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$ функсијасы (1)—(2) мәсәләсинин һәллисә, $q_1, \ldots, q_n$ вә $m \leqslant \delta^{-1}$ $(0<\delta\leqslant\delta_0<1)$ тәбии әдәдләри үчүн

$$\left.\begin{matrix}\omega_{q_s\rho_s}(\delta, U)_{p, D s\rho_0}\\ \omega_{q_s\theta_s}(\delta, U)_{p, D}\end{matrix}\right\} \leqslant C_5 m^{-q_s}\sum_{\nu=1}^{m}\nu^{q_s-r_s-1-\frac{1}{p}}\omega_{k_s t_s}\left(f^{(r_s)}_{t_s}; \frac{1}{m}\right)_p,$$

C_5—*бурада* m, f-*дән асылы дејил.*

Теорем 4′. Теорем 2-нин шәртләри дахилиндә $U=U(\rho_1, \theta_1, \ldots, \rho_n, \theta)$ функсијасы (1), (2) мәсәләсинин һәллисә вә λ_s тәбии әдәд олдуғда

$$\sum_{\nu=m}^{\infty}\nu^{\lambda_s-r_s-1-\frac{1}{p}}\omega_{k_s t_s}\left(f^{(r_s)}_{t_s}; \frac{1}{m}\right)_p$$

сырасы јығылса, ихтијары тәбии q_s вә $m\leqslant\delta^{-1}$ $(0<\delta\leqslant\delta_0<1)$ әдәдләри үчүн

$$\left.\begin{matrix}\omega_{q_s\rho_s}(U^{(\lambda_s)}_{\rho_s}\delta)_{p, D s\rho_0}\\ \omega_{q_s\theta_s}(U^{(\lambda_s)}_{\theta_s}; \delta)_{p, D}\end{matrix}\right\} \leqslant C_6\left\{m^{-q_s}\sum_{\nu=1}^{m}\nu^{q_s+\lambda_s-r_s-1-\frac{1}{p}}\omega^*_{k_s t_s}\left(f^{(r_s)}_{t_s}; \frac{1}{m}\right)_p + \right.$$

$$\left. + \sum_{\nu=m}^{\infty}\nu^{\lambda_s-r_s-1-\frac{1}{p}}\omega^*_{k_s t_s}\left(f^{(r_s)}_{t_s}; \frac{1}{m}\right)_p\right\},$$

C_6—*бурада* m вә f-*дән асылы дејил.*

Хүсуси һалда $n=1$, $\omega^*_{k_1 t_1}(f^{(r_1)}_{t_1}; \delta)_p \leqslant M\delta^\alpha$, $0<\alpha\leqslant 1$, $k_1=1, 2$ оларса, теорем 3 вә 4-дән J. C. Бугровун [4] ишиндәки 1-чи теорем, 3 вә 4-дән исә һәмин ишин II теорем шәртинин кафилији алыныр. [5] ишиндәки теорем 2-ни тәтбиг етмәклә U функсијасының гарышыг олмајан төрәмәләринин хассәләрини өјрәнмәк олар.

Теорем 5. *Фәрз едәк ки, D областында тә'јин олунмуш $U(\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$ функсијасы $\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n$ дәјишән чүтләриндән һәр биринә нәзәрән* (о бири чүтләри кими етдикдә) *вањид даирәсиндә һармоникдир. Өзү вә* $\dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \rho_i^{r_i}}$, $\dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \theta_i^{r_i}}$ $(i=1, \ldots, n)$ *үмуми-ләшмиш төрәмәләри D областында p дәрәчәдән интегралланыр вә*

$$\left.\begin{matrix}\omega_{2\rho_i}\left(\delta, \dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \rho_i^{r_i}}\right)_{p, D}\\ \omega_{2\theta_i}\left(\delta, \dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \theta_i^{r_i}}\right)_{p, D}\end{matrix}\right\} \leqslant C_7\delta^{\alpha_i}\prod_{j=1}^{q}\ln_j^{s_j^{(1)}}\frac{1}{\delta} \qquad (0<\delta\leqslant\delta_0<1)$$

$(0<\alpha_i\leqslant 1)$, $(i=1, \ldots, n)$. Ашағыдакы ишләри гәбул едәк

$$\chi_n = 1 - \frac{1}{p}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{r_i+\alpha_i}, \qquad \theta_n^{(j)} = -\frac{1}{p}\sum_{i=1}^{n}\frac{s_j^{(i)}}{r_i+\alpha_i}.$$

1) $\chi_n > 0$ оларса

$$B^{(2n)}_{m_1 \ldots m_n}(U)_{p, D} \leqslant C_8\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{m_i^{(r_i+\alpha_i)\chi_n+\frac{1}{p}}}\sum_{j=1}^{q}(\ln_j m_i)^{\chi_n s_j^{(i)}+\theta_n^{(j)}}.$$

2) $\chi_n=0$, лакин һәр һансы $l\geqslant 1$ үчүн $j=1, \ldots, l-1$ олдугда, $\theta_m^{(j)} = -1$, $\theta_m^{(l)} < -1$ оларса

$$B^{(2n)}_{m_1 \ldots m_n}(U)_p \leqslant C_9\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{m_i^{\frac{1}{p}}}\prod_{j=i+1}^{n}(\ln_j m_i)^{\theta_m^{(j)}}.$$

Теоремин исбаты, шәртдә верилән диференсиал хассәләрин сахланылмасы шәртилә U функсијасыны $2n$ өлчүлү Евклид фәзасына јајмаг (бунун мүмкүн олмасы С. М. Николскинин [9], [12] вә В. К. Дзјадыкин [6] шәклиндәки мүһакимәләрин көмәјилә [17]-дә көстәрилмишдир) вә сонра алынан функсијаја [5] ишиндәки I дахилолма теоремини тәтбиг етмәклә $U(1, \theta_1; \ldots; 1, \theta_n) = f(\theta_1, \ldots, \theta_n)$ функсијасы үчүн мүәјјән олунан диференсиал хассәләрә көрә теорем 2′-дән алыныр.

Хүсуси һалда $n=1$, $s_j^{(1)}=0$ $(j=1, \ldots, q)$ оларса, теорем 5-дән J. C. Бугровун ишиндәки II теоремин шәртинин зәрурилији алыныр.

Үмумиләшмиш Нејман мәсәләси вә онун һәлли һаггында. Инди (2) сәрһәд шәртини

$$\left.\frac{\partial U}{\partial \rho_i}\right|_{\substack{\rho_s=1\\ s=1, \ldots, n}} = \psi(\theta_1, \ldots, \theta_n), \qquad \int_0^{2\pi}\psi(\theta_1, \ldots, \theta_n)\, d\theta_i = 0 \qquad (5)$$

$$(i=1, \ldots, n)$$

илә әвәз едәрәк (1), (5) үмумиләшмиш Нејман мәсәләсинә бахаг.

Теорем 6. $\psi(t_1, \ldots, t_n)$ *функсијасының өзү вә $r\geqslant 0$ тәртибдән* $\dfrac{\partial^r \psi}{dt_1^r}$ *хүсуси төрәмәси $L_p^{(n)}$ синфинә дахилсә вә* $\int_0^{2\pi}\psi(\theta_1, \ldots, \theta_n)d\theta_1 = 0$

$$k_1(\rho, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\rho^k}{k} \cos kt \qquad (0 \leqslant \rho < 1,\ 0 \leqslant t \leqslant 2\pi)$$

олдугда

$$\left\| \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} K_1(\rho, t_1)\, \psi(t_1 + \theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt - \right.$$

$$- \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} K_1(\rho, t_1)\, [2F_{2m-1}(\alpha) F_m(\alpha)]\, \psi(t_1 + \alpha +$$

$$\left. + \theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt_1\, d\alpha \right|_{p,D'}^{(n+1)} \leqslant$$

$$\leqslant d_k' \frac{1}{m^{r+1+\frac{1}{p}}} \omega_{k t_i}^{*}\left(f_{t_i}^{(r)}; \frac{1}{m}\right)_p,$$

(*d—бурада m вә ψ-дән асылы олмајан сабитдир*).

Исбаты. Шәртә әсасән $\int_0^{2\pi} \psi(\theta_1, \ldots, \theta_n)\, d\theta_1 = 0$ олдуғундан о бири шәртләри дә нәзәрә алдыгда сәрбәст һәдди сыфра бәрабәр олан елә T_{mt_i} тригонометрик полиному вар ки,

$$\| \psi - T_{mt_i} \|_p^{(n)} \leqslant \frac{C_{10}}{m^r} \omega_{k t_i}^{*}\left(\psi_{t_i}^{(r)}; \frac{1}{m}\right)_p \qquad (6)$$

өдәнилир;

$$T_{mt_i} = (-1)^{k+t} \int_0^{2\pi} K_n(t) \sum_{l=1}^{k} (-1)^{k-l} (i^k)\, \psi(t_1 + i\alpha, t_2, \ldots, t_n)\, d\alpha$$

тригонометрик полиному һәмин тәләби өдәјир, бурада

$$K_n(t) = b_q \left(\frac{\sin \frac{qt}{2}}{\sin \frac{t}{2}} \right)^{2k_0},$$

k_0—n-дән асылы олмајан там әдәд, $2k_0 \geqslant k+2$, b_q—тәбии әдәди

$$\frac{n}{2k_0} < q \leqslant \frac{n}{2k_0} + 1$$

бәрабәрсизлијиндән, b_q исә $\int_0^{2\pi} K_n(t)\, dt = 1$ шәртиндән тапылыр (бах [14], сәһ. 226).

Онда, бу һалда да $\tau_{mt_i}(T_{mt_i}) = T_{mt_i}$ олмасына әсасән теорем 1-ин исбатында олдуғу кими, асанлыгла көрмәк олар ки,

$$\| \psi - \tau_{mt_i}(\psi) \|_p^{(n)} \leqslant \frac{C_{11}}{m^r} \omega_{k t_i}\left(\psi_{t_i}^{(r)}; \frac{1}{m}\right)_p.$$

$$K_1(\rho, t) = \sum_{1}^{\infty} (k+1)\, \Delta^2 \frac{\rho^k}{k} F_k(t) - \rho + \frac{\rho^2}{4}$$

олдуғундан (бах [4] сәһ. 501)

$$\overline{\Phi}_{m\rho 0}(\rho, \theta, t_2, \ldots, t_n) = A + \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} K_1(\rho, t_1)\, [2F_{2m-1}(\alpha) -$$

$$- F_m(\alpha)]\, \psi(t_1 + \alpha + \theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt_1\, d\alpha$$

көтүрсәк

$$A + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} K_1(\rho, t_1)\, \psi(t_1 + \theta, t_2, \ldots, t_n)\, dt -$$

$$- \overline{\Phi}_{m\rho 0}(\rho, \theta, t_2, \ldots, t_n) =$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \sum_{m}^{\infty} (K+1)\, \Delta^2 \frac{\rho^k}{k} F_k(t_1)\, [\psi(t_1 + \theta) -$$

$$- \tau_{mt_i}(\psi \cdot t_1 + \theta, t_2, \ldots, t_n)]\, dt_1$$

олур. Сонра Ј. С. Бугровда олдуғу кими давам етсәк теореми исбат етмиш олуруг.

Теорем 7. *Фәрз едәк ки,* $\psi(t_1, \ldots, t_n)$ *функсијасынын өзү вә* $i = 1, \ldots, n$ *үчүн* r_i $(r_i \geqslant 0)$ *тәртибдән* $\frac{\partial^{r_i} f}{\partial x_i^{r_i}}$ *хүсуси төрәмәси* $L_p^{*(n)}$ *синфинә дахилдир. Онда* (1), (5) *мәсәләсини өдәјән функсијаны* $U(\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$ $(0 \leqslant \rho_s < 1,\ 0 \leqslant \theta_s \leqslant 2\pi, s = 1, \ldots n)$ *илә ишарә етсәк ихтијары* $m_1, \ldots, m_n$ *тәбии әдәдләри үчүн елә* $\Phi_{m_1 \ldots m_n}(\rho, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$ *полиному вар ки,*

$$\| U - \Phi_{m_1 \ldots m_n} \|_{p,D}^{(2n)} \leqslant d \sum_{s=1}^{n} \frac{1}{m_s^{r_s+1+\frac{1}{p}}} \omega_{k_s t_s}^{*}\left(\psi_{t_s}^{(r_s)}; \frac{1}{m_s}\right)_p,$$

олур, d*—бурада* ψ *вә* $m_1, \ldots, m_n$*-дән асылы дејил.*

Бу теоремин исбаты, мәсәлән, $n=3$ олдугда

$$U(\rho_1, \theta_1; \rho_2, \theta_2; \rho_3, \theta_3) = A + \frac{1}{\pi^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} K_1(\rho_1, t_1)\, K_1(\rho_2, t_2)\, K_1(\rho_3, t_3) \times$$

$$\times \psi(t_1 + \theta_1, t_2 + \theta_2, t_3 + \theta_3)\, dt_1\, dt_2\, dt_3,\ \Phi_{m_1 m_2 m_3} = A +$$

$$+ \frac{1}{\pi^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} K_1(\rho_1, t_1) \times K_1(\rho_2, t_2)\, K_1(\rho_3, t_3)\, [F_{2m_1}(\alpha_1) -$$

$$- F_{m_1}(\alpha)]\, [2F_{2m_2}(\alpha_2) - F_{m_2}(\alpha)][2F_{2m_3}(\alpha_3) - F_{m_3}(\alpha_3)] \times$$

$$\times \psi(t_1 + \alpha_1 + \theta_1,\ t_2 + \alpha_2 + \theta_2,\ t_3 + \alpha_3 + \theta_3)\, dt_1 dt_2 dt_3\, d\alpha_1\, d\alpha_2\, d\alpha_3$$

көтүрмәклә теорем 6-нын көмәјилә теорем 2-нин исбаты кимн апарылыр, бурада A—ихтијарлы сабитдир.

Хүсуси һалда $n=1$, $\omega_{k_i t_i}(f_{t_i}^{(r_i)};\delta)_p \leqslant M\delta^{\alpha}(0<\alpha\leqslant 1)$, $\kappa_1=1$, 2 оларса теорем 7,3′ вә 4′-дән J. С. Бугровун [4] ишиндәки III теорем алыныр.

Гејд. Бу ишдәки 1, 1′, 2, 2′, 6 вә 7 теоремләриндә сәрһәд функсијасынын төрәмәләрини кәср тәртибдән һесаб етмәк олар. Бу заман исбат үчүн лазым олан (4) вә (6) бәрабәрсизликләрини өдәјән T_{mt_i} тригонометрик чохһәдлисинин варлыгы һаггында (12)-јә бахмаг лазымдыр.

ӘДӘБИЈЈАТ

1. Бабич В. М. и Слободецкий Л. Н. Об ограниченности интеграла Дирихле „ДАН СССР“, 1956, 106, № 4.
2. Бесов О. В. О некоторых свойствах гармонических функций, заданных на полупространстве. „Изв. АН СССР, серия матем.“, 1956, 20.
3. Бугров Я. С. Задача Дирихле для круга. „ДАН СССР“, 1957, 115, № 4.
4. Бугров Я. С. Свойства полигармонических функций. „Изв. АН СССР, серия матем.“, 1958, 22, № 4.
Джафаров А. С. О некоторых свойствах функций многих переменных. „ДАН Азерб. ССР“, 1958, т. 14, № 7.
6. Дзядык З. К. О продолжении функций, удовлетворяющих условию Липшица в метрике L_p. „Матем. сб.“, 40 (82) 2, 1956.
7. Кошелов А. И. Дифференцируемость решений некоторых задач теории потенциала. „Матем. сб.“, 32 (74) 3, 1953.
8. Мозжерова Н. И. Граничные свойства гармонических функций в трехмерном пространстве. Диссертация, Матем. ин-т им. В. А. Стеклова АН СССР, 1956.
9. Никольский С. М. Свойства некоторых классов функций многих переменных на дифференцируемых многообразиях. „Матем. сб.“, 33 (75)—2, 1953.
10. Никольский С. М. Граничные свойства функций, определенных на области с угловыми точками. „Матем. сб.“, 43 (85) 1, 1957.
11. Никольский С. М. Неравенства для целых функций конечной степени и их применение в теории дифференцируемых функций многих переменных. Труды Матем. ин-та им. В. А. Стеклова АН СССР, т. 38, 1951.
12. Никольский С. М. О продолжении функций многих переменных с сохранением дифференциальных свойств. „Матем. сб.“, 40 (82)—2, 1956.
13. Соболев С. Л. Некоторые применения функционального анализа в математической физике. Изд. ЛГУ, 1950.
14. Стечкин С. Б. О порядке наилучших приближений непрерывных функций. „Изв. АН СССР“, 1951, № 3, стр. 219—242.
15. Тиман А. Ф. О теоремах Джексона. „Укр. матем. журн.“, 1958, № 3.
16. Шафеев М. Н. Граничные свойства двояко-гармонических функций, „Укр матем. журн.“, 1958, № 3.
17. Чәфәров Ә. С. Диференсиал хассәләрин сахланмасы шәртилә функсијаларын јајылмасы һаггында, В. И. Ленин адына Азәрбајчан Дөвләт Педагожи Институтунун әсәрләриндә чап едиләчәкдир.

А. С. Джафаров

О некоторых свойствах n-гармонических функций

РЕЗЮМЕ

За последние годы были получены некоторые интересные результаты, показывающие связь структурно-дифференциальных свойств между граничной и соответствующей гармонической функцией (см. например [1—8, 10, 13]).

В данной статье доказывается несколько прямых и обратных теорем о наилучшем приближении n-гармонических функций посредством n-гармонических полиномов. Полученные результаты дают возможность установить на основании дифференциальных свойств граничной функции подобные свойства соответствующей гармонической функции и обратно: на основании дифференциальных свойств

гармонической функции—свойства граничной функции. Указанные результаты о n-гармонических функциях в случае $n=1$ являются обобщениями соответствующих результатов С. М. Никольского [10], Я. С. Бугрова [3, 4], В. М. Бабича и Л. Н. Слободецкого [1].

Обозначим через $L_p^{(N)}(G)$ класс измеримых функций $\varphi(x_1, \ldots x_N)$ при $1\leqslant p<\infty$, интегрируемых в p-й степени, с нормой

$$\|\varphi\|_{p,G}^{(N)}=\left(\int\limits_G\ldots\int|\varphi(x_1,\ldots,x_N)|^p\,dx_1\ldots dx_N\right)^{1/p},$$

а при $p=\infty$ существенно ограниченных с нормой

$$\|\varphi\|_{\infty,G}^{(N)}=\operatorname{supvrai}|\varphi(x_1,\ldots,x_N)|.$$

$$(x_1,\ldots,x_n)\in G.$$

В частном случае, когда $\varphi(x_1, \ldots, x_N)$ будет 2π периодичной относительно каждого переменного и $G=\{0\leqslant x_s\leqslant 2\pi, s=1, \ldots, N\}$, вместо $L_p^{(N)}(G)$ будем употреблять обозначение $L_p^{(N)}$.

Пусть κ—натуральное число. Обозначим через G произвольную подобласть и допустим, что κh—значение вектора, продвигающего G' в пределах G в направлении оси x_s. Такие векторы будем называть допускающими.

Функцию $\omega_{kx_s}(\delta, \varphi)_{p,G}$, определяемую нижеследующим образом, посредством произвольных подобластей G' области G и допускающих векторов, назовем модулем непрерывности k-го порядка функции φ по переменному x_s:

$$\omega_{kx_s}(\delta,\varphi)_{p,G}=\sup_{G',|h|=\delta}\|\Delta_{hx_s}^k\varphi\|_{p,G}^{(N)},$$

где $\Delta_{hx_s}^k\varphi$ является конечной разностью k-го порядка по переменному x_s с шагом h.

В частности, если $\varphi(x_1, \ldots, x_N)$ будет периодичной относительно переменного x_s, в вышеуказанном определении можно считать, что $G'=G$ и δ—произвольное вещественное число. Если $\varphi(x_1, \ldots, x_N)$ по каждому переменному будет 2π периодичной и $G=\{0\leqslant x_s\leqslant 2\pi, s=1, \ldots N\}$, то вместо $\omega_{kx_s}(\delta,\varphi)_{p,G}$ будем употреблять обозначение $\overset{*}{\omega}_{kx_s}(\delta,\varphi)_p$.

Пусть функции $a_s(x_1, \ldots, x_N)$ и $b_s(x_1, \ldots, x_N)$ $(s=1,\ldots,N)$ для рассматриваемой области G принадлежат классу $L_p^{(N)}(G)$. При этих предположениях относительно a_s и b_s функцию $\Phi_{m\rho\theta}(\rho,\theta,x_1\ldots,x_N)=\sum_{s=0}^{m}\rho^s(a_s\cos s\theta+b_s\sin s\theta)$ относительно пары переменных ρ, θ будем называть гармоническим полиномом степени m. В дальнейшем, под $\Phi_{m_1\ldots m_n}=\Phi_{(m_1-m_n)}\,\rho_1\theta_1;\ldots\rho_n\theta_n$ будем понимать функции, являющиеся гармоническими полиномами степени $m_1, \ldots, m$ по парам переменных $\rho_1, \theta_1, \ldots, \rho_n, \theta_n$ соответственно.

Далее, пусть

$$D'_{\rho_0}=[\rho_0\leqslant\rho\leqslant 1,\ 0\leqslant\theta\leqslant 2\pi,\ (x_1,\ldots,x_{N-2})\in G],$$

$$D_{\rho s}=[0\leqslant\rho_i\leqslant 1,\ i\neq s,\ \rho_0\leqslant\rho_s\leqslant 1,\ 0\leqslant\theta_1\leqslant 2\pi,\ i=1,\ldots,N].$$

Этим обозначениями будем пользоваться при $\rho_0>0$. При ρ_0 вместо указанных обозначений употребим обозначения D' и D соответственно.

Для $F \in L_p^{(N)}(D')$ и $F \in L_p^{(2N)}(D)$ соответственно примем следующие обозначения:

$$B_{m\rho\theta}^{(N)}(F)_p = \inf \| F - \Phi_{m\rho\theta} \|_{p,D'}^{(N)},$$

$$B_{m_1,\ldots,m_N}^{(2N)}(F)_p = \Phi_{m_1,\ldots,m_n} \inf \| F - \Phi_{m_1,\ldots,m_N} \|_{p,D}^{(2N)}.$$

Функцию $U(\rho_1, \theta_1, \ldots, \rho_n, \theta_n)$ $(0 \leqslant \rho_i < 1,\ 0 \leqslant \theta_i \leqslant 2\pi,\ i=1,\ldots,n)$, являющуюся гармонической относительно пар переменных ρ_i, θ_i при фиксировании остальных переменных, будем называть n-гармонической.

Теорема 2′. *Пусть функция* $f(t_1, \ldots, t_n)$ *и ее несмешанные производные** $\dfrac{\partial^{r_i} f}{\partial t_i^{r_i}}$ *порядка* $r_i \geqslant 0$ $(i = 1, \ldots, n)$ *принадлежат классу* $L_p^{(n)}$. *Тогда для* n-*гармонической функции* $U(\rho_1, \theta_1, \ldots, \rho_n, \theta_n)$, *удовлетворяющей граничному условию*

$$U\Big|_{\substack{\rho_s=1 \\ s=1,\ldots,n}} = f(\theta_1, \ldots, \theta_n),$$

выполняется неравенство

$$B_{m_1,\ldots,m_n}^{(2n)}(U)_{p,D} \leqslant d \sum_{s=1}^{n} \frac{1}{m_s^{r_s+\frac{1}{p}}} \omega_{k_s t_s}^{*}\left(f_{t_s}^{(r_s)}; \frac{1}{m_s}\right)_p,$$

где d *не зависит от* $f, m_1, \ldots, m_n$.

Теорема 3′. *В условиях теоремы 2′ для натуральных чисел* $q_1, \ldots, q_n$ *и* $m \leqslant \delta^{-1}$ $(0 < \delta \leqslant \delta_0 < 1)$ *имеем*

$$\left.\begin{matrix} \omega_{q_s\rho_s}(\delta, U)_{p,D'_{\rho_0}} \\ \omega_{q_s\theta_s}(\delta, U)_{p,D} \end{matrix}\right\} \leqslant C\, m^{-q_s} \sum_{\nu=1}^{m} \nu^{q_s-r_s-1-\frac{1}{p}} \omega_{k_s t_s}^{*}\left(f_{t_s}^{(r_s)}; \frac{1}{\nu}\right)_p,$$

где C *не зависит от* m *и* f.

Теорема 4′. *Если имеет место условие теоремы 2′ и, кроме того, для натурального* λ_s *сходится ряд*

$$\sum_{m=1}^{\infty} m^{\lambda_s-r_s-1-\frac{1}{p}} \omega_{k_s t_s}^{*}\left(f_{t_s}^{(r_s)}; \frac{1}{m}\right)_p,$$

то для натуральных $q_1, \ldots, q_n$ *и* $m \leqslant \delta^{-1}$ $(0 < \delta \leqslant \delta_0 < 1)$ *имеем*

$$\left.\begin{matrix} \omega_{q_s\rho_s}\left(\dfrac{\partial^{\lambda_s} U}{\partial \rho_s^{\lambda_s}}; \delta\right)_{p,D_{s\rho_0}} \\ \omega_{q_s\theta_s}\left(\dfrac{\partial^{\lambda_s} U}{\partial \theta_s^{\lambda_s}}; \delta\right)_{p,D} \end{matrix}\right\} \leqslant C \left\{ m^{-q_s} \sum_{\nu=1}^{m} \nu^{q_s+\nu_s-r_s-1-\frac{1}{p}} \times \right.$$

$$\left. \times \omega_{k_s t_s}^{*}\left(f_{t_s}^{(r_s)}; \frac{1}{\nu}\right)_p + \sum_{\nu=m}^{\infty} m^{\lambda_s-r_s-\frac{1}{p}-1} \omega_{k_s t_s}^{*}\left(f_{t_s}^{(r_s)} \frac{1}{\nu}\right)_p \right\},$$

где C *не зависит от* m *и* f.

В случае $n=1$, $\omega_{k_1 t_1}\left(f_{t_1}^{(r_1)}; \delta\right)_p \leqslant M\delta^{\alpha}$ $(0 < \alpha \leqslant 1)$ $k_1 = 1,2$ из теорем 3′ и 4′ получается теорема I и достаточное условие теоремы II работы [4] Я. С. Бугрова.

Теорема 5. *Пусть* n-*гармоническая функция* $U(\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$ *и ее несмешанные производные* $\dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \rho_i^{r_i}}$, $\dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \theta_i^{r_i}}$ $(i=1, \ldots, n)$ *в области* D *интегрируемы в* p-*й степени и для* $0 < \alpha_i \leqslant 1$

$$\left.\begin{matrix} \omega_{2\rho_i}\left(\dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \rho_i^{r_i}}, \delta\right)_{p,D} \\ \omega_{2\theta_i}\left(\dfrac{\partial^{r_i} U}{\partial \theta_i^{r_i}}, \delta\right)_{p,D} \end{matrix}\right\} \leqslant C\,\delta^{\alpha_i} \prod_{j=1}^{q} \ln_j^{s_j^{(i)}} \frac{1}{\delta} \qquad (0 < \delta \leqslant \delta_0 < 1)$$

$(i=1, \ldots, n,\ \ln_j t = \ln(\ln_{j-1} t),\ \ln_1 t = \ln t)$.

Далее пусть

$$\chi_n = 1 - \frac{1}{p} \sum_{l=1}^{n} \frac{1}{r_l + \alpha_l} \qquad \theta_n^{(j)} = -\frac{1}{p} \sum_{l=1}^{n} \frac{s_j^{(i)}}{r_l + \alpha_l}$$

Если $\chi_n > 0$, *то*

$$B_{m_3 \ldots m_n}^{(2n)}(U)_p \leqslant C \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m_i^{(r_l+\alpha_i)\chi_n + \frac{1}{p}}} \prod_{l=1}^{q} (\ln_j m_l)^{\chi_n s_j^{(i)} + \theta_n^{(j)}},$$

а если $\chi = 0$, *но для некоторого* $l \geqslant 1$, *при* $j=1, \ldots, l-1$, $\theta_m^{(j)} = -1$ *и* $\theta_m^{(l)} < -1$, *то*

$$B_{m_1 \ldots m_n}^{(2n)}(U)_p \leqslant C \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m_i^{\frac{1}{p}}} \prod_{i=l+1}^{n} (\ln_j m_l)^{\theta_m^{(j)}}.$$

В частности, если $n=1$, $s_j^{(1)} = 0$ $(j = 1, \ldots, q)$ получается необходимое условие теоремы II работы [4] Я. С. Бугрова.

Теорема 7. *Пусть функция* $\psi(t_1, \ldots, t_n)$ *и ее несмешанные производные* $\dfrac{\partial^{r_i} f}{\partial t_i^{r_i}}$ *порядка* $r_i \geqslant 0$ $(i=1, \ldots, n)$ *принадлежат классу* $L_p^{(n)}$. *Тогда для* n-*гармонической функции* $U(\rho_1, \theta_1; \ldots; \rho_n, \theta_n)$, *удовлетворяющей граничными условиям*

$$\left.\frac{\partial U}{\partial \rho_i}\right|_{\substack{\rho_s=1 \\ s=1,\ldots,n}} = \psi(\theta_1, \ldots, \theta_n), \qquad \int_0^{2\pi} \psi(\theta_1, \ldots, \theta_n)\, d\theta_i = 0,$$

$$i = 1, \ldots n$$

выполняется неравенство

128597

* Во всей работе производная понимается в обобщенном смысле; но в теоремах 2′ и 7 мы можем считать, что производные могут быть и дробного порядка.

$$B^{(2n)}_{l_1 \ldots m_n}(U)_{p,D} \leqslant d \sum_{s=1}^{n} \frac{1}{m_s^{r_s+1+\frac{1}{p}}} \omega^{*}_{k_s t_s}\left(\psi^{(r_s)}_{t_s}; \frac{1}{m_s}\right)_p,$$

где d—не зависит от ψ, $m_2 \ldots m_n$.

В случае $n=1$, $\omega_{k_1 t_1}\left(\psi^{(r)}_{t_1}; \delta\right)_p \leqslant M\delta^{\alpha}$ $(0<\alpha\leqslant 1$ $k_1=1, 2$ из теоремы 7, 3′ и 4′, получается теорема III работы [4] Я. С. Бугрова.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ә. Ш. ҺӘБИБЗАДӘ

БИР ҮМУМИЛӘШМИШ ҺИЛБЕРТ МӘСӘЛӘСИ ҺАГГЫНДА

Фәрз едәк ки, σ^+ мүрәккәб $\Gamma = \Gamma_0 + \sum_{j=1}^{p} \Gamma_j^-$ контуру илә әһатә олунмуш әлагәли областдыр. Бурада Γ_j $(j=\overline{1, p})$ садә гапалы контурлар, Γ_0 исә һәмин контурлары өз дахилинә алан садә гапалы контурдур.

Γ_j $(j=\overline{0, p})$ контурлары илә әһатә олунмуш областлары σ_j $(j=\overline{0, p})$ илә, $\sigma^+ + \Gamma$ илә там мүстәвијә гәдәр тамамланмыш областы исә σ^- илә ишарә едәк.

Тә'риф. σ областынын сонлу сајда b_j $(j=\overline{1, n})$ нөгтәләриндә истәнилән там тәртибдән сонсузлуға чевриләи, галан һиссәсиндә исә һоломорф олан $\varphi(z)$ функсијасына һәмин областда мераморф тикли функсија дејәчәјик.

$a_i^{(1)}$ $(i=\overline{1, n_1})$, $b_i^{(1)}$ $(i=\overline{1, m_1})$ вә $a_i^{(2)}$ $(i=\overline{1, n_2})$, $b_i^{(2)}$ $(i=\overline{1, m_2})$ нөгтәләри үчүн олараг σ^+ вә σ^- областларында верилмиш нөгтәләр олсунлар.

Ашағыдакы сәрһәд мәсәләсинә бахаг. Сонсузлугда сонлу тәртиби олан вә ашағыдакы шәртләри өдәјән һиссә-һиссә мераморф типли $\Phi(z)$ функсијасы тапмалы.

1°. $a_i^{(1)}$, $b_i^{(1)}$ вә $a_i^{(2)}$, $b_i^{(2)}$ нөгтәләри үчүн олараг $\Phi(z)$ функсијасынын сыфырлары вә полјуслары олсунлар.

2°. $\Phi(z)$ функсијасы үчүн

$$\Phi^+(t) = A(t)\,\Phi^-(t) + B(t) \qquad (1)$$

сәрһәд шәрти өдәнилсин. Бурада $A(t)$ вә $B(t)$ Γ контуру үзәриндә верилән вә Һөлдер шәртини өдәјән функсијалардыр. Бу сәрһәд мәсәләсини бирчинс олмајан үмумиләшмиш Һилберт мәсәләси адландырачағыг, $B(t)=0$ халында исә һәмин мәсәләни үчүн олараг үмумиләшмиш бирчинс Һилберт мәсәләси адландырачағыг. Бу мәсәләјә үчүн сәрһәд шәрти

$$\Phi^+(t) = A(t)\,\Phi^-(t) \qquad (2)$$

шәклиндә олачаг. 1°, 2° вә (1) шәртләрини өдәјән $\Phi(z)$-ин тапылма мәсәләсини (Σ) илә ишарә едәк.

Әкәр $A(t) \equiv 1$ исә, онда (1) сәрһәд шәрти

$$\Phi^+(t) - \Phi^-(t) = B(t) \tag{3}$$

шәклиндә олар.

(Σ) мәсәләсини тәдгиг етмәкдән әввәл ашағыдакы хүсуси һаллары нәзәрдән кечирәк.

Әкәр (3) сәрһәд шәрти дахилиндә һиссә-һиссә һоломорф функсија ахтарсајдыг, ја'ни ади Һилберт мәсәләсинә бахсајдыг, онда һәлл Коши типли интегралла ифадә олунарды, ја'ни

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_\Gamma \frac{B(t)\,dt}{t-z} \tag{4}$$

оларды.

Һәмчинин $b_i^{(1)}\ (i=\overline{1,m_1})$, $b_i^{(2)}\ (i=\overline{1,m_2})$ мәхсусијјәтли вә (3) сәрһәд шәртли һиссә-һиссә мераморф типли функсија тапмаг һаггында мәсәлә гојулсајды, онда һәллин ашағыдакы дүстурларла ифадә олунмачағына асанлыгла инанмаг оларды.

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_\Gamma \frac{B(t)-B_1(t)+B_2(t)}{t-z}\,dt + B_1(z), \qquad z \in \sigma^+ \tag{5}$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_\Gamma \frac{B(t)-B_1(t)+B_2(t)}{t-z}\,dt + B_2(z), \qquad z \in \sigma^- \tag{6}$$

бурада

$$B_1(z) = \sum_{j=1}^{\alpha_i}\sum_{i=1}^{m_1}\frac{C_{-j}^{(i)}}{[z-b_i^{(1)}]^j}, \quad B_2(z) = \sum_{j=1}^{\beta_i}\sum_{i=1}^{m_2}\frac{A_{-j}^{(i)}}{[z-b_i^{(2)}]^j}.$$

Һәһајәт, ашағыдакы шәртләри өдәјән һиссә-һиссә һоломорф функсија ахтараг.

1) һәмин функсија (3) сәрһәд шәртини өдәсин;

2) онун $a_i^{(1)}\ (i=\overline{1,n_1})$ вә $a_i^{(2)}\ (i=\overline{1,n_2})$ нөгтәләриндә сыфырлары олсун.

Ашағыдакы функсијалара бахаг

$$\Phi_0(z) = \frac{\Phi(z)}{\prod_{i=1}^{n_1}[z-a_i^{(1)}]} \qquad z \in \sigma^+$$

вә

$$\Phi_0(z) = \frac{\Phi(z)}{\prod_{i=1}^{n_2}[z-a_i^{(2)}]} \qquad z \in \sigma^-$$

Үмумилији азалтмадан $a_i^{(1)}$ вә $a_i^{(2)}$ нөгтәләринин садә сыфырлар олдуғуну фәрз едәк.

Онда (3) сәрһәд шәрти

$$\prod_{i=1}^{n_1}[t-a_i^{(1)}]\,\Phi_0^+(t) - \prod_{i=1}^{n_2}[t-a_i^{(2)}]\,\Phi_0^-(t) = B(t)$$

шәклиндә олар.

$$\prod_{i=1}^{n_1}[t-a_i^{(1)}] \neq 0$$

олдуғундан

$$\Phi_0^+(t) = Q(t)\,\Phi_0^-(t) + P(t), \tag{7}$$

бурада

$$Q(t) = \frac{\prod_{i=1}^{n_2}[t-a_i^{(2)}]}{\prod_{i=1}^{n_1}[t-a_i^{(1)}]} \qquad \text{вә} \qquad P(t) = \frac{B(t)}{\prod_{i=1}^{n_1}[t-a_i^{(1)}]}.$$

Демәк, мәсәләнин белә гојулушу заманы (3) сәрһәд шәрти (7) сәрһәд шәртли Һилберт мәсәләсинә кәтирилир, ја'ни бу һалда һәлл мәсәләнин индекси илә әлагәдардыр. Ајдындыр ки, мәсәләнин индекси

$$\chi_1 = \frac{1}{2\pi}\left\{\sum_{i=1}^{n_2}\arg[t-a_i^{(2)}] - \prod_{i=1}^{n_1}\arg[t-a_i^{(1)}]\right\}_\Gamma \tag{8}$$

формулу илә тә'јин олунур. Бурада $\{\ \}_\Gamma$ мә'тәризә ичәрисиндәки ифадәнин Γ контуру үзрә дөвр етмә заманы артымыны көстәрир. Бу ифадәдән ајдындыр ки, мәсәләнин һәлли $a_i^{(1)}\ (i=\overline{1,n_1})$ вә $a_i^{(2)}\ (i=\overline{1,n_2})$ сыфырлары илә әлагәдардыр.

Әкәр (3) сәрһәд шәртини өдәјән вә мераморфлуг мәхсусијјәти олан функсија ахтарылсајды, онда мәсәләнин һәлли (5) вә (6) дүстурлары илә ифадә едилмәк мә'насында индекс илә әлагәдар олмазды. Анчаг әввәлчәдән сыфырлары мә'лум олан вә ади Һилберт мәсәләсинин шәртләрини өдәјән функсијанын ахтарылмасы мәсәләси (8) формулу илә верилән индекслә әлагәдар олур.

Ајрылыгда (3) вә (7) сәрһәд шәртли мәсәләләрә бахмајачағыг.

Үмуми һалы арашдыраг. Бу мәгсәдлә ашағыдакы функсијаларын тә'јин едәк:

$$\psi(z) = \frac{\Phi(z) - \sum_{i=1}^{m_1}P_i^{(1)}(z) + \dfrac{\prod a_1^2[z-a_i^{(1)}]}{\prod a_1^2\,[a_1^{(1)}-a_i^{(1)}]}\sum_{i=1}^{m_1}P_i^{(1)}[a_i^{(1)}]}{\prod_{i=1}^{n_1}[z-a_i^{(1)}]} +$$

$$\frac{\dfrac{\prod a_1^2[z-a_i^{(1)}]}{\prod a_1^2[a_1^2-a_i^{(1)}]}\sum_{i=1}^{m_1}P_i^{(1)}[a_2^{(1)}]}{\prod_{i=1}^{n_1}[z-a_i^{(1)}]} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{\dfrac{\prod a_1^2[z-a_i^{(1)}]}{\prod a_1^2\,[a_{n_1}^{(1)}-a_i^{(1)}]}\sum_{i=1}^{m}P_i^{(1)}[a_n^{(1)}]}{\prod_{i=1}^{n_1}[z-a_i^{(1)}]} \tag{9}$$

Әкәр $z \in \sigma^+$ исә.

$$\psi(z)=\frac{\Phi(z)-\sum_{i=1}^{m_2}P_i^{(2)}(z)+\frac{\prod a_1^2[z-a_1^{(2)}]}{\prod a_1^2[a_1^{(2)}-a_1^{(2)}]}\sum_{i=1}^{m_1}P_i^{(2)}[a_i^{(2)}]}{\prod_{i=1}^{n_2}[z-a_i^{(2)}]}+$$

$$+\frac{\frac{\prod a_1^2[z-a_1^{(2)}]}{\prod a_1^2[a_2^{(2)}-a_i^{(2)}]}\sum_{i=1}^{m_2}P_i^{(2)}[a_2^{(2)}]+\ldots+\frac{\prod a_1^2[z-a_1^{(2)}]}{\prod a_1^2[a_{n_2}^{(2)}-a_i^{(2)}]}\sum_{i=1}^{m_2}P_i^{(2)}[a_{n_2}^{(2)}]}{\prod_{i=1}^{n_2}[z-a_i^{(2)}]} \quad (10)$$

Әкәр $z\in\sigma^-$ исә.

Бурада $P_i^{(1)}(z)\ (i=\overline{1,m_1})$ $\Phi(z)$ функсијасынын $b_i^{(1)}\ (i=\overline{1,m_1})$ нөгтәләри әтрафында Лоран ајрылышынын баш һиссәсидир $(z\in\sigma^+$ үчүн). Һәмчинин $P_i^{(2)}(z)\ (i=\overline{1,m_2})$ $\Phi(z)$ функсијасынын $b_i^{(2)}\ (i=\overline{1,m_2})$ нөгтәләри әтрафында Лоран ајрылышынын баш һиссәсидир $(z\in\sigma^-$ үчүн). $\prod a_1^{(\nu)}$ көстәрир ки, бу һасилдә анчаг $(z-a_i^{(\nu)})$ вуруғу иштирак етмир.

Ејд едәк ки, $\psi(z)$ һиссә-һиссә һоломорф функсијадыр (бу $\psi(z)$-ин ә'јин олунмасындан ајдындыр).

(9) вә (10)-дан $\Phi(z)$ үчүн

$$\Phi(z)=\prod_{i=1}^{n_1}[z-a_i^{(1)}]\,\psi(z)+M_1(z),\quad z\in\sigma^+ \quad (11)$$

$$\Phi(z)=\prod_{i=1}^{n_2}[z-a_i^{(2)}]\,\psi(z)+M_2(z),\ z\in\sigma^- \quad (12)$$

ифадәләрини алырыг.

(11) вә (12)-јә көрә сәрһәд шәрти

$$\prod_{i=1}^{n_1}[t-a_i^{(1)}]\ \psi^+(t)+M_1^+(t)=A(t)\left[\prod_{i=i}^{n_2}(t-a_i^{(2)})\,\psi^-(t)+\right.$$

$$\left.+M_2^-(t)\right]+B(t)\ \text{вә ја}$$

$$\psi^+(t)=Q_1(t)\,\psi^-(t)+P_1(t) \quad (13)$$

шәклиндә олар. Бурада

$$Q_1(t)=A(t)\frac{\prod_{i=1}^{n_2}(t-a_i^{(2)})}{\prod_{i=1}^{n_1}(t-a_i^{(1)})}$$

$$P_1(t)=B(t)+A(t)\,M_2^-(t)-M_1^+(t)$$

Белəликлə, үмумиләшмиш Һилберт мәсәләсинин һәлли (13) сәрһәд шәрти ади Һилберт мәсәләсинин һәллинә кәтирилир. Бу мәсәлəнин индекси

$$\chi^*=\frac{1}{2\pi}[\arg A(t)\,Q(t)]_\Gamma=\chi_1+\chi$$

формулу илə тə'јин олунур. Бурада

$$\chi=\frac{1}{2\pi}[\arg A(t)]_\Gamma$$

Ејд едәк ки, (1) сәрһәд шәртли ади Һилберт мәсәләсинин һәлли χ индекси илə тə'јин олунур.

(1) сәрһәд шәртли үмумиләшмиш Һилберт мәсәләсинин индекси χ индексинə, мераморф типли $\Phi(z)$ функсијасынын сыфырлары илə характеризə олунан, јени бир χ_1 индексинин əлавə едилмəси илə алыныр. Үмумиләшмиш Һилберт мәсәләсинин индексини χ^* илə ишарə едәк. Фәрз едәк ки, $X(z)$ бирчинсли мәсәләнин каноник һәллидир, јə'ни

$$\psi^+(t)=Q(t)\,\psi^-(t) \quad (14)$$

мәсәләсинин, $\chi^*>0$ $(\chi_1>-\chi)$ олдугда, һәллидир. Онда ајдындыр ки, бирчинс олмајан мәсәләнин үмуми һәлли

$$\psi(z)=\frac{X(z)}{2\pi i}\int_\Gamma\frac{P_1(t)\,dt}{X^+(t)(t-z)}+X(z)\,P(z) \quad (15)$$

шəклиндə ифадə олунур.

Бурада $P(z)$ ихтијари полиномдур.

$\chi^*>0$ олдугда бирчинс олмајан Һилберт мәсәләсинин сонсузлугда сыфыр олан һәлли

$$\psi(z)=\frac{X(z)}{2\pi i}\int_\Gamma\frac{P_1(t)\,dt}{X^+(t)(t-z)}+X(z)\,P_{\chi^*-1}(z)$$

дүстуру илə верилир. Бурада $P_{\chi^*-1}(z)$ дəрəчəси χ^*-1-дəн бөјүк олмајан ихтијари полиномдур.

$\chi^*=0$ $(\chi_1=-\chi)$ һалында $P_{\chi^*-1}(z)=0$-дыр.

Бу һалда (13) ади (14) бирчинс олмајан Һилберт мəсəлəсинин һəлли (11) вə (12)-јə əсасəн

$$\Phi(z)=\prod_{i=1}^{n_1}[z-a_i^{(1)}]\left[\frac{X(z)}{2\pi i}\int_\Gamma\frac{P_1(t)\,dt}{X^+(t)(t-z)}+X(z)\,P_{\chi^*-1}(z)\right]+$$

$$+M_1(z),\ z\in\sigma^+ \quad (16)$$

$$\Phi(z)=\prod_{i=1}^{n_2}[z-a_i^{(2)}]\left[\frac{X(z)}{2\pi i}\int_\Gamma\frac{P_1(t)\,dt}{X^+(t)(t-z)}+X(z)\,P_{\chi^*-1}(z)\right]+$$

$$+M_2(z),\ z\in\sigma^- \quad (17)$$

шəклиндə олур.

Белә ки,

$$M_1(a_i^{(1)}) = 0 \text{ вә } \quad M_2(a_i^{(2)}) = 0$$
$$(i = \overline{1, n_1}) \quad (i = \overline{1, n_2})$$

(16) вә (17) ифадәләриндән ајдындыр ки, биринчи, $\Phi(z)$ $b_i^{(1)}$ $(i = \overline{1, m_1})$ вә $b_i^{(2)}$ $(i = \overline{1, m_2})$ нөгтәләриндә мәхсуси ҹәтләри олан мероморф типли функсијадыр, икинчи, бу ҳәлл $a_i^{(1)}$ $(i = \overline{1, n_1})$ вә $a_i^{(2)}$ $(i = \overline{1, n_2})$ нөгтәләриндә сыфра ҷевриlир.

Нәһајәт, верилмиш ҳәлл јеканә дејил, чүнки онун ифадәсинә дәрәчәси $\chi^* - 1$-дән бөјүк олмајан ихтијари полином дахилдир. Бу ҳәлл бир даһа, она көрә јеканә дејил ки, онун ифадәсинә $b_i^{(1)}$ $(i = \overline{1, m_1})$ вә $b_i^{(2)}$ $(i = \overline{1, m_2})$ мәхсуси ҹәтли ихтијари әмсаллары олан $M_1(z)$ вә $M_2(z)$ кими Лоран ајрылышынын баш ҳиссәләри дахилдир.

Һәмчинин $\chi^* < 0$ $(\chi_1 < \chi)$ ҳалында, ајдындыр ки,

$$\int_\Gamma \frac{t^k P_1(t)}{X^+(t)}\, dt = 0 \quad (K = \overline{0, -\chi^* - 1})$$

шәрти сонсузлугда сыфыр олан ҳәлл олмасы үчүн зәрури вә кафидир. Бу ҳалда ҳәлл

$$\Phi(z) = \prod_{i=1}^{n_1} [z - a_i^{(1)}] \left[\frac{X(z)}{2\pi i} \int_\Gamma \frac{P_1(t)\, dt}{X^+(t)(t - z)} \right] + M_1(z), \qquad (18)$$
$$z \in \sigma^+$$

$$\Phi(z) = \prod_{i=1}^{n_2} [z - a_i^{(2)}] \left[\frac{X(z)}{2\pi i} \int_\Gamma \frac{P_1(t)\, dt}{X^+(t)(t - z)} \right] + M_2(z), \qquad (19)$$
$$z \in \sigma^-$$

дүстурлары илә тә'јин олунур.

Ону да гејд едәк ки, ади Һилберт мәсәләсинин индекси мүсбәт олмадыгда, онун ҳәлли јеканә олур, анчаг бизим ҳал үчүн, ја'ни $\chi^* < 0$ ҳалында $M_1(z)$ вә $M_2(z)$-ин ифадәләриндә ихтијари сабитләр олдуғу үчүн, ҳәлл јеканә олмајачаг.

Һәмчинин, ону да гејд едәк ки, $\chi^* < 0$ $(\chi_1 < -\chi)$ ҳалында

$$\int_\Gamma \frac{t^k P_1(t)}{X^+(t)}\, dt = 0 \quad (K = \overline{0, -\chi^* - 1})$$

олачаг.

Әкәр $P_1(t)$-нин ифадәсини нәзәрә алсаг

$$\int_\Gamma \frac{t^k \left[A(t) M_2^-(t) - M_1^+(t) \right]}{X^+(t)}\, dt = -\int_\Gamma \frac{t^k B(t)\, dt}{X^+(t)} \qquad (20)$$

ҷаза биләрик.

$M_2^-(t)$, $M_1^+(t)$ ифадәләринә дахил олан сабитләр ихтијари олдуғу үчүн, онлары елә сечмәк олар ки, (20) шәрти механики олараг өдәнилсин, бу исә $\chi^* < 0$ ҳалында да ҳәллин варлығыны көстәрир.

ӘДӘБИЈЈАТ

1. Векуа И. Н. Новые методы решения эллиптических уравнений, М.—Л., 1948.
2. Мусхелишвили Н. И. Сингулярные интегральные уравнения, М.—Л., 1948.

А. Ш. Габибзаде

Обобщенная задача Гильберта

РЕЗЮМЕ

В резюмируемой статье решается задача о нахождении кусочно-мероморфной функции $\Phi(z)$, которая удовлетворяет граничному условию

$$\Phi^+(t) = A(t)\, \Phi^-(t) + B(t).$$

Здесь $A(t)$ и $B(t)$ являются известными функциями из класса H.

Поставленная задача приводится к граничной задаче для голоморфной функции $\psi(z)$, которая связана с полюсами, с нулями и самой $\Phi(z)$.

Индекс поставленной задачи отличается от индекса обычной задачи Гильберта на χ_1. Разница χ_1 появляется за счет нулей типа мероморфной функции. Полюсы мероморфной функции не играют роли в появлении индекса χ_1. Приводится явний вид решения, который связан с индексом.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

С. А. САМЕДОВА

СУЩЕСТВОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРЕДЕЛЬНОГО РЕЖИМА НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В статье обобщаются некоторые результаты автора [3], полученные для уравнения $y^1=f(x, y)$ на систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. В частности доказывается существование при определенных условиях периодического решения системы, а также асимптотическое стремление других решений к периодическому решению.

Для системы

$$\frac{dX}{dt} = F(X) + G(t)$$

эти результаты получены Б. П. Демидовичем [1], который обобщил известные результаты Н. Н. Лузина [2].

Рассмотрим нелинейную систему

$$\frac{dX}{dt} = F(X, t), \tag{1}$$

где X и $F(X_1\, t)$ —действительные матрицы-столбцы:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, \quad F(X, t) = \begin{pmatrix} f_1(X, t) \\ f_2(X, t) \\ \vdots \\ f_n(X, t) \end{pmatrix}$$

в евклидовом пространстве.

$F(X, t)$ —непрерывно дифференцируема по $x_1, \ldots, x_n$ и непрерывна, периодична относительно t с периодом T $(T>0)$

$$F(X, t+T) \equiv F(X, t). \tag{2}$$

Определение 1. Симметрическая матрица $A = [a_{ij}]$ $(a_{ij} = a_{ji})$ называется знакоопределенной (положительно-определенной или отрицательно-определенной), если все ее собственные значения положительны или соответственно отрицательны.

Определение 2. Пусть X—некоторое матричное переменное. Симметрическая матрица $A(X) = [a_{ij}(X)]$ называется равномерно знакоопределенной (равномерно положительно-определенной или равномерно отрицательно-определенной), если нижняя грань собственных

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

С. А. САМЕДОВА

СУЩЕСТВОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРЕДЕЛЬНОГО РЕЖИМА НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В статье обобщаются некоторые результаты автора [3], полученные для уравнения $y^1=f(x, y)$ на систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. В частности доказывается существование при определенных условиях периодического решения системы, а также асимптотическое стремление других решений к периодическому решению.

Для системы

$$\frac{dX}{dt} = F(X) + G(t)$$

эти результаты получены Б. П. Демидовичем [1], который обобщил известные результаты Н. Н. Лузина [2].

Рассмотрим нелинейную систему

$$\frac{dX}{dt} = F(X, t), \tag{1}$$

где X и $F(X_1\, t)$ —действительные матрицы-столбцы:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, \quad F(X, t) = \begin{pmatrix} f_1(X, t) \\ f_2(X, t) \\ \vdots \\ f_n(X, t) \end{pmatrix}$$

в евклидовом пространстве.

$F(X, t)$ —непрерывно дифференцируема по $x_1, \ldots, x_n$ и непрерывна, периодична относительно t с периодом T $(T>0)$

$$F(X, t+T) \equiv F(X, t). \tag{2}$$

Определение 1. Симметрическая матрица $A = [a_{ij}]$ $(a_{ij} = a_{ji})$ называется знакоопределенной (положительно-определенной или отрицательно-определенной), если все ее собственные значения положительны или соответственно отрицательны.

Определение 2. Пусть X—некоторое матричное переменное. Симметрическая матрица $A(X) = [a_{ij}(X)]$ называется равномерно знакоопределенной (равномерно положительно-определенной или равномерно отрицательно-определенной), если нижняя грань собственных

значений этой матрицы положительно или соответственно отрицательна.

Лемма. Пусть $X=\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ матрица-столбец и $A(X)=(a_{ij}(X))$ квадратная симметрическая равномерно положительно-определенная матрица.

В таком случае скалярное произведение

$$(A(X)\,X,\,X)=\sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}(X)\,x_i x_j \tag{3}$$

есть положительно-определенная функция и справедливо неравенство

$$(A(X)\,X,\,X)\geqslant h\,\|X\|^2, \tag{4}$$

где h—некоторая положительная постоянная и

$$\|X\|=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \tag{5}$$

норма матрицы X.

Доказательство. Рассмотрим вспомогательную квадратичную форму:

$$(A(X)\,Y,\,Y)=\sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}(X)\,y_i\,y_j \tag{6}$$

относительно переменной

$$Y=\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix},$$

где переменная X играет роль параметра. Так как матрица $A(X)$ при любом фиксированном значении матрицы X симметрична, то существует ортогональное преобразование

$$Y=U(X)\,Z, \tag{7}$$

где

$$Z=\begin{pmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix},$$

приводящее квадратную форму (6) к каноническому виду:

$$(A(X)\,Y,\,Y)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i(X)\,z_i^2. \tag{8}$$

В силу равномерной положительной определенности матрицы $A(X)$ имеем:

$$\inf\lambda_i(X)\geqslant h \qquad (i=1,\ldots,n),$$

где h—некоторое положительное число. Поэтому

$$(A(X)\,Y,\,Y)\geqslant h\,\|z\|^2.$$

Так как преобразование $U(X)$ ортогонально, то

$$\|Z\|=\|Y\|$$

и, следовательно,

$$(A(X)\,Y,\,Y)\geqslant h\,\|X\|^2. \tag{9}$$

полагая в неравенстве (9) $Y=X$ окончательно получим:

$$(A(X)X,\,X)\geqslant h\,\|X\|^2.$$

Лемма доказана.

Соответственно, если матрица $A(X)$ равномерно отрицательно-определенная, то имеет место неравенство:

$$(A(X)\,X,\,X)\leqslant -h\,\|X\|^2.$$

Существование периодического решения

Пусть

$$X=\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad F(X,t)=\begin{pmatrix} f_1(X,t) \\ \vdots \\ f_n(X,t) \end{pmatrix},$$

где $f_i(X,t)$—непрерывно дифференцируемые функции переменных $x_1,\ldots,x_n$ и непрерывные, периодические по t. Обозначим через

$$\omega_i=\begin{pmatrix} \omega_{i_1} \\ \vdots \\ \omega_{in} \end{pmatrix} \qquad (i=1,\ldots,n)$$

некоторые матричные независимые переменные. Составим матрицу

$$\overline{W}(\omega_1,\ldots,\omega_n,\,t)=(f_{ix_j}(\omega_i,\,t)) \tag{10}$$

и симметризуем ее, полагая

$$\overline{W}_s(\omega_1,\ldots,\omega_n,\,t)=$$
$$=\frac{1}{2}\{\overline{W}(\omega_1,\ldots,\omega_n,\,t)+\overline{W}'(\omega_n,\ldots,\omega_n,t)\}, \tag{11}$$

где $\overline{W}'(\omega_1,\ldots,\omega_n,\,t)$ транспонированная матрица по отношению к матрице $\overline{W}(\omega_1,\ldots,\omega_n,\,t)$.

Матрица $\overline{W}(\omega_1,\ldots,\omega_n,\,t)$ называется обобщенной матрицей Якоби системы функций $F(X,t)$, а матрица $\overline{W}_s(\omega_1,\ldots,\omega_n,\,t)$—симметризованной обобщенной матрицей Якоби системы функций $F(X,t)$.

Теорема. *Если симметризованная обобщенная матрица Якоби* (11) *системы функций* $F(X,\,t)$ *представляет собой равномерно знакоопределенную матрицу, то система* (1) *допускает периодическое решение периода* T.

Доказательство. Из условий наложенных на матрицу $F(X,t)$ для каждой системы значений t_0 и X_0 следует существование единственного решения системы (1):

$$X=X(t,\,t_0,\,X_0)$$

такого, что

$$X(t_0,\,t_0,\,X_0)=X_0.$$

Легко показать, что имеет место равенство:

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\{\|X\|^2\}=\left(\frac{dX}{dt},\ X\right),$$

отсюда в силу уравнения (1) имеем:

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\{\|X\|^2\}=(F(X,t),X)=$$
$$=(F(X,t)-F(0,t),X)+(F(0,t),X). \tag{12}$$

Теперь применим к разности $F(X,t)-F(0,t)$ теорему о среднем, тогда получим:

$$\begin{pmatrix} f_1(x_1,x_2,\ldots,x_n,t)-f(0,0,\ldots,0,t)\\ f_2(x_1,x_2,\ldots,x_n,t)-f(0,0,\ldots,0,t)\\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ f_n(x_1,x_2,\ldots,x_n,t)-f(0,0,\ldots,0,t)\end{pmatrix}=$$

$$=\begin{Bmatrix} f_{1x_1}(x_1+\theta_1x_1,x_2,\ldots,x_n,t)x_1+f_{1x_2}(x_1,x_2+\\ +\theta_2x_2x_3,\ldots,x_n,t)x_2+\ldots+f_{1x_n}(x_1,\ldots,x_{n-1},\theta_nx_n,t)x_n\\ f_{2x_1}(x_1+\theta_1x_1,x_2,\ldots,x_n,t)x_1+f_{2x_2}(x_1,x_2+\\ +\theta_2x_2,x_3,\ldots,x_nt)x_2+f_{2x_n}(x_1,\ldots,x_{n-1},\theta_nx_n,t)x_n\\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ f_{nx_2}(x_1+\theta_1x_1,x_2,\ldots,x_n,t)x_1+f_{nx_2}(x_1x_2+\\ +\theta_2x_2,\ldots,x_n,t)x_2+f_{nx_n}(x_1\ldots,x_{n-1},\theta_nx_n,t)x_n\end{Bmatrix}.$$

Теперь если обозначить

$$f_{ix_j}(\theta_iX,t)=W(X,t),$$

где $0<\theta=\theta_1(X)<1$, то имеем:

$$F(X,t)-F(0,t)=W(X,t)X$$

Следовательно,

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\{\|X\|^2\}=(W(X,t)X,X)+(F(0,t),X). \tag{13}$$

Пусть для определенности симметризованная обобщенная матрица Якоби

$$\overline{W}_s(\omega_1,\ldots,\omega_n,t)=\left(\frac{1}{2}\{f_{ix_j}(\omega_i,t)+f_{jx_i}(\omega_j,t)\}\right)$$

равномерно отрицательно-определенная.

Обозначим симметричную матрицу

$$W_s(x,t)=\frac{1}{2}\{W(x,t)+W'(x,t)\}$$

Тогда, очевидно,

$$(W(X,t)X,X)=(W_s(X,t)X,X).$$

Так как

$$W_s(X,t)=\overline{W}_s(\theta_1X,\ldots,\theta_nX,t),$$

то матрица $W_s(X,t)$ также равномерно отрицательно-определенная. Следовательно, в силу леммы будем иметь:

$$(W(X,t)X,X)\leqslant -h\|X\|^2, \tag{14}$$

где h—некоторое положительное число.

Кроме того, предполагая, что $\|X\|\neq 0$ и учитывая ограниченность $F(0,t)$, получим.

$$\left|F(0,t),\ -\frac{X}{\|X\|}\right|<C, \tag{15}$$

где C—некоторая постоянная величина.

Отсюда, на основании формулы (12) будем иметь:

$$\frac{d}{dt}(\|X\|)<-h\|X\|+C, \tag{16}$$

если $\|X\|\neq 0$.

Рассмотрим сферу

$$\|X\|=R, \tag{17}$$

где

$$R>\frac{C}{h}. \tag{18}$$

Из формулы (16) следует, что всякое решение $X=X(t,t_0,X_0)$ уравнения (1), начинающееся при $t=t_0$ в любой точке замкнутого шара $\overline{V}_R=\{\|X\|\leqslant R\}$, при $t\to+\infty$ навсегда останется внутри этого шара и следовательно, продолжаемо при

$$t_0\leqslant t<+\infty.$$

Пусть t_0 фиксировано и

$$X_1=X(t_0+T,t_0,X_0) \tag{19}$$

где T—период матрицы $F(X,t)$.

Обозначим через S преобразование пространства E_n, переводящее точку X_0 в точку X_1.

$$X_1=S(X_0). \tag{20}$$

Преобразование S в силу теоремы единственности решений дифференциальных уравнений и периодичности по t с периодом T правой части уравнения (1) взаимно-однозначно и переводит замкнутый шар $\overline{V}_R$ в свою правильную часть. В самом деле, если бы нашлась точка $Y_0\in\overline{V}_R$ такая, что $Y_1=S(Y_0)\overline{\in}$ где V_R—внутренность шара $\overline{V}_R$—то для решения $X=X(t,t_0,Y_0)$ существовал бы момент $t_0\leqslant\overline{t}\leqslant t_0+T$ такой, что

$$\|X(\overline{t},t_0,Y_0)\|=R$$

и

$$\frac{d}{dt}\{\|X(\overline{t},t_0,Y_0)\|\}\geqslant 0,$$

что невозможно в силу неравенства (16) и (18). Отсюда на основании известной теоремы Брауэра [4], замечаем, что существует точка $X^*\in V_R$ инвариантная при преобразовании S. Очевидно, решение

$$X^*(t)=X(t,\ t_0,\ X^*)$$

является периодическим с периодом T. Теорема доказана.

Теорема. *При выполнении тех же условий все решения системы* (1) *при* $t\to+\infty$ (*или соответственно при* $t\to-\infty$) *стремятся*

к периодическому решению этой системы, т. е. для системы (1) *существует периодический предельный режим.*

Доказательство. Пусть $X=X(t)$—произвольное решение системы (1) и $X^* = X^*(t)$ периодическое решение этой системы. Имеем:

$$\frac{dX}{dt} = F(X, t) \quad \text{и} \quad \frac{dX^*}{dt} = F(X^*, t)$$

Отсюда

$$\frac{d}{dt}(X - X^*) = F(X, t) - F(X^*, t)$$

и следовательно

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\{\| X - X^* \|^2\} = (F(X, t) - F(X^*, t),\ X - X^*).$$

Теперь применим теорему о среднем значении

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\{\| X - X^* \|\} = (W(X, X^*, t)(X - X^*),$$

где

$$W(X, X^*, t) = [f'_{ix_j}(X^* + \theta_i(X - X^*))]$$

$$0 < \theta_i < 1,\ i = 1, \ldots, n,$$

и, следовательно

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\{\| X - X^* \|^2\} = (W(X, X^*, t)(X - X^*), \quad (X - X^*)$$

Пусть $\overline{W}_s(\omega_1 \ldots, \omega_n, t)$ равномерно отрицательно-определенная, тогда симметрическая матрица

$$W_s(X, X^*, t) = \frac{1}{2}\{W(X, X^*, t) + W'(X, X^*, t)\}$$

также будет равномерно отрицательно-определенная, Так как

$$(W(X, t)X, X) = (W_s(X, t)X, X),$$

где

$$W_s(X, t) = \frac{1}{2}(W(X, t) + W'(X, t))$$

симметрическая матрица.

С другой стороны

$$W_s(X, t) = \overline{W}_s(\theta_1 X, \ldots, \theta_n X, t).$$

Поэтому матрица $W_s(X, t)$ тоже равномерно отрицательно-определенная.

На основании леммы, тогда имеем:

$$(W(X, X^*, t)(X - X^*)(X - X^*), (X - X^*)) \leqslant -h \| X - X^* \|^2.$$

Здесь h—положительное постоянное число.

Следовательно

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\{\| X - X^* \|^2\} \leqslant -h \| X - X^* \|^2$$

или

$$\frac{d}{dt}\{e^{2h(t-t_0)} \| X(t) - X^*(t) \|^2\} \leqslant 0.$$

Отсюда при $t \geqslant t_0$ имеем:

$$\| X(t) - X^*(t) \| \leqslant \| X(t_0) - X^*(t_0) \| e^{-h(t-t_0)}$$

и

$$\lim_{t \to +\infty} \| X(t) - X^*(t) \| = 0,$$

что и доказывает теорему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидович Б. П. О существовании предельного режима некоторой нелинейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. „Уч. зап. МГУ", вып. 181, математ, т. VIII, 1956.

2. Лузин Н. Н. О качественном исследовании уравнения движения поезда. „Матем. сб.", 39 (3), 1032.

3. Самедова С. А. Критерии существования и единственности периодического решения уравнения $y' = f(x, y)$. Труды Ин-та физ. и мат. АН Азерб. ССР т. IV, 1953.

4. Brouwer. Über Abbildung von Manninfatigkeiten. Math. Ann., 71, 1912.

С. А. Сәмәдова

Гејри-хәтти ади диференсиал тәнликләр системинин дөври лимит режиминин варлығы

ХҮЛАСӘ

Мәгаләдә гејри-хәтти

$$\frac{dX}{dt} = F(X, t) \qquad (1)$$

системинә бахылыр, бурада X вә $F(X, t)$ бир сүтунлу һәгиги матрисалардыр.

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, \qquad F(X, t) = \begin{pmatrix} f_1(X, t) \\ f_2(X, t) \\ \cdot \\ f_n(X, t) \end{pmatrix}$$

$F(X, t)$ X-ә көрә кәсилмәз, диференсиалланан, t-јә көрә кәсилмәз вә дөвридир:

$$F(X, t + T) \equiv F(X, t).$$

Мүәллифин мүстәви үзәриндә $y' = f(x, y)$ тәнлији үчүн алдығы нәтичәләрин бә'зиләри бу ишдә систем үчүн үмумиләшдирилир. $F(X, t)$ функсијалар системинин симметрикләшмиш, үмумиләшмиш Јакоби матрисасы мүнтәзәм мүәјјән ишарәлидирсә, онда (1) системинин T дөврлү дөври һәлли вардыр вә системин бүтүн башга һәлләри бу дөври һәлләә ($t \to +\infty$ вә ја $t \to -\infty$ да) јахынлашыр.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри сериjасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

О-Х. М. АЛИЕВ

ОТРАЖЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ВОЛН ОТ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА, НЕ СОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ СДВИГУ

Введение

Некоторые экспериментальные работы [6, 8—10] о действии взрывных или ударных нагрузок на упругие среды проливают свет на характерные особенности разрушения этих материалов. При достаточно сильно взрыве или ударе вблизи области непосредственного контакта ударного давления с упругой средой возникает расширяющаяся зона разрушения, внутри которой материал растрескивается и крошится. Во все стороны от этой зоны распространяется далее упругая волна сжатия большой интенсивности. Если такая волна достигает где-либо свободной поверхности массива, то частицы материала, не удерживаемые дальнейшими слоями, продолжают по инерции свое движение даже тогда, когда, сжимающие усилия уже исчезли. Вследствие этого в материале у свободной поверхности возникают растягивающие напряжения.

Известно, что некоторые материалы (хрупкие): бетон, железобетон, скальные породы, отдельные сорта стали, кирпичная и каменная кладка и другие хуже сопротивляются растяжению, чем сжатию; по этому в отраженной волне растяжения материал откалывается и разлетается в осколках, имеющих большие скорости. Описываемое явление называется отколом. Откол может привести к разрушению сооружения, когда оно и не пробито насквозь.

В последнее время появилось несколько статей отечественных и зарубежных ученых, посвященных явлению откола. Для исследования явления откола в толстых металлических плитах применялся экспериментальный метод [8], сущность которого состоит в определении последовательных приращений импульсов, т. е. площадей „напряжение время“, а затем в построении сводной кривой. При этом оказалось, что если в результате отражения волны большой интенсивности от свободной поверхности образуется откол, то глубина и форма поверхности откола определяются в основном двумя факторами: формой волны напряжений и критическими разрушающими напряжениями материала. Последние могут сильно зависеть от условий нагружения и распределения напряжений в среде. Однако для анализа явления откола используется теория плоских волн. Напряжения внутри плиты определяются по элементарной формуле. Такой упрощенный подход не учитывает криволинейности фронта волны, а также изменения ин-

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

О-Х. М. АЛИЕВ

ОТРАЖЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ВОЛН ОТ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА, НЕ СОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ СДВИГУ

Введение

Некоторые экспериментальные работы [6, 8—10] о действии взрывных или ударных нагрузок на упругие среды проливают свет на характерные особенности разрушения этих материалов. При достаточно сильно взрыве или ударе вблизи области непосредственного контакта ударного давления с упругой средой возникает расширяющаяся зона разрушения, внутри которой материал растрескивается и крошится. Во все стороны от этой зоны распространяется далее упругая волна сжатия большой интенсивности. Если такая волна достигает где-либо свободной поверхности массива, то частицы материала, не удерживаемые дальнейшими слоями, продолжают по инерции свое движение даже тогда, когда, сжимающие усилия уже исчезли. Вследствие этого в материале у свободной поверхности возникают растягивающие напряжения.

Известно, что некоторые материалы (хрупкие): бетон, железобетон, скальные породы, отдельные сорта стали, кирпичная и каменная кладка и другие хуже сопротивляются растяжению, чем сжатию; по этому в отраженной волне растяжения материал откалывается и разлетается в осколках, имеющих большие скорости. Описываемое явление называется отколом. Откол может привести к разрушению сооружения, когда оно и не пробито насквозь.

В последнее время появилось несколько статей отечественных и зарубежных ученых, посвященных явлению откола. Для исследования явления откола в толстых металлических плитах применялся экспериментальный метод [8], сущность которого состоит в определении последовательных приращений импульсов, т. е. площадей „напряжение время“, а затем в построении сводной кривой. При этом оказалось, что если в результате отражения волны большой интенсивности от свободной поверхности образуется откол, то глубина и форма поверхности откола определяются в основном двумя факторами: формой волны напряжений и критическими разрушающими напряжениями материала. Последние могут сильно зависеть от условий нагружения и распределения напряжений в среде. Однако для анализа явления откола используется теория плоских волн. Напряжения внутри плиты определяются по элементарной формуле. Такой упрощенный подход не учитывает криволинейности фронта волны, а также изменения ин-

тенсивности напряжений на фронте, которое имеет место в действительности. Работа [7] учитывает сферичность фронта волны, однако строгого теоретического обоснования явления не дается.

В работах [1, 3] решается задача для упругого слоя в акустической постановке под воздействием точечной силы, приложенной нормально к поверхности слоя в некоторой точке. В работе [2] решена задача для упругого слоя, лежащего на жидком упругом полупространстве, под действием импульса, приложенного в некоторой точке поверхности слоя.

Теоретические предпосылки

В настоящей работе исследуется задача о распространении и отражении от свободной границы полупространства одномерных сферических волн, возникающих в результате приложения ударного давления внутри упругой среды. Анализ полученного решения позволяет выяснить условия, при которых возможно появление растягивающих напряжений, являющихся причиной откола, и качественную картину протекания процесса откола.

Для облегчения задачи делается ряд упрощающих предположений, основанных на экспериментальных данных. Опытные исследования [5] показали, что пластическая волна быстро затухает, и ширина области пластических деформаций, например, для бетона, не превышает зоны разрушения вблизи области приложения ударного давления. Этот факт позволяет предположить, что деформации в среде будут упругими.

Из опытов Бриджмена известно, что при ударном нагружении многие материалы находятся в состоянии, близком к всестороннему гидростатическому сжатию и ведут себя как упругие до очень высоких давлений. При отражении волны большой интенсивности материал также находится в условиях почти всестороннего расстяжения. Из эксперимента [8] видно, что для стали 1020 значение сопротивления отколу и значение сопротивления отрыву близки. Поэтому при высоких ударных нагрузках целесообразно использовать акустическое приближение, т. е. будем полагать, что среда не сопротивляется сдвигу.

Таким образом имеем упругую среду, для которой постоянные Лямэ $\lambda \neq 0$, $\mu = 0$.

Падающая волна

Пусть давление $p(t)$ равномерно распределено по поверхности сферической полости радиуса r_0, помещенного внутри упругого полупространства, для которого $\lambda \neq 0$, $\mu = 0$. Давление $p(t)$ начало действовать в момент $t=0$ и меняется по заданному закону.

Введем сферическую систему координат, начало которой совпадает с центром сферы радиуса r_0. В интересующем нас случае центральной симметрии компоненты смещений, деформаций и напряжений [4]:

$$u_\varphi = u_\theta = 0; \qquad u_R = u(R, t_1);$$

$$\varepsilon_R = \frac{\partial u}{\partial R}; \qquad \varepsilon_\varphi = \varepsilon_\theta = \frac{u}{R}; \qquad \gamma_{R\varphi} = \gamma_{\varphi\theta} = \gamma_{\theta R} = 0; \tag{1}$$

$$\sigma = \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial R} + 2 \frac{u}{R} \right); \qquad \tau_{R\varphi} = \tau_{\varphi\theta} = \tau_{\theta R} = 0.$$

Уравнение движения принимает вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{\partial u}{\partial R} + 2 \frac{u}{R} \right), \tag{2}$$

где a—скорость звука в среде.

Общее решение этого уравнения

$$u = \frac{-f_1'(at - R) + f_2'(at + R)}{R} - \frac{f_1(at - R) + f_2(at + R)}{R^2}, \tag{3}$$

где f_1 и f_2 произвольные функции своих аргументов, имеющие непрерывные производные до второго порядка включительно.

Вид этих функций определяется из граничных и начальных условий:

при $R = r_0$: $t > 0$; $\sigma = -p(t)$;

при $t = 0$; $R > r_0$; $U \equiv 0$. (4)

Из теории волновых уравнений известно, что впереди фронта волны, распространяющейся со скоростью звука a, область будет невозмущенной, если первоначально среда находилась в покое. В плоскости R, t область зависимости от начальных условий расположена между координатной осью R и лучом $R = at + r_0$ (рис. 1).

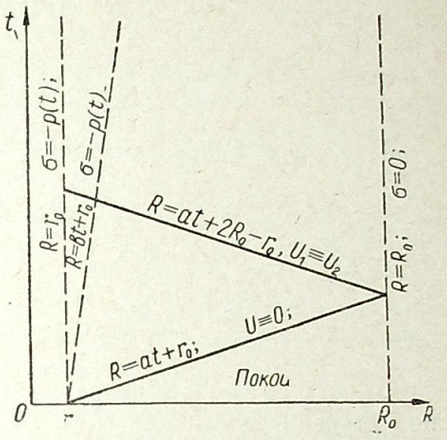


Рис. 1

Таким образом, условия (4) примут вид

при $R = r_0$; $t > 0$; $\sigma = -p(t)$;

при $at - R + r_0 = 0$; $U \equiv 0$. (5)

Ограничиваясь волной, идущей в одном направлении, получаем общее решение

$$U = -\frac{f_1'(at - R + r_0)}{R} - \frac{f_1(at - R + r_0)}{R^2}.$$

Подставляя это решение в первое условие (5), получаем

$$f_1''(\xi) = -\frac{r_0}{\lambda} p\left(\frac{\xi}{a}\right), \tag{6}$$

где $\xi = at - R + r_0$.

Функцию $f_1(\xi)$ ищем в виде

$$f_1(\xi) = A_1 \xi + A_2,$$

A_1 и A_2 определяются из второго условия (5). Окончательно

$$f_1(\xi) = -\frac{r_0}{\lambda} \left[\xi \int_0^\xi p\left(\frac{\xi}{a}\right) d\xi - \int_0^\xi \xi p\left(\frac{\xi}{a}\right) d\xi \right]. \tag{7}$$

Пользуясь этим результатом, получаем формулы для смещения, скорости и напряжения соответственно в каждой точке падающей волны в любой момент времени

$$U=\frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{1}{R}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\frac{1}{R^2}\left[\xi\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi-\int_0^{\xi}\xi p\left[\frac{\xi}{a}\right]d\xi\right]\right\}$$

$$V=\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{ar_0}{\lambda}\left[\frac{1}{R}p\left[\frac{\xi}{a}\right]+\frac{1}{R^2}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right]d\xi\right] \qquad (8)$$

$$\sigma=-\frac{r_0}{R}p\left[\frac{\xi}{a}\right]$$

На фронте падающий волны, т. е. при $\xi=at-p+r_0=0$

$$U=0;$$

$$V=\frac{ar_0}{\lambda}p(0):$$

$$\sigma=-\frac{r_0}{R}p(0).$$

Отсюда видно, что напряжение изменяется обратно пропорционально I степени расстояния R от центра.

Отражение от сферической свободной границы

Процесс распространения упругой волны имеет место до тех пор, пока фронт волны не достигнет внешней сферической поверхности радиуса $R=R_0$, центр которой совпадает с центром начальной сферы радиуса r_0. Здесь, начиная с момента $t_0+\frac{R_0-r_0}{a}$, происходит отражение волны, так как напряжение на свободной поверхности должны быть равны нулю (рис. 1).

Формально это выражается в том, что вместо (6) пользуемся общим (3), т. е. на функцию $f_1(\xi)$ накладывается функция $f_2(\eta)$. Таким образом, в общем случае напряжения в отраженной волне выражаются суммой

$$\sigma=\lambda\frac{f_1'(at-R+r_0)+f_1'(at+R+r_0)}{R}. \qquad (9)$$

Поскольку функция $f_1(\xi)$ нами определена (7), то по аналогии с предыдущим обозначим напряжение σ от падающей волны на сфере радиуса R_0 как известную функцию $p_1(t)$, такую, что

$$-p_1(t)=\lambda\frac{f_2'(at-R_0+r_0)}{R_0}. \qquad (10)$$

Так как напряжения на свободной сферической поверхности равны нулю, то из (9) и (10)

$$-p_1(t)+\lambda\frac{f_2'(at-R_0+r_0)}{R_0}=0.$$

Таким образом, для определения функции $f_2(\eta)$, мы получили уравнение:

$$f_2'(\eta)=\frac{R_0}{\lambda}p_1\left[\frac{\eta-R_0-r_0}{a}\right],$$

где $\eta=at+R+r_0$.

Подставляя в это уравнение вместо $p_1(t)$ его значение через $p(t)$ (10), получаем

$$f_2'(\eta)=\frac{r_0}{\lambda}p\left[\frac{\eta-2R_0}{a}\right]. \qquad (11)$$

Решение этого уравнения легко получить, воспользовавшись физическим условием непрерывности смещений на фронте отраженной волны (рис. 1), т. е. при $\eta=2R_0$, $U_1=U_2$, где U_1 и U_2 соответственно значение смещений на падающей и отраженной волне:

$$f_2(\eta)=\frac{r_0}{\lambda}\left[\eta\int_{2R_0}^{\eta}p\left(\frac{(\eta-2R_0}{a}\right)d\eta-\int_{2R_0}^{\eta}\eta p\left(\frac{\eta-2R_0}{a}\right)d\eta\right]. \qquad (12)$$

Отсюда получаем следующие формулы для смещения, скорости и напряжения в любой точке отраженной волны в любой момент времени:

$$U=\frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{1}{R}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\frac{1}{R^2}\left[\xi\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi-\int_0^{\xi}\xi p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{1}{R}\int_{2R_0}^{\eta}p\left(\frac{\eta-2R_0}{a}\right)d\eta-\frac{1}{R^2}\left[\eta\int_{2R_0}^{\eta}p\left(\frac{\eta-2R_0}{a}\right)d\eta-\int_{2R_0}^{\eta}\eta p\left(\frac{\eta-2R_0}{a}\right)d\eta\right]\right\}\right.$$

$$V=\frac{ar_0}{\lambda}\left[\frac{1}{R}p\left(\frac{\xi}{a}\right)+\frac{1}{R^2}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\frac{1}{R}p\left(\frac{\eta-2R_0}{a}\right)-\right.$$

$$\left.-\frac{1}{R^2}\int_{2R_0}^{\eta}p\left(\frac{\eta-2R_0}{a}\right)d\eta\right]; \qquad (13)$$

$$\sigma=r_0\left[-\frac{1}{R}p\left(\frac{\xi}{a}\right)+\frac{1}{R}p\left(\frac{\eta-2R_0}{a}\right)\right].$$

На фронте отраженной волны, т. е. при $\eta=2R_0$ или что то же $\xi=2(R_0-R)$:

$$U=\frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{1}{R}\int_0^{2(R_0-R)}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\frac{1}{R^2}\left[2(R_0-R)\int_0^{2(R_0-R)}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\int_0^{2(R_0-R)}\xi p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi\right]\right\}$$

$$V=\frac{ar_0}{\lambda}\left[\frac{1}{R}p\left(\frac{2(R_0-R)}{a}\right)+\frac{1}{R}p^{(0)}+\frac{1}{R^2}\int_0^{2(R_0-R)}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi\right] \quad (14)$$

$$\sigma=r_0\left[-\frac{1}{R}p\left(\frac{2(R-R)}{a}\right)+\frac{1}{R}p^{(0)}\right]:$$

Отсюда замечаем, что напряжения будут положительными или растягивающими в том случае, если величина

$$-p\left(\frac{2(R_0-R)}{a}\right)+p^{(0)}>0.$$

Так как $p(t)$—положительная функция своего аргумента, то из этого неравенства следует, что на некотором участке функция $p(t)$ должна убывать достаточно быстро с возрастанием аргумента $\frac{2(R_0-R)}{a}$, чтобы имел место откол. В то же время очевидно, что начальный участок возрастания $p(t)$ должен быть достаточно коротким и интенсивным.

Отражение от плоской свободной границы

Допустим, упругая волна отражается от плоской свободной границы полупространства, причем центр сферы радиуса r_0 находится на расстоянии l от границы (рис. 2). До момента $t_0=\frac{l-r_0}{a}$, когда вершина падающей волны достигает границы, процесс распространения волн описывается решением (8). Начиная с этого момента, от границы в обратном направлении распространяется отраженная сферическая волна.

Для определения решения внутри области, занятой этой волной, воспользуемся следующим приемом. Вообразим, что все пространство заполнено рассматриваемой средой; в дополнительном полупространстве поместим сферическую полость радиуса r_0, расположенную симметрично относительно фактической плоской границы. Пусть давление $p(t)$ противоположного знака равномерно распределено внутри этой сферической полости и изменяется по тому же закону, что и в фактической сфере радиуса r_0. Полученное решение для воображаемой сферы отличается только знаком от (8):

$$U_1=-\frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{1}{R_1}\int_0^{\xi_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1+\frac{1}{R_1^2}\left[\xi_1\int_0^{\xi_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1-\int_0^{\xi_1}\xi_1 p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1\right]\right\}. \quad (15)$$

R_1 отсчитывается от точки 0_1, $\xi_1=at-R_1+r_0$.

В результате суммарного взаимодействия волн, распространяющихся от фактической и воображаемой сферических полостей, можно получить решение, удовлетворяющее исходному уравнению (2) и граничным условиям отсутствия напряжений на свободной поверхности и непрерывности смещенной на фронте отраженной волны. Это решение будет полностью описывать процесс отражения волны от плоской границы полупространства, поэтому вспомогательно полупространство можно отбросить.

Поскольку движение из центральносимметричного становится осесимметричным, переходим к цилиндрической системе координат r, z, φ (рис. 2). Вследствие симметрии относительно оси z получаем

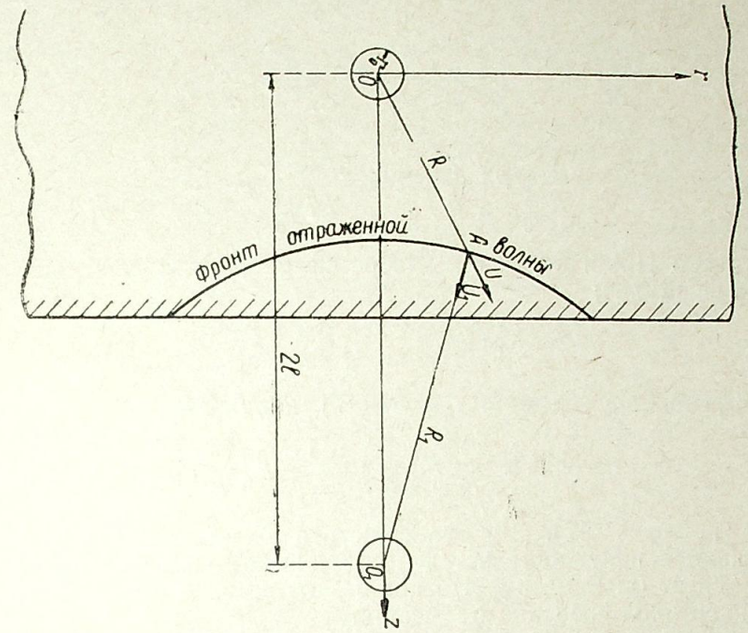


Рис. 2

$$U_r=|U|\frac{r}{R}-|U_1|\frac{r}{R_1}$$
$$U_z=|U|\frac{z}{R}+|U_1|\frac{2l-z}{R_1}, \quad (16)$$

где $R=\sqrt{r^2+z^2}$; $R_1=\sqrt{r^2+(2l-z)^2}$.

Таким образом, компоненты смещений в любой точке в любой момент времени:

$$U_r=\frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{r}{R^2}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\frac{r}{R^3}\left[\xi\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi-\int_0^{\xi}\xi p\left(\frac{\xi}{a}\right)\xi d\right]-\right.$$
$$\left.-\frac{r}{R_1^2}\int_0^{\xi_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1-\frac{r}{R_1^3}\left[\xi_1\int_0^{\xi_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1-\int_0^{\xi_1}\xi_1 p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi\right]\right\}; \quad (17)$$
$$U_z=\frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{z}{R^2}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\frac{z}{R^3}\left[\xi\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi-\int_0^{\xi}\xi p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi\right]+\right.$$
$$\left.+\frac{2l-z}{R_1^2}\int_0^{\xi_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1+\frac{2l-z}{R_1^3}\left[\xi_1\int_0^{\xi_1}\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1-\int_0^{\xi_1}\xi_1 p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1\right]\right\}.$$

Компоненты скоростей

$$\frac{\partial U_1}{\partial t}=\frac{ar_0}{\gamma}\left[\frac{r}{R^2}p\left(\frac{\xi}{a}\right)-\frac{r}{R_1^2}p\left(\frac{\xi_1}{R^2}\right)+\frac{\lambda}{R^3}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi-\frac{r}{R_1^3}\int_0^{\xi_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1\right];$$

$$\frac{\partial U_z}{\partial t}=\frac{ar_0}{\lambda}\left]\frac{z}{R^3}p\left(\frac{\xi}{a}\right)+\frac{2l-z}{R_1^2}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)+\right.$$

$$+\frac{r}{R^3}\int_0^{\xi}p\left(\frac{\xi}{a}\right)d\xi+\frac{2l-z}{R_1^3}\int_0^{\xi_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)d\xi_1\left.\right].$$

Согласно [10] напряжения для осесимметричных движений выражаются формулой:

$$\sigma=\lambda\left(\frac{\partial U_r}{\partial r}+\frac{U_r}{r}+\frac{\partial U_z}{\partial z}\right). \tag{18}$$

Дифференцируя соответственно (17), получаем

$$\sigma=r_0\left[-\frac{1}{R}p\left(\frac{\xi}{a}\right)+\frac{1}{R_1}p\left(\frac{\xi_1}{a}\right)\right]. \tag{19}$$

Это решение (17), (19) имеет место в области, ограниченной плоской границей полупространства и сферическим фронтом, распространяющимся от 0_1. Заметим, что при $R=R_1$ $\sigma=0$, т. е. в любой момент времени граница свободна от усилий.

На фронте отраженной волны, т. е. при $\xi_1=0$ или что то же при $\xi=R_1-R$

$$\sigma=r_0\left[-\frac{1}{R}p\left(\frac{R_2-R}{a}\right)+\frac{1}{R_1}p^{(0)}\right]. \tag{20}$$

Отсюда видим, что на некотором участке функция $p(t)$ с возрастанием аргумента $\frac{R_1-R}{a}$ должна убывать быстрее, чем отношение $\frac{R}{R_1}$. Только при этом условии может иметь место откол.

Из (20) замечаем, что максимальное растягивающее напряжение достигается на вершине фронта отраженной волны, так как в этой точке аргумент $\frac{R_1-R}{a}$ убывающей функции $p(t)$ имеет наибольшее значение. С удалением от вершины фронта к периферии напряжение падает, достигая нуля для точек отраженной волны, лежащих на плоской границе. В связи с этим, очевидно, что поверхность откола будет более покатой, чем сфера с центром в 0_1, так как в разных точках фронта разрушающее значение τ достигается в различные моменты времени.

При произвольном законе измерения $p(t)$ критические растягивающие напряжения не обязательно будут впервые достигаться на фронте отраженной волны. Однако, если давление $p(t)$ мгновенно возрастает до максимального значения, а затем падает, то глубина откола $l-z_*$ определяется из уравнения согласно формуле

$$\sigma_*=r_0\left[-\frac{1}{R}p\left(\frac{R_1-R}{a}\right)+\frac{1}{R_1}p(0)\right],$$

где σ_*—значение разрушающего напряжения.

Распространение и отражение волн от расширяющейся зоны разрушения

Рассмотрим движение упругой среды, возникающее от давления $p(t)$, равномерно распределенного по поверхности расширяющейся сферической зоны разрушения. Полагаем скорость расширения b зоны разрушения постоянной ($b<a$).

Картина распространения и отражения волн имеет примерно такой же характер, как и в случае неподвижной поверхности приложения давления. Однако граничное условие несколько видоизменяется:

$\sigma=-p(t)$ при $R=bt+\gamma_0$ или что то же при
$at-R+r_0=(a-b)t.$

Подставляя решение (6) в это условие, приходим к дифференциальному уравнению

$$f_1'[(a-b)t]=-\frac{R}{\lambda}p(t). \tag{22}$$

Обозначим $\xi=(a-b)t$; $c=\frac{b}{a-b}$.

Тогда $R=bt+r_0=r_0\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)$.

Преобразуя (22), получаем

$$f_1'\xi=-\frac{r_0}{\lambda}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right). \tag{23}$$

Используя начальное условие (5), находим решение

$$f_1(\xi)=\frac{r^0}{\lambda}\left[\int_0^{\xi}\xi\left(\frac{c\xi}{\gamma_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi-\xi\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{\gamma_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi\right].$$

Отсюда получаем формулы для смещения, скорости и напряжения в каждой точке падающей волны в любой момент времени:

$$U=\frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{1}{R}\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{\gamma}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi\frac{1}{R^2}\left[\xi\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{\gamma_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\int_0^{\xi}\xi\left(\frac{c\xi}{\gamma_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi\right]\right\}.$$

$$V=\frac{\partial U}{\partial t}=\frac{ar_0}{\lambda}\left[\frac{1}{R}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)+\frac{1}{R^2}\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi\right] \tag{24}$$

$$\sigma = -\frac{\lambda_0}{R}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right).$$

Аналогично пункту 4 для волны, отраженной от сферической свободной границы, получаем формулы для смещения, скорости и напряжения:

$$U = \frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{1}{R}\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi + \frac{1}{R^2}\left[\xi\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \int_0^{\xi}\xi\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi\right] + \frac{1}{R}\int_{2R_0}^{\eta}\left[\frac{c(\eta-2R_0)}{r_0}+1\right]p\left(\frac{\eta-2R_0}{a-b}\right)d\eta - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{R_0}\left[\eta\int_{2R_0}^{\eta}\left[\frac{c(\eta-2R_0)}{r_0}+1\right]p\left(\frac{\eta-2R_0}{a-b}\right)d\eta - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \int_{2R_0}^{\eta}\eta\left[\frac{c(\eta-2R_0)}{r_0}+1\right]p\left(\frac{\eta-2R_0}{a-b}\right)d\eta\right]\right\};$$

$$V = \frac{a\,r_0}{\lambda}\left\{\frac{1}{R}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right) + \frac{1}{R}\left[\frac{c(\eta-2R_0)}{\gamma_0}+1\right]p\left(\frac{\eta-R_0}{a-b}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{R^2}\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi - \frac{1}{R^2}\int_{2R_0}^{\eta}\left[\frac{c(\eta-2R_0)}{r_0}+1\right]p\left(\frac{\eta-2R_0}{a-b}\right)d\eta\right\}; \quad (25)$$

$$\sigma = -\frac{r_0}{R_0}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right) + \frac{r_0}{R}\left[\frac{c(\eta-2R_0)}{r_0}+1\right]p\left(\frac{\eta-2R_0}{a-b}\right).$$

Пользуясь приемом, изложенным в пункте 5, находим выражения для компонент смещения и напряжения на волне, отраженной от плоской свободной границы:

$$U_r = \frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{r}{R^2}\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi + \frac{\gamma}{R^3}\left[\xi\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \int_0^{\xi}\xi\left(\frac{c\xi}{\gamma_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi\right] - \frac{\mu}{R_1^2}\int_0^{\xi_1}\left(\frac{c\xi_1}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi_1}{a-b}\right)d\xi_1 - \right.$$

$$\left. - \frac{r}{R_1^3}\left[\xi_1\int_0^{\xi_1}\left(\frac{c\xi_1}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi_1}{a-b}\right)d\xi_1 - \int_0^{\xi_1}\xi_1\left(\frac{c\xi_1}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi_1}{a-b}\right)d\xi_1\right]\right\};$$

$$U_z = \frac{r_0}{\lambda}\left\{\frac{z}{R^2}\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi + \frac{z}{R^3}\left[\xi\int_0^{\xi}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \int_0^{\xi}\xi\left(\frac{c\xi}{\gamma_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right)d\xi\right] + \frac{2l-z}{R_1^2}\int_0^{\xi_1}\left(\frac{c\xi_1}{\gamma_0}+1\right)p\left(\frac{\xi_1}{a-b}\right)d\xi_1 + \right.$$

$$\left. + \frac{2l-z}{R_1^3}\left[\xi_1\int_0^{\xi_1}\left(\frac{c\xi_1}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi_1}{a-b}\right)d\xi_1 - \int_0^{\xi_1}\xi_1\left(\frac{c\xi_1}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi_1}{a-b}\right)d\xi_1\right]\right\}; \quad (26)$$

$$\sigma = -\frac{\mu_1}{R}\left(\frac{c\xi}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right) + \frac{\eta_0}{R_1}\left(\frac{c\xi_1}{r_0}+1\right)p\left(\frac{\xi}{a-b}\right).$$

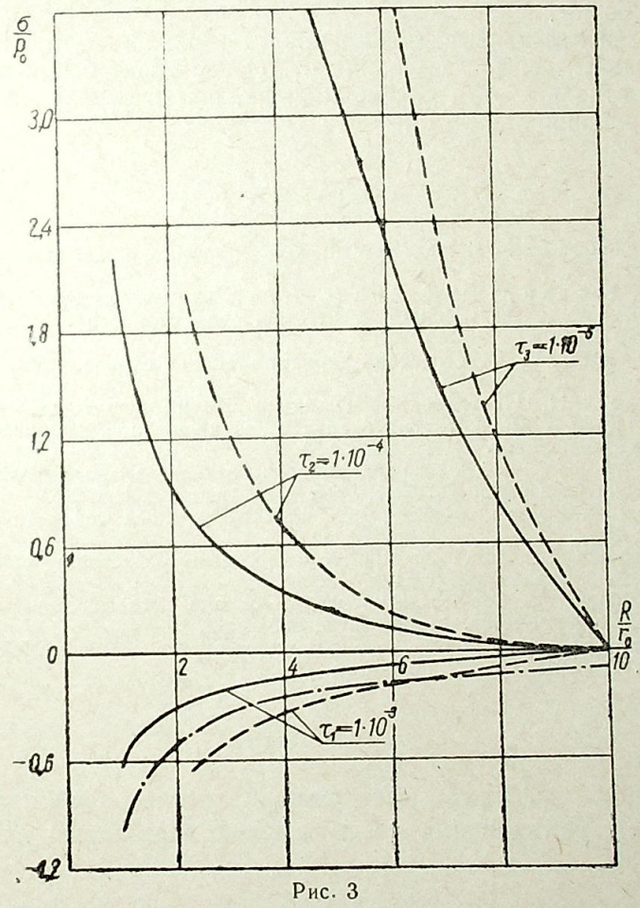


Рис. 3

На фронте волны, отраженной от плоской свободной границы, напряжение выражается формулой

$$\sigma = -\frac{r_0}{R}\left[\frac{c(R_1-R)}{r_0}+1\right]p\left(\frac{R_1-R}{a-b}\right) + \frac{\gamma_0}{R_1}p(0). \quad (27)$$

Есла давление $p(t)$ мгновенно возрастает до максимума, а затем падает, то глубина откола z_* определяется, приравнивая выражение в правой части (27) значению разрушающего напряженая σ_*.

На рис. 3 нанесены кривые изменения напряжения σ/p_0 на вершине фронта отраженной волны (точка A на рис. 2) в зависимости от расстояния R/r_0, вычисленные для случая, когда давление $p(t)$ внутри сферической полости r_0 мгновенно возрастает до максимума, а затем падает по линейному закону:

$$p = p_0\left(1 - \frac{t}{\tau}\right).$$

Сплошными линиями нанесены кривые для случая, когда зона разрушения считается неподвижной ($b=0$), пунктирными—когда зона разрушения движется с некоторой постоянной скоростью ($b=0{,}08a$). Кривая „точка—тире" соответствует изменению напряжения на фронте падающей волны.

Сравнивая эти кривые, можно придти к заключению, что в случае расширяющейся зоны разрушения откол наступает быстрее, поэтому и глубина откола в этом случае меньше, чем в случае неподвижной зоны разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусейн-заде М. И. Об акустической теории откола. ПММ, 1958, т. XII вып. 4.

2. Гусейн-заде М. И., Кузин П. А. Действие импульсивной нагрузки на упругий слой, лежащий на жидком упругом полупространстве. „Изв. АН СССР, ОТН", 1959, № 1.

3. Ленский В. С. Акустический вариант теории откола. ПММ, 1956, т. XX, вып. 4.

4. Лурье А. И. Пространственные задачи теории упругости, 1955.

5. Синицын А. П. Экспериментальное изучение зон, разрушения в бетоне от действия взрыва. „Вест. ВИА", 1946, № 49.

6. Шамин В. М. Исследование явления откола в железобетонных плитах при взрыве. Физика взрыва. Сб. № 1, Ин-т хим. физики АН СССР.

7. Allen W. A. Tree surface motion induced by shock waves in steel. J. appl. mech., 1955, 22,3.

8. Rinehart J. S. Some Quantitative data bearing on scabbing of metals under explosive attack. J. appl. phys, 1951 *a*, 22.

9. Rinehart J. S. Some experimental indications of the stresses produced in a body by an exploding charge. J. appl phys., 1951 *в* 12.

10. Rinehart J. S. Scabbing of metals under explosive attask; Multiple scabbing J. appl. phys., 1952. 23,

Ө. Х. М. Әлијев

Сүрүшмәјә мүгавимәт көстәрмәјән еластики јарымфәзанын сәрбәст сәтһиндән бирөлчүлү сферик далғаларын ин'икасы

ХҮЛАСӘ

Мәгаләдә еластики мүһит ичәрисиндә тәтбиг олунан зәрбә тәзјиги нәтичәсиндә әмәлә кәлән бирөлчүлү сферик далғаларын јајылмасы вә јарымфәзанын сәрбәст сәрһәддиндән ин'икасы һаггында мәсәлә тәдгиг олунур.

Әлдә едилән һәллин нәтичәләри дартычы кәркинликләрин әмәлә кәлмәси шәртләрини әлдә етмәјә имкан верир вә бунунла да гопманын сәбәби шәрһ олунур.

Мәсәләни садәләшдирмәк үчүн тәчрүбәләрә әсасланараг бә'зи фәрзијјәләр едилмишдир.

Еластики мүһитдә Ламе әмсалы μ сыфыр гәбул едилмишдир.

Мәгаләдә мәсәлә ин'икас етдирән сәтһ сферик вә мүстәви олан һаллар үчүн тәдгиг олунмушдур.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-рија зијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Г. Б. АБДУЛЛАЕВ, Г. М. АЛИЕВ, В. Б. АНТОНОВ,
А. А. БАШШАЛИЕВ, А. З. КУЛИЕВ, Я. Н. НАСИРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ГАЛЕНИТА И ХАЛЬКОПИРИТА

Введение

Исследованию физических свойств синтетического и природного галенита посвящено много работ [1, 6—8,15—18]. О выпрямляющем и усилительном свойстве галенита сообщается в [9]. В [10] рассматриваются свойства кристаллического триода из галенита (PbS).

Б. И. Болтаксом и Н. Н. Тарновским [3] изучены электропроводность и термоэдс природного и синтетического халькопирита $CuFeS_2$. Вопрос о химических связях в соединениях типа ABX_2, к которым относится халькопирит, рассмотрен в [9]. Выпрямляющее свойство этого минерала было обнаружено Ф. Броуном [4], а О. В. Лосев на отдельных кристаллах получил незатухающие электрические колебания [11, 12].

Во всех этих работах не указан химический состав примесей исследуемого природного полупроводника. Учитывая, что свойства полупроводников сильно зависят от наличия в них примесей, а число и содержание последних для природных минералов изменяется в зависимости от месторождений, для нас представляло интерес исследовать теплопроводность, электропроводность и термоэдс природного галенита и халькопирита месторождений Азербайджана.

По данным спектрального анализа [13], исследованные нами минералы галенит и халькопирит соответственно содержат:

$Pb \approx 86{,}6\%$, $S \approx 13{,}4\%$, примеси — $V \approx 10^{-3}\%$, $Li \approx 10^{-3}\%$, $Ag \approx 3 \cdot 10^{-3}\%$, $Sr \approx 10^{3-}\%$;

$Cu \approx 34{,}57\%$, $Fe \approx 30{,}53\%$, $S \approx 34{,}96\%$, примеси — $Ag \approx 10^{-5}\%$, $Zn \approx 10^{-4}\%$, $Mo \approx 10^{-4}\%$, $Ga \approx 10^{-4}\%$ и $Mn \approx 10^{-4}\%$.

Зависимость электропроводности от температуры

Электропроводность измерялась зондовым методом на образцах, выпиленных из природного галенита и халькопирита, размером 23 *мм* в интервале температур для галенита 20—450° С, а для халькопирита 20—600° С. Контакты приклеивались на акводаке.

Электропроводность при комнатной температуре для крупнозернистых и мелкозернистых образцов галенита составляла соответственно 8,7 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$ и 17,57 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$, для образцов халькопирита 22 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$, тогда как по данным [3] она равна 20,0 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-рјазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Г. Б. АБДУЛЛАЕВ, Г. М. АЛИЕВ, В. Б. АНТОНОВ,
А. А. БАШШАЛИЕВ, А. З. КУЛИЕВ, Я. Н. НАСИРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ГАЛЕНИТА И ХАЛЬКОПИРИТА

Введение

Исследованию физических свойств синтетического и природного галенита посвящено много работ [1, 6—8,15—18]. О выпрямляющем и усилительном свойстве галенита сообщается в [9]. В [10] рассматриваются свойства кристаллического триода из галенита (PbS).

Б. И. Болтаксом и Н. Н. Тарновским [3] изучены электропроводность и термоэдс природного и синтетического халькопирита $CuFeS_2$. Вопрос о химических связях в соединениях типа ABX_2, к которым относится халькопирит, рассмотрен в [9]. Выпрямляющее свойство этого минерала было обнаружено Ф. Броуном [4], а О. В. Лосев на отдельных кристаллах получил незатухающие электрические колебания [11, 12].

Во всех этих работах не указан химический состав примесей исследуемого природного полупроводника. Учитывая, что свойства полупроводников сильно зависят от наличия в них примесей, а число и содержание последних для природных минералов изменяется в зависимости от месторождений, для нас представляло интерес исследовать теплопроводность, электропроводность и термоэдс природного галенита и халькопирита месторождений Азербайджана.

По данным спектрального анализа [13], исследованные нами минералы галенит и халькопирит соответственно содержат:

Pb $\approx$ 86,6%, S $\approx$ 13,4%, примеси — V $\approx 10^{-3}$%, Li $\approx 10^{-3}$%, Ag $\approx 3 \cdot 10^{-3}$%, Sr $\approx 10^{3-}$%;

Cu $\approx$ 34,57%, Fe $\approx$ 30,53%, S $\approx$ 34,96%, примеси — Ag $\approx 10^{-5}$%, Zn $\approx 10^{-4}$%, Mo $\approx 10^{-4}$%, Ga $\approx 10^{-4}$% и Mn $\approx 10^{-4}$%.

Зависимость электропроводности от температуры

Электропроводность измерялась зондовым методом на образцах, выпиленных из природного галенита и халькопирита, размером 23 *мм* в интервале температур для галенита 20—450° С, а для халькопирита 20—600° С. Контакты приклеивались на акводаке.

Электропроводность при комнатной температуре для крупнозернистых и мелкозернистых образцов галенита составляла соответственно 8,7 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$ и 17,57 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$, для образцов халькопирита 22 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$, тогда как по данным [3] она равна 20,0 $ом^{-1} \cdot см^{-1}$.

Опыты показали, что с повышением температуры до 460° С электропроводность галенита растет, имея примесную и собственную проводимость (рис. 1), в то время как [6] в интервале температур 180—470° С для синтетического галенита собственная проводимость не обнаружена.

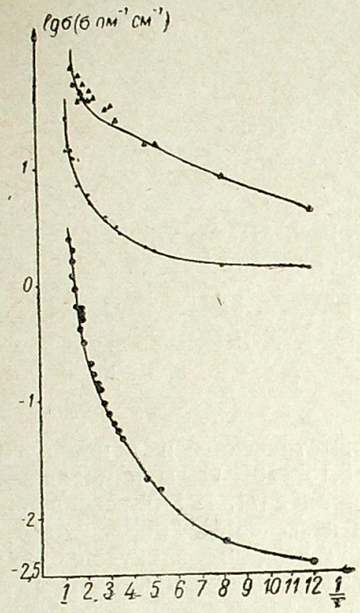


Рис. 1

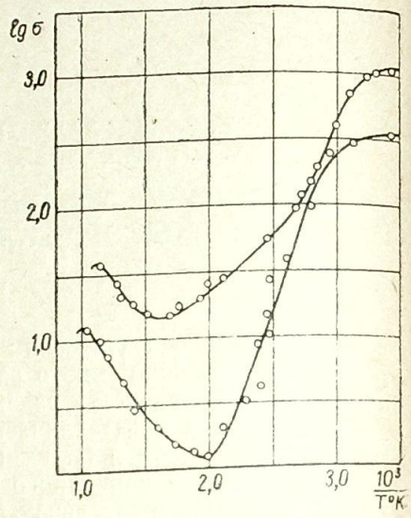


Рис. 2

С повышением температуры от комнатной до 220° С электропроводность халькопирита уменьшается до $4\ ом^{-1} \cdot см^{-1}$, т. е. примерно в 5 раз. Минимум электропроводности как в нашем случае, так и в работе [3] соответствует температуре 300° С. При дальнейшем повышении температуры до 600° С электропроводность растет, что можно видеть на рис. 2. Подобная зависимость была получена и для других образцов. Эти данные качественно согласуются с приведенными в [3]. Такая сложная зависимость электропроводности от температуры и некоторые отличия от данных [3] для халькопирита, по-видимому, обусловлены различным содержанием примесей.

При повторном измерении электропроводности в галените и халькопирите необратимых изменений не обнаружено.

Вычисленное значение термической энергии активации носителей тока для нескольких образцов галенита в области примесной и собственной проводимости соответственно равно 0,11 и 0,60 *эв* и хорошо согласуется с результатами [1], а для халькопирита на участке полупроводниковой проводимости, соответствующему интервалу температур 270—580° С, колеблется от 0,43 до 0,55 *эв*.

Зависимость термоэдс от температуры

Термоэдс измерялась для галенита в интервале температур от 0 до 400° С, а для халькопирита в интервале температур 20—550° С. Образцы зажимались между нагревателем и холодильником, температура которого поддерживалась постоянной.

Опыты показали, что с увеличением разности температур между концами образца эдс растет. При температурах горячего спая порядка 380—400° С и холодного спая 70—80° С, что примерно соответствует режиму термоэлектрогенератора ТГК-3 [10], эдс галенита составляет 90—100 *мв* (рис. 3), а халькопирита 120—140 *мв*.

Коэффициент термоэдс галенита измерялся в интервале температур 20 — 500° С, а халькопирита — 10 — —650° С. Образцы зажимались между двумя нагревателями с перепадом температур не более 5,5—8,0°С.

При комнатной температуре коэффициент термоэдс для различных образцов галенита колеблется от 270 до 325 $\frac{мкв}{град}$, для халькопирита 480 — 500 $\frac{мкв}{град}$.

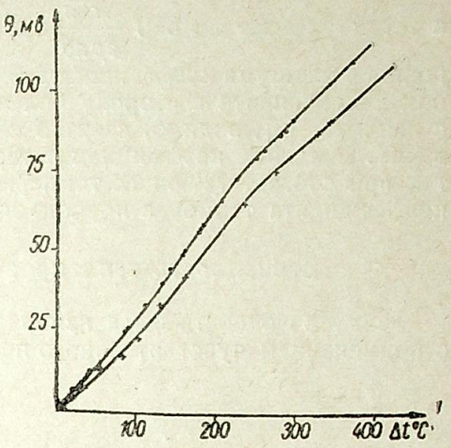


Рис. 3

С ростом температуры коэффициент термоэдс галенита уменьшается, имея минимум $\left(215\ \frac{мкв}{град}\right)$ при температуре 60° С, а затем растет до максимума $\left(325\ \frac{мкв}{град}\right)$, при дальнейшем повышении температуры значение α уменьшается, достигая минимума при температуре 500°С (рис. 4).

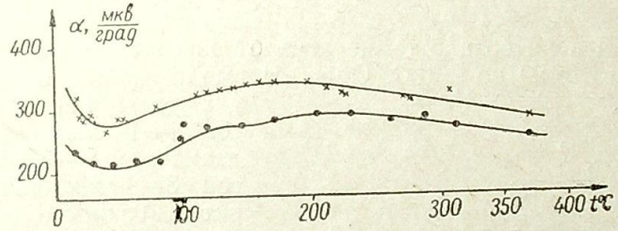


Рис. 4

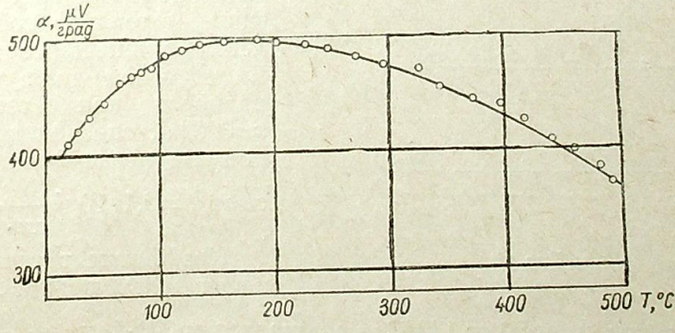


Рис. 5

Коэффициент термоэдс халькопирита с ростом температуры растет, достигая максимума при температуре 180—200° С и равняется 500 $\frac{мкв}{град}$, а затем убывает до 380 $\frac{мкв}{град}$ при температуре 500° С (рис. 5). Перемещение максимума коэффициента термоэдс в исследованных нами образцах халькопирита в сторону более низких температур по сравнению с данными [3], видимо, связано с наличием другого состава примесей в них. Значение коэффициента термоэдс халькопирита в наших опытах при соответствующих температурах в два раза больше значений коэффициента термоэдс природного халькопирита, приведенных в [3].

Зависимость теплопроводности от темпетратуры

Теплопроводность была измерена плоским цилиндрическим методом с применением чувствительного полупроводникового охранного кольца

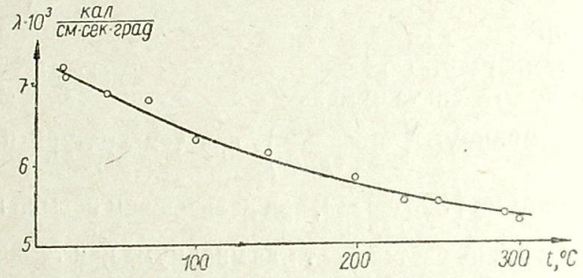


Рис. 6

для галенита в интервале температур от комнатной до 100° С, а для халькопирита от 20 до 150° С. Образцы имели цилиндрическую форму диаметром 11—12 *мм* и высотой 9—11 *мм* для галенита и диаметром 9—10 *мм* и высотой 8—9 *мм* для халькопирита. Точность метода составляла 2—3%.

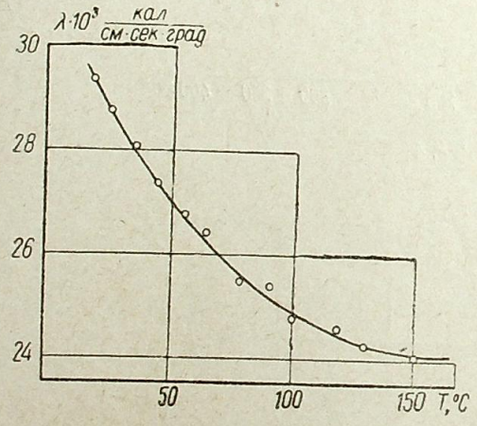


Рис. 7

Опыты показали, что с повышением температуры коэффициент теплопроводности галенита уменьшается (рис. 6). Электронная доля теплопроводности при температуре ≈300° С, определенная по закону Видемана-Франца, составляет $\lambda = 0{,}1 \cdot 10^{-3} \frac{кал}{см \cdot сек \cdot град}$.

Коэффициент теплопроводности халькопирита с повышением температуры от 20 до 140° С уменьшается от $3{,}0 \cdot 10^{-2} \frac{кал}{см \cdot сек \cdot град}$ до $2{,}4 \cdot 10^{-2} \frac{кал}{см \cdot сек \cdot град}$. При дальнейшем повышении температуры λ остается практически постоянной (рис. 7).

О термоэлементах из природного галенита и халькопирита

Опыт показал, что из природного галенита и халькопирита месторождений Азербайджана могут быть изготовлены термоэлементы

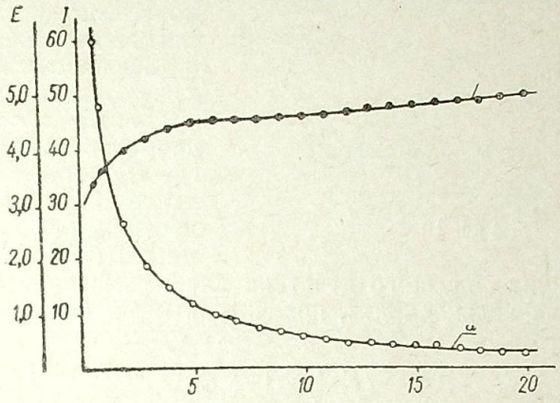


Рис. 8

С этой целью был приготовлен ряд образцов, выпиленных из природного минерала без дополнительных обработок. Вторую ветвь приваривали к местам спаев электросваркой. Эдс каждого элемента для

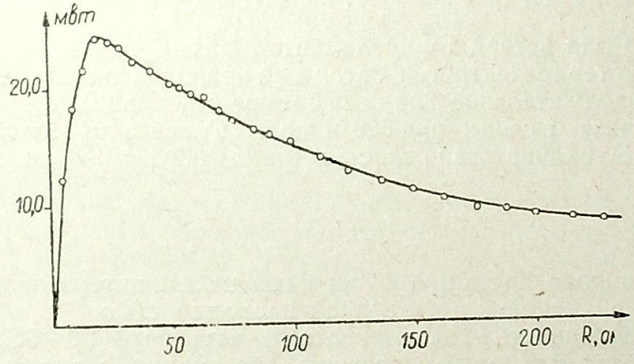


Рис. 9

галенита в режиме керосиновой лампы порядка 0,09—0,1 *в*, а для халькопирита—0,12—0,14 *в*.

На рис. 8 дана кривая зависимости силы тока и эдс от внешнего нагрузочного сопротивления для термоэлектрогенератора, собранного на природном галените. Из графика видно, что с увеличением сопротивления нагрузки мощность растет, достигая максимума при $R = 6{,}5$ *ком*, а затем остается постоянной.

Кривая зависимость мощности одного термоэлемента из халькопирита от нагрузочного омического сопротивления показывает, что отдаваемая термоэлементом мощность с увеличением сопротивления нагрузки растет, достигая максимума при 20—25 *ом*, затем убывает до примерно 200 *ом*. При дальнейшем увеличении сопротивления нагрузки мощность термоэлемента остается практически постоянной (рис. 9).

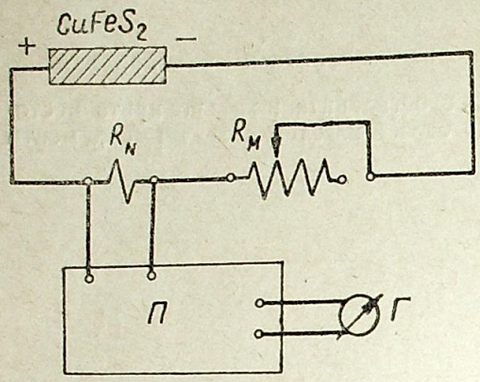


Рис. 10

Зависимость мощности от нагрузочного омического сопротивления снята по потенциометрической схеме (рис. 10), где R_N—нормальное сопротивление (1 *ом*), $R_н$—магазин сопротивлений, $П$—потенциометр ППТВ-1.

Коэффициент полезного действия для термоэлементов как из галенита, так и из халькопирита, подсчитанный по формуле [5],

$$\eta = \frac{(T_1 - T_2)\sqrt{1 + \frac{z}{2}(T_1 - T_2)} - 1}{T_1\sqrt{1 + \frac{z}{2}(T_1 + T_2)\frac{T_2}{T_1}}},$$

оказался равным примерно 2%.

Здесь T_1 и T_2—соответственно температуры горячего и холодного спая, а z—величина, равная $\frac{\alpha^2\sigma}{\lambda}$, характеризующая материалы, использованные для ветвей термоэлементов в генераторе.

Собранные термоэлектрогенераторы из природного галенита и халькопирита продолжительное время работают стабильно.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность проф. Г. Х. Эфендиеву за предоставленные образцы и консультации по работе.

Выводы

1. Электропроводность природного галенита в интервале 20—450°С выражается примесной и собственной проводимостью.

Электропроводность халькопирита в интервале 20—650°С имеет сложную зависимость от температуры, что, видимо, объясняется наличием различных примесей.

2. Максимальное значение коэффициента термоэдс для образцов галенита колеблется в пределах $280 \div 325$ $\frac{мкв}{град}$, а для халькопирита $480 \div 500$ $\frac{мкв}{град}$.

3. Коэффициент теплопроводности галенита и халькопирита с повышением температуры уменьшается.

4. Собраны термоэлектрогенераторы из природного галенита и халькопирита. Генераторы работают стабильно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Г. Б., Ахундов Г. А. „Изв. АН Азерб. ССР", 1955, № 12.
2. Бенбури П., Гебби Х., Хагарт К. Полупроводниковые материалы, 1954.
3. Болтакс Б. И., Тарновский Н. Н. „Ж. техн. физ.", 1955, т. 25, № 3.
4. Броун Ф. Из предистории радио. Изд-во АН СССР, 1948.
5. Воронин А. Н. Полупроводниковые термоэлектрогенераторы, Л., 1957.
6. Девяткова Е. Д., Маслаковец Ю. П. и Соминский М. С. „Изв. АН СССР, серия физ", 1941, вып. 4—5.
7. Дунаев Ю. А. „Ж. техн. физ." 1946, т. 16, вып. 10.
8. Дунаев Ю. А., Маслаковец Ю. П. „Ж. эксперим. и теор. физ"., 1947, т. 17, вып. 10.
9. Жузе В. П., Сергеева В. М. и Штрум Е. Л. „Ж. техн. физ"., 1958, т. 28, № 10.
10. Иоффе А. Ф. Полупроводники и их применение. Изд-во АН СССР, 1956.
11. Лосев О. В. „Телеграф и телефон без проводов", 1922, № 14.
12. Лосев О. В. „Телеграф и телефон без проводов", 1922, № 15.
13. Эфендиев Г. Х. Гидротермальный рудный комплекс северо-восточной части Малого Кавказа, Изд-во АН Азерб. ССР, 1957.
14. Gebbie H. A., Banburu P. C. and Hogarth C. A. Proc. Phys. Soc., 63, 371, 1950.
15. Finlanson and Gzeig D. Proc. Phys. Soc., 73, 1,469, 1959.
16. Putleu E. H. and Anthur. Proc. Phys. Soc., 64,7, 379, 1951.
17. Putleu E. H. Proc. Phys. Soc., 65, 12, 396, 1952.
18. Putleu E. H. Proc. Phys. Sec., 65, 5, 889, 1952.

Һ. Б. Абдуллајев, Г. М. Әлијев, В. Б. Антонов,
Ә. А. Башшалијев, А. З. Гулијев, Ј. Н. Нәсиров

Тәбии галенитин вә халкопиритин истилик вә електрик хассәләринин тәдгиги

ХҮЛАСӘ

Истәр сүн'и вә истәрсә дә тәбии галенитин вә халкопиритин физики хассәләри чох аз өјрәнилмишдир.

Мүасир дөврдә бүтүн термоелементләр сүн'и шәкилдә һазырланмыш јарымкечирчи маддәләрдән дүзәлдилир.

Һазырлы тәдгигатдан мәгсәд тәбии јарымкечирчи минераллардан термоелемент һазырламагдан ибарәтдир. Бу мәгсәдлә Азәрбајчанын тәбии галенитиндән вә халкопиритиндән термоелектрокенераторлар һазырламағын мүмкүн олмасыны мүәјјәнләшдирмәк үчүн, һәмин маддәләрин електрик кечирмәси, истилик кечирмәси вә термоелектрик һәрәкәт гүввәси кениш температур интервалы дахилиндә өјрәнилмишдир.

Електрик кечирмә галенит үчүн 20 илә 450° С арасында, халкопирит үчүн исә 20—600° С интервалында контакт мүгавимәтини арадан галдырмаг мәгсәдилә зонд үсулу илә өлчүлмүшдүр.

Тәчрүбәләр көстәрир ки, галенит нүмунәләри өјрәнилмиш температур интервалында һәм ашгар вә һәм дә мәхсуси кечиричилијә маликдир. Һесабламаја көрә електронларын чыхыш иши ашгар кечиричилик областында 0,11 *ев*-ә, мәхсуси кечиричилик областында исә 0,60 *ев*-ә бәрабәрдир.

Халкопирит нүмунәләриндә електрик кечирмәнин температурдан асылылығы чох мүрәккәбдир ки, бу да онун тәркибинә дахил олан ашгарлардан асылы һесаб едилә биләр.

Електрик кечиричилијини өлчдүјүмүз нүмунәләрдә компенсасија үсулу илә термоелектрик һәрәкәт гүввәси дә өлчүлмүшдүр.

Тәчрүбә көстәрир ки, галенит нүмунәләриндә ән чох термоелектрик һәрәкәт гүввәси 325 $\frac{мкв}{дәрәчә}$, халкопирит нүмунәләриндә исә 500 $\frac{мкв}{дәрәчә}$ гәдәрдир.

Стасионар үсулла истиликкечирмә әмсалы өлчүлмүш вә тапылмышдыр ки, галенитин истилик кечирмә әмсалы $7 \cdot 10^{-3}$ $\frac{кал}{см \cdot сан \cdot дәрәчә}$ олуб температурун артмасы илә азалыр. Бидеман-Франс ганунундан истилик кечирмәнин електрон һиссәси һесабланмыш вә 300°C температурда $\lambda_c = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ $\frac{кал}{см \cdot сан \cdot дәрәчә}$ тапылмышдыр. Халкопирит нүмунәләриндә истиликкечирмә әмсалы да һәмин үсул илә тә'јин едилмишдир. Истиликкечирмә әмсалы $3{,}0 \cdot 10^{-2}$ $\frac{кал}{см \cdot сан \cdot дәрәчә}$ тапылмышдыр.

Мүхтәлиф температурларда електриккечирмә, истиликкечирмә вә термоелектрик һәрәкәт гүввәсинин өјрәнилмәси нәтичәсиндә мүәјјән едилмишдир ки, тәбии галенит вә халкопирит термоелектрокенераторлар үчүн јарарлыдыр.

Тәбии галенитдән вә халкопиритдән фајдалы иш әмсалы 2% олан термоелектрокенераторлар јығылмышдыр ки, һәмин кенераторлар бир сыра гурғулары (радиогәбуледичиси, телефон, телевизор вә с. апаратлары) електриклә тә'мин едә билир.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Б. Д. АЛИЕВ, Г. Б. АБДУЛЛАЕВ, Г. М. АЛИЕВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕЛЕНА С ПРИМЕСЬЮ ВИСМУТА

Многие физические свойства селена, несмотря на большое количество работ о нем, до сих пор не выяснены.

Исследования селена показывают, что его электрические, тепловые, оптические и другие свойства в сильной степени зависят от примесей. Одни примеси увеличивают электропроводность селена, а другие ее уменьшают.

Нами было показано, что введение галлоидных примесей до определенного процентного содержания увеличивает электропроводность селена, но с дальнейшим повышением количества примесей электропроводность понижается [1, 2, 4].

В работах [3, 7, 9, 10, 13, 16, 17] показано, что добавление к селену ртути, сурьмы, серы, кадмия, висмута и других элементов может коренным образом изменить картину механизма проводимости, по-разному влияя на энергетические уровни кристаллической решетки гексагонального селена.

В работе [9] указывается, что причиной малого увеличения сопротивления селена при введении в него небольшого количества металлических примесей является плохая их растворимость в селене. Также было указано, что металлические примеси соответствующей подгруппы таблицы элементов тем значительнее увеличивают удельное сопротивление селена, чем больше атомный вес элемента данной подгруппы и чем больше его атомный радиус.

Д. Н. Наследов и Е. Малышев [11], определяя электропроводность стеклообразного аморфного селена при комнатной температуре в слабом электрическом поле, установили, что с ростом напряженности поля электропроводность селена возрастает.

Электропроводность той же модификации селена в зависимости от степени очистки от примеси изучал Ю. Каден [6].

В работе [8] изучены изотермические изменения во времени концентрации носителей тока и электропроводность в поликристаллическом селене после резких изменений температуры. Было установлено, что при данной температуре неравновесная концентрация n больше равновесной. Со временем она всегда приближается к своему равновесному значению.

Ниже приводятся результаты исследований влияния примесей висмута на электропроводность и термоэдс селена.

Выбор примеси висмута имеет интерес и для производства. При изготовлении селеновых выпрямителей с целью получения омического контакта перед нанесением селена на алюминиевую подкладку

последнюю покрывают тонким слоем висмута, а затем на селен наносят сплав кадмий—олово или кадмий—олово—висмут.

В наших опытах образцы имели цилиндрическую форму диаметром 10÷12 *мм* и высотой 8 ÷ 10 *мм*. Содержание примеси висмута было: 0,01; 0,02; 0,04: 0,06; 0,08; 0,1 вес. % Далее образцы закристаллизовывались при температуре 215° С в течение 8 *час*.

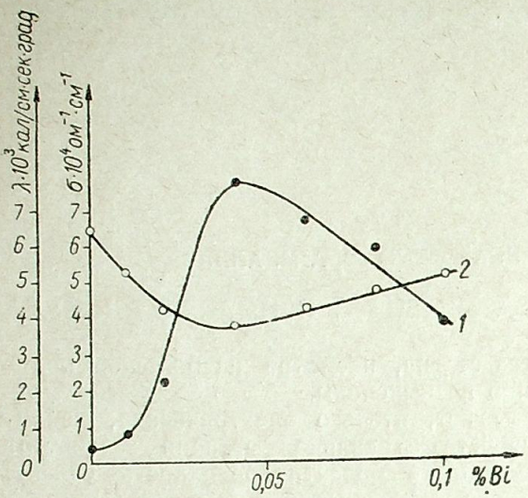


Рис. 1

Электропроводность измеряли зондовым методом, что устраняло влияние контактных сопротивлений, расстояние между зондами было 4 ÷ 6 *мм*. Зондами служили две тонкие никелевые проволоки.

Постоянство температуры обеспечивалось ультратермостатом. Для стабилизации при каждой зафиксированной температуре образцы выдерживались в течение 10 *мин*. Измерения производились в интервале температур от 20 до 200° С.

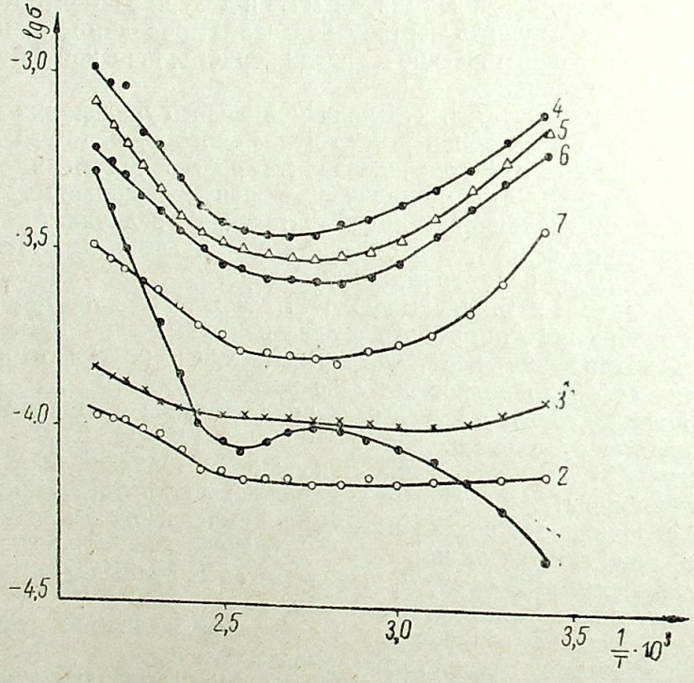


Рис. 2

1—Se + 0,00% Bi; *2*—Se + 0,01% Bi; *3*—Se + 0,02% Bi; *4*—Se + 0,04% Bi; *5*—Se + 0,06% Bi; *6*—Se + 0,08% Bi *7*—Se + 0,1% Bi

Опыты показали, что с увеличением содержания примесей висмута электропроводность сначала растет, затем падает (*1*), а теплопроводность наоборот, сначала уменьшается, а затем растет (*2*). Максимальное значение электропроводности соответствует почти минимальному значению теплопроводности (рис. 1).

Была измерена температурная зависимость σ образцов селена с различным содержанием висмута.

На рис. 2 показаны зависимости lg σ от $\frac{1}{T}$. Как видно из графика, зависимость lg σ от $\frac{1}{T}$ имеет своеобразный характер для каждого образца. До 110°С для беспримесного образца электропроводность вместе с ростом температуры растет медленно, а после 110° С интенсивность ее роста увеличивается.

Для примесного образца при этой же температуре σ имеет металлический, а после 110° С полупроводниковый ход. По наклону частей кривых, которые имеют полупроводниковый ход, была найдена работа диссоциации.

Из рис. 3 видно, что с увеличением количества примеси висмута в селене работа диссоциации уменьшается.

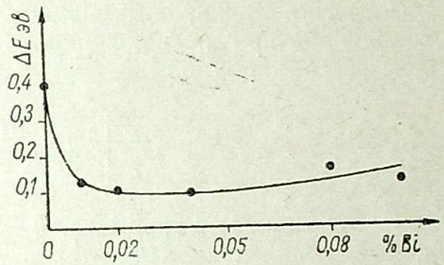


Рис. 3

На тех же образцах была измерена термоэдс при температурах от 20 до 200° С. Одно из первых термоэлектрических исследований селена было проведено Маттиссеном, измерившим величину термоэдс селена по отношению к свинцу и получившим значение 805 *мкв/град*. Значение термоэдс по отношению к платине определил Вейдерт. Он получил значение для термоэдс селена 1134 *мкв/град*. Такие же результаты были получены в [15].

Термоэлектрические свойства селена изучались Куллиты, которым было получено значение 1000 *мкв/град* по отношению к меди. Добавление около 5% висмута уменьшает термоэдс селена до 0,07 *мкв/град* [8]. В работе [12] было показано, что в микрокристаллических и монокристаллических образцах концентрация носителей тока с повышением температуры уменьшается. Примесь кадмия в селене от 0,5 до 6% Cd уменьшает термоэдс селена от 1100 до 650 *мкв/град* [13].

Другие авторы [5,18] отмечают, что в поликристаллическом селене с увеличением температуры концентрация носителей тока остается постоянной, а подвижность растет. Имеется также указание на то, что при температуре выше комнатной термоэдс растет, а концентрация дырок—уменьшается [5].

Нами измерение термоэдс пары медь—селен с примесями висмута производилось компенсационным методом. Градиент температуры вдоль образца создавался посредством двух точек. Температура нагретого и холодного конца образца измерялась двумя медно-константовыми термопарами, спаи которых были вставлены в отверстия образцов. Разность температуры на концах образца была равна 5—8°С. При каждом измерении в течение некоторого промежутка времени ждали

установления постоянной разности температур, которую фиксировали по показаниям термопар.

Зависимость термоэдс от процентного содержания висмута представлена на рис. 4, из которого видно, что с увеличением количества примеси висмута термоэдс уменьшается. Знак термоэдс всегда указывает на дырочный механизм тока. На рис. 5 показана зависимость термоэдс от температуры как для чистого, так и для примесных образцов. Из графика видно, что с увеличением температуры для примесного образца α растет, а для беспримесного образца α растет до 110° С, после 110° С медленно уменьшается.

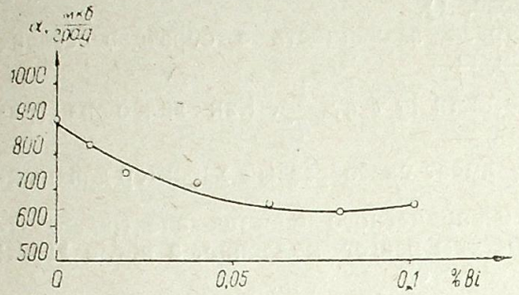


Рис. 4

Согласно теории, коэффициент термоэлектродвижущей силы полупроводников при наличии одного сорта невырожденных носителей выражается формулой

$$\alpha = \frac{\kappa}{e}\left[2 + \ln\frac{2\,(2\pi m\kappa\, T)^{3/2}}{h^3\, n}\right],$$

где κ—постоянная Больцмана, h—постоянная Планка, e—заряд электрона, n—концентрация носителей тока, T—абсолютная температура.

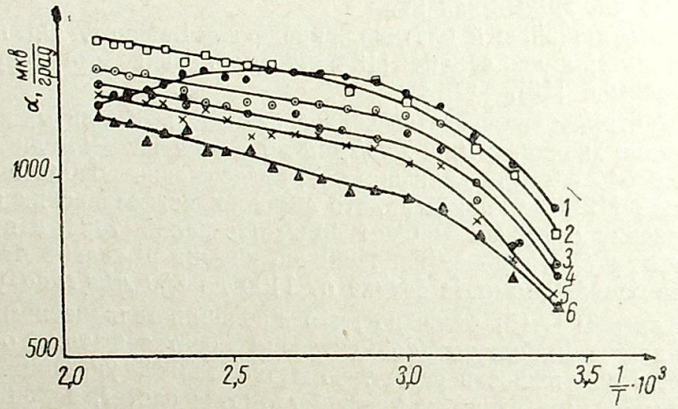


Рис. 5

1—Se + 0,00% Bi; *2*—Se + 0,01% Bi; *3*—Se + 0,02% Bi; *4*—Se + 0,04% Bi; *5*—Se + 0,06% Bi; *6*—Se + 0,08% Bi;

Концентрация n ($см^{-3}$) носителей тока, т. е. дырок для каждой температуры, вычислялась по температурной зависимости термоэдс по формуле Писаренко. Эта формула проверена Плеснером и Хенгельсом.

На рис. 6 показана зависимость концентрации носителей тока n от температуры. С повышением температуры от комнатной до 60° С концентрация носителей быстро уменьшается для всех образцов, а после 60°С скорость уменьшения концентрации замедляется. По значению электропроводности и концентрации носителей тока из формулы $\sigma = nue$ была вычислена эффективная подвижность дырок.

Зависимость эффективной подвижности от температуры при различных содержаниях висмута показана на рис. 7. Отсюда видно, что с повышением температуры эффективная подвижность всех образцов растет.

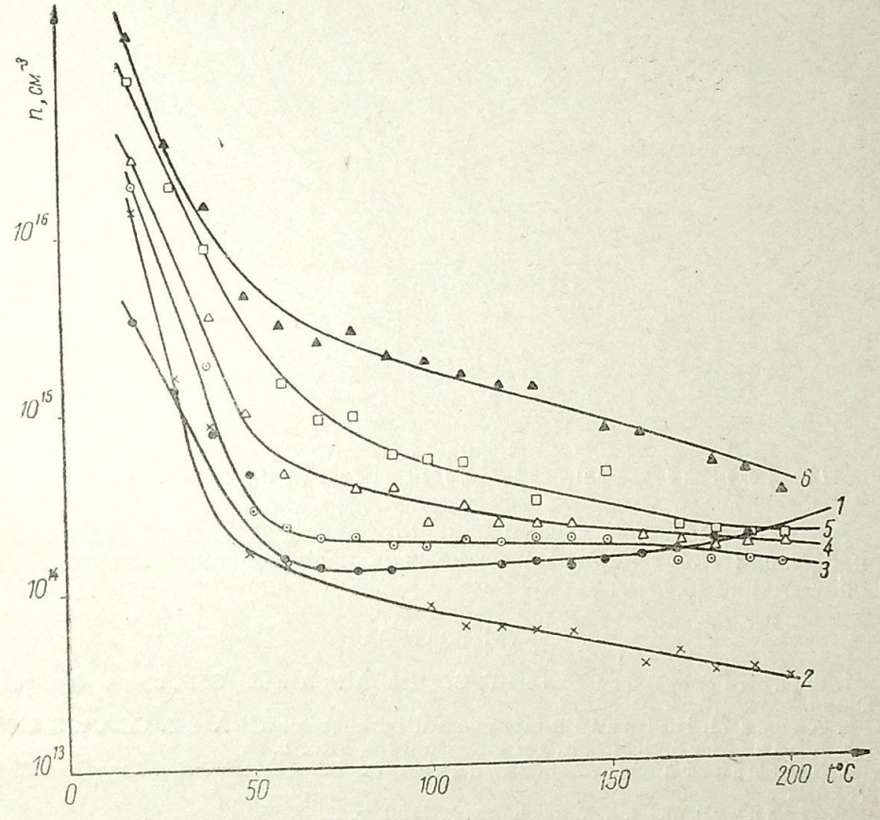


Рис. 6

1—Se + 0,00% Bi; *2*—Se + 0,01% Bi; *3*—Se + 0,02% Bi; *4*—0,04% Bi *5*—Se + 0,06% Bi; *6*—Se + 0,08% Bi;

Подобные же изменения температурной зависимости как концентрации носителей, так и подвижностей от примеси хлора, брома, йода в селене и изучены в работах [1, 2, 4].

Такое аномальное поведение концентрации и подвижности носителей тока в селене, не укладывающееся в рамки существующей зонной теории полупроводников, объясняется лишь самой структурой селена, являющегося полимером.

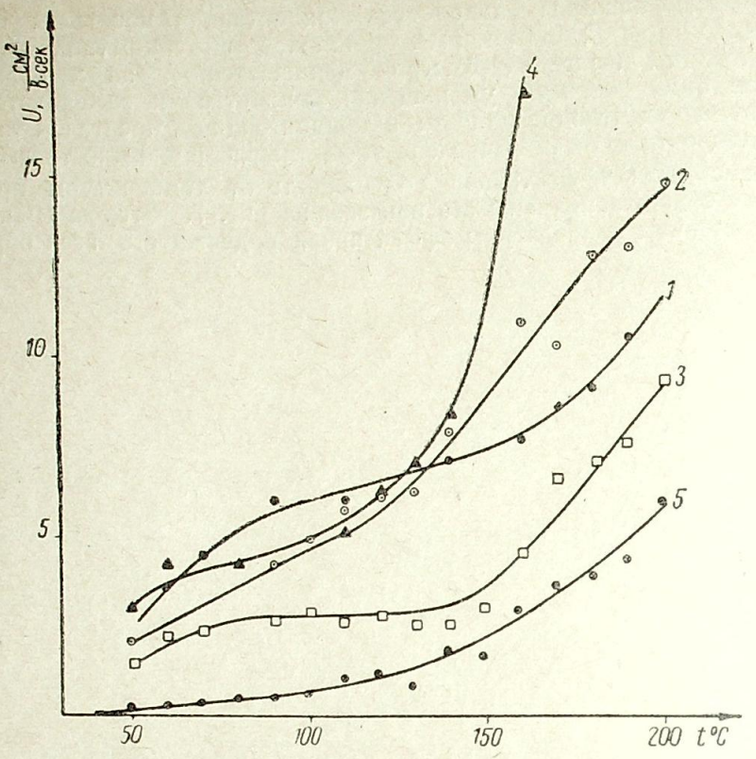


Рис. 7

1—Se + 0,00% Bi; *2*—Se + 0,01% Bi; *3*—Se + 0,02% Bi; *4*—Se + 0,04% Bi; *5*—Se + 0,1% Bi.

Авторы выражают благодарность руководителю лабораторией теплофизики И. Г. Керимову за помощь в проведении экспериментов и обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Г. М., Абдуллаев Г. Б. „Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-техн. и химич. наук", 1958, № 4.
2. Алиев М. И. Труды Ин-та физики и математики АН Азерб. ССР, т. 8, 1956.
3. Афанасьев Н. В. „Ж. техн. физ"., 1949, вып. 2.
4. Башшалиев А. А., Абдуллаев Г. Б. „Изв. АН Азерб. ССР", 1957, № 2.
5. Иглицин М. И. „Ж. техн. физ", 1952, т. 22, № 5.
6. Каден Ю. Труды НИКФИ, вып. 10, 1949.
7. Козловский И. и Наследов Д. „Ж. техн. физ.", 1943, т. 13.
8. Козырев П. Т. „Ж. техн. физ"., 1956, т. 26, вып. 2.
9. Курашов В. М. Автореферат, Л., 1941.
10. Наследов Д. Н. и Малышев Е. „Ж. техн. физ.," 1945, т. 15, № 4—5.
11. Наследов Д. Н. и Малышев Е. „Ж. техн. физ.", 1956, т. 16, вып. 10.
12. Самойлович А. Г. и Коренблит Л. Н. „Усп. физ. наук", 1953, т. 10, 13, вып. 2—3.
13. Сидякин В. Г., Алтайский Ю. М. „Изв. высш. уч. зав., физика", 1959, № 1.
14. Сидякин В. Г. „Физика твердого тела", 1959, т. 1, вып. 8.
15. Хениш Н. и Франсуа М. Полупроводниковые материалы, 1954.
16. Нейланд, Philips, Ris. Repts., № 4, 259, 1954.
17. Henkels H. W. J. appl. phys., 22. 921, 1951.
18. Henkels H. W. The phys rev., 77, 5, 734, 1950.

Б. Д. Әлијев, Һ. Б. Абдуллајев, Г. М. Әлијев

Селенин електрик хассәсинә бисмут ашгарларынын тә'сири

ХҮЛАСӘ

Мәгаләдә селенин електриккечирмәсинә вә термоеһг-инә бисмут ашгарларынын тә'сири өјрәнилмишдир. Бисмут ашгарынын селенин физики хассәләринә тә'сиринин тәдгиги һәм нәзәри, һәм дә техники чәһәтдән бөјүк әһәмијјәтә маликдир. Мә'лумдур ки, селен дүзләндиричиләрини һазырлајаркән алт електрод алүминиум илә селен тәбәгәси арасында омик контакт мүгавимәти алмаг мәгсәдилә бу арада назик бисмут тәбәгәси чәкилир вә үст електрод олараг адәтән кадмиум-галај вә ја кадмиум-галај-бисмут хәлитәси чәкилир, дүзләндиричиләрин електрик, истилик формовкасы вә ишләнмә просеси заманы бисмут ашгарлары селенә диффузија едәрәк селенин физики хассәләрини кәскин дәјишдирә билир.

Бунунла әлагәдар олараг бисмут ашгарларынын селенин електрик, кечирмә вә термоеһг-инә тә'сири тәдгиг едилмишдир.

Нүмунәләр ашағыдакы гајда үзрә һазырланмышдыр. Тәркибиндә 0,01%; 0,02%; 0,04%; 0,06%; 0,08%; 0,1% бисмут олан селен шүшә ампуллар ичәрисинә јығылмыш вә һавасы 10^{-4} *мм* Hg гәдәр сорулмушдур. Сонра нүмунәләр әридилмиш вә 215°C температурда 8 саат мүддәтиндә кристаллашдырылмышдыр.

Електриккечирмә зонд үсулу илә өлчүлмүшдүр.

Апарылан тәдгигатлар көстәрир ки, 0,04%-ә гәдәр бисмут ашгарлары селенин електрик кечирмәсини артырыр, сонра бисмут ашгарларынын артмасы илә електриккечирмә азалыр. Температур артдыгча (110° С-ә гәдәр) ашгарлы селенин електриккечирмәси азалыр вә 110°С температурдан сонра електриккечирмә артыр. Тәмиз селенин електрик кечирмәси исә 20—200°С температур интервалында температурун артмасы илә артыр.

Електриккечирмәнин әксинә олараг бисмут ашгарлары селенин термоелектрик һәрәкәт гүввәсини азалдыр. Температурун артмасы илә истәр тәмиз селенин вә истәрсә дә ашгарлы селенин термоелектрик һәрәкәт гүввәси артыр.

Термоелектрик һәрәкәт гүввәсинин температурдан асылылыг гијмәтләринә әсасән чәрәјан дашыјычыларын сыхлыгы Писаренко дүстурундан һесабланмышдыр.

Тәчрүбә көстәрир ки, температурун артмасы илә селендә чәрәјан дашыјычыларын сыхлыгы азалыр. Електрик кечирмәнин температур илә артмасы чәрәјан дашыјычылары јүрүклүјүнүн температур илә артмасы илә изаһ олунур.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ј. Н. НӘСИРОВ

ҺИДРОКЕН ВӘ МЕТАН ГАЗЛАРЫНЫН АЗОТ 4-ОКСИДИЛӘ ЈАНМАСЫНДА БӘ'ЗИ МӘСӘЛӘЛӘР

1. Метан вә азот 4-оксиди гарышыгларының гапалы һәчмдә јанмасы

Мә'лум олдуғу кими, бағлы оксикен иштирак едән гарышыгларын јанма хассәләринин өјрәнилмәси истәр нәзәри вә истәрсә дә тәчрүби чәһәтдән бөјүк әһәмијјәт кәсб едир.

Апарылан тәдгигатдан мәгсәд аловун сүр'әтини өлчмәк јолу илә метанла азот 4-оксиди арасындакы гаршылыглы тә'сири вә аловда кедән реаксијанын механизмини өјрәнмәкдир. Тәчрүбәләр һәм сабит һәчмдә, һәм дә сабит тәзјигдә апарылмышдыр.

Мәгаләдә анчаг сабит һәчмдә мүшаһидә олунмуш һадисәләр әкс етдирилмишдир.

Тәчрүбәләр сферик шүшә габда апарылмышдыр. Гарышыг габын мәркәзиндә електрик гығылчымы васитәсилә аловландырылмыш вә аловун јајылмасы бөјүк сүр'әтлә фырланан фото вәрәги үзәриндә әкс етдирилмишдир. Сүр'әтин һесабланмасында јанманын анчаг сабит тәзјигә тәфавүг едән һиссәсиндән истифадә едилмишдир ки, бу да аловун јанма мәһсулларына көрә јајылма сүр'әтидир. Нормал сүр'әтин тә'јини үчүн термодинамик үсулдан истифадә едәрәк гарышығын вә аловун мәһсулунун јанма заманы сыхлығыны һесабламышыг [5, 6].

Фотоәксләр көстәрир ки, бурада да һидрокенлә азот 4-оксиди гарышыгларында олдуғу кими [8] икиаловлу јанма һадисәси мүшаһидә олунур. Фәгәт ондан фәргли олараг бурада аловлар арасындакы заман фасиләси τ јүздә бир санијәләрлә өлчүлүр.

Метанла азот 4-оксиди гарышыгларында икиаловлу јанманын мөвчуд ола билмәсини биз Ј. Б. Зелдович вә Ј. Х. Шауловун метилнитрат бухары илә [4] вә һидрокенлә азот 4-оксиди гарышыгларынын тәдгигиндә апардығымыз мүлаһизәләрлә әсасландырмышыг. Јә'ни бу һалда да биринчи аловун мәһсуллары јени јаначаг тәшкил едәрәк икинчи мәрһәләдә јанмаја мә'руз галыр.

Тәчрүбәләр көстәрир ки, метанла азот 4-оксиди гарышыглары сабит тәзјигдә јанаркән аловун мәһсулунда чохлу мигдарда NO мүшаһидә олунур. Көрүнүр ки, икиаловлу јанма азот 4-оксидинин биринчи аловда анчаг азот 2-оксидинә парчаланмасы вә икинчи мәрһәләдә јени

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ј. Н. НӘСИРОВ

ҺИДРОКЕН ВӘ МЕТАН ГАЗЛАРЫНЫН АЗОТ 4-ОКСИДИЛӘ ЈАНМАСЫНДА БӘ'ЗИ МӘСӘЛӘЛӘР

1. Метан вә азот 4-оксиди гарышыгларының гапалы һәчмдә јанмасы

Мә'лум олдуғу кими, бағлы оксикен иштирак едән гарышыгларын јанма хассәләринин өјрәнилмәси истәр нәзәри вә истәрсә дә тәчрүби чәһәтдән бөјүк әһәмијјәт кәсб едир.

Апарылан тәдгигатдан мәгсәд аловун сүр'әтини өлчмәк јолу илә метанла азот 4-оксиди арасындакы гаршылыглы тә'сири вә аловда кедән реаксијанын механизмини өјрәнмәкдир. Тәчрүбәләр һәм сабит һәчмдә, һәм дә сабит тәзјигдә апарылмышдыр.

Мәгаләдә анчаг сабит һәчмдә мүшаһидә олунмуш һадисәләр әкс етдирилмишдир.

Тәчрүбәләр сферик шүшә габда апарылмышдыр. Гарышыг габын мәркәзиндә електрик гығылчымы васитәсилә аловландырылмыш вә аловун јајылмасы бөјүк сүр'әтлә фырланан фото вәрәги үзәриндә әкс етдирилмишдир. Сүр'әтин һесабланмасында јанманын анчаг сабит тәзјигә тәфавүт едән һиссәсиндән истифадә едилмишдир ки, бу да аловун јанма мәһсулларына көрә јајылма сүр'әтидир. Нормал сүр'әтин тә'јини үчүн термодинамик үсулдан истифадә едәрәк гарышығын вә аловун мәһсулунун јанма заманы сыхлығыны һесабламышыг [5, 6].

Фотоәксләр көстәрир ки, бурада да һидрокенлә азот 4-оксиди гарышыгларында олдуғу кими [8] икиаловлу јанма һадисәси мүшаһидә олунур. Фәгәт ондан фәргли олараг бурада аловлар арасындакы заман фасиләси τ јүздә бир санијәләрлә өлчүлүр.

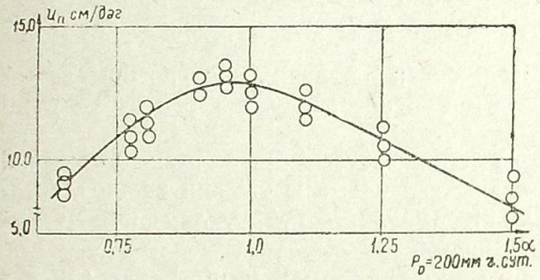
Метанла азот 4-оксиди гарышыгларында икиаловлу јанманын мөвчуд ола билмәсини биз Ј. Б. Зелдович вә Ј. Х. Шауловун метилнитрат бухары илә [4] вә һидрокенлә азот 4-оксиди гарышыгларынын тәдгигиндә апардығымыз мүлаһизәләрлә әсасландырмышыг. Јә'ни бу һалда да биринчи аловун мәһсуллары јени јаначаг тәшкил едәрәк икинчи мәрһәләдә јанмаја мә'руз галыр.

Тәчрүбәләр көстәрир ки, метанла азот 4-оксиди гарышыглары сабит тәзјигдә јанаркән аловун мәһсулунда чохлу мигдарда NO мүшаһидә олунур. Көрүнүр ки, икиаловлу јанма азот 4-оксидинин биринчи аловда анчаг азот 2-оксидинә парчаланмасы вә икинчи мәрһәләдә јени

алынмыш гарышығын аловланмасы илә әлагәдардыр. Икиаловлу јанма апарылмыш тәчрүбәләрин һамысында мүшаһидә олунур. Тәчрүбә заманы тәзјиг 70÷250 *мм. ч. сүт.* интервалында дәјишдирилмишдир. Аловлар архасындакы заман фасиләси τ гарышығын тәзјигиндән вә тәркибиндән асылы олараг $1{,}7 \div 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ санијә тәртибиндә дәјишир. τ-нын ән кичик гијмәти аловун сүр'әти ән бөјүк олан гарышыглара ($\alpha = 0{,}95$) тәвафүг едир [5]. Бурада α—ифрат оксидләшмә әмсалы олуб, $4NO_2 + CH_4 = 4NO + CO_2 + 2H_2O$ реаксијасына көрә сечилмишдир.

Мә'лум олдуғу кими [6, 9] аловун јајылма сүр'әти јаначағын тәркибинин функсијасыдыр. Сүр'әтин јаначағын тәркибиндән асылы олараг максимум гијмәти вә онун јери һәмин јаначағын кимјәви вә физики хассәсилә вә һәм дә аловда кедән реаксијанын тәбиәтилә әлагәдардыр.

Тәчрүбәләр көстәрир ки, $CH_4 + NO_2$ гарышыглары гапалы һәчмдә јандырыларкән аловун сүр'әтинин гарышығын тәркибиндән асылылығы бүтүн тәзјигләрдә мүшаһидә олунур. Бизим тәчрүбәләрдә гарышығын тәркиби $\alpha = 0{,}4$ илә $\alpha = 1{,}5$ арасында дәјишдирилмишдир. Тәркиби $0{,}25 > \alpha > 1{,}6$ олан гарышыглар бизим тәчрүбә апардығымыз шәраитдә аловланмырлар.

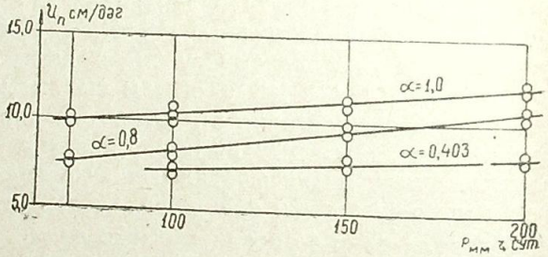


1-чи шәкил

1-чи шәкилдә башланғыч тәзјиги 200 *мм. ч. сүт.* олан гарышыгларда аловун сүр'әтинин гарышығын тәркибиндән асылылығы верилмишдир. Графикдән көрүндүју кими, аловун нормал сүр'әтинин максимуму гарышығын стехиометрик тәркибинә јахын тәркибләрдә мүшаһидә олунур.

Тәчрүбәләр көстәрир ки, тәзјигин дәјишмәси илә аловун сүр'әтинин максимумунун јери дәјишмир; бүтүн тәзјигләрдә ($P = 70 \div 250$ *мм ч. сүт.*) максимум ифрат оксидләшмә әмсалы $\alpha = 0{,}95$ олан гарышыглара тәфавүг едир.

2-чи шәкилдә бир нечә тәркибли гарышыгларда аловун сүр'әтинин тәзјигиндән асылылығы әкс етдирилмишдир. Графикдән көрүнүр ки, $\alpha = 0{,}403$ олан гарышыгларда тәзјигин аловун сүр'әтинә тә'сири чох кичикдир. $\alpha > 0{,}408$ олан гарышыгларда исә сүр'әт тәзјиг артдыгча артыр.



2-чи шәкил

Кимјәви реаксијанын тәртиби $\lg U_n (\lg P)$ асылылығындан тә'јин едилмишдир. Тәчрүбәләр көстәрир ки, реаксијанын тәртиби гарышығын тәркибиндән асылы олараг мүхтәлиф гијмәтләр алыр. $\alpha = 0{,}95$ олан гарышыгларда реаксија икинчи тәртибдән олдуғу һалда, тәркиби стехиометрик тәркибләрдән фәргли олан гарышыгларда 2,2 илә 2,41 арасында дәјишир.

Аловун сүр'әтинин температурдан асылылығыны өјрәнмәк үчүн $CH_4 + NO_2$ гарышығына аловун мәһсулларындан олан азот јахуд да азот 2-оксиди әлавә етмишик [1] вә әлавә едилмиш газларын гарышыға көрә мүхтәлиф фаизләриндә аловун сүр'әтини өлчмүшүк. Гарышыгда әлавә иштирак едән тәчрүбәләр һамысы ејни тәзјигдә, ја'ни 200 *мм. ч. сүт.* апарылмышдыр.

Тәчрүбәләр көстәрир ки, гарышыға истәр азот, истәрсә дә азот 2-оксиди әлавә едәркән әламәләрин мигдарынын артмасы илә аловун сүр'әти азалыр вә бу дәјишмә һәр ики әлавә үчүн ејни тәртибдәдир. Демәли, истәр азот вә истәрсә дә азот 2-оксиди әлавәләри реаксијада иштирак етмирләр. Көрүнүр ки, азот 2-оксиди өзүнү $CH_4 + NO_2$ гарышыгларында $H_2 + NO_2$ гарышыгларында олдуғу кими апармыр. Бу һалда NO-нун реаксијасынын кедишинә һеч бир тә'сири јохдур.

Кимјәви реаксијанын активасија енержисинин ефектив гијмәтини тә'јин едәркән $U_n \sim e^{-\frac{A}{RT}}$ мәшһур асылылыгдан истифадә етмишик. Активасија енержисинин гијмәти бүтүн гарышыглар үчүн $A = 15{,}5 \frac{ккал}{мол}$-дур.

Гејд етмәк лазымдыр ки, $CH_4 + NO_2$ гарышыглары гапалы һәчмдә јанаркән 1-чи аловун мәһсулунда сәрбәст азот мүшаһидә олунмур. NO_2 биринчи аловда мәһз NO гәдәр парчаланыр вә аловун мәһсуллары илә һеч бир кимјәви әлагәјә кирмир.

2. $H_2 + NO_2$ вә $CH_4 + NO_2$ газ гарышығында тәзјигин аловун сүр'әтинә тә'сири

Тәзјигин аловун сүр'әтинә тә'сиринин тәдгиги истәр тәчрүбәдә, истәрсә дә јанма нәзәриҗҗәсиндә вачиб мәсәләләрдән бирисидир.

Апарылмыш чохлу тәдгигат аловун сүр'әтинин тәзјигдән асылылығынын мүхтәлиф гарышыглар үчүн мүхтәлиф олдуғуну көстәрир. Мисал үчүн, Стивенсин [11] 200, 760 вә 2530 *мм. ч. сүт.* сабит тәзјигли габда апардығы тәчрүбәләрдә аловун сүр'әти тәзјигдән асылы олмамышдыр. Дәјишән һәчмдә јерләшдирилмиш Бунзен лампасында Л. Н. Хитринин [9] бензол-һава вә ефир-һава гарышыглары илә апардығы тәчрүбәләр исә сүр'әтин гарышығын тәзјиги артдыгча азалдығыны көстәрир.

Аловун сүр'әти илә гарышығын тәзјиги арасындакы асылылығы Л. Н. Хитрин $U_n \sim P^{-0{,}5}$ илә ифадә етмишдир.

Елә тәчрүбәләр дә көстәрмәк олар ки, тәзјигин артмасы илә сүр'әт артыр. Буна мисал олараг Г. А. Барскинин карбон оксиди вә А. В. Бондаренконун һидрокен һава гарышыгларында апардыглары тәчрүбәләри көстәрмәк олар [1, 2].

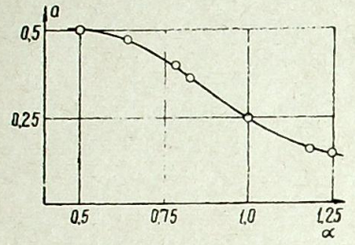
Һидрокен вә метан газларынын азот 4-оксиди илә гарышыгларыны гапалы һәчмдә јандыраркән [7] аловун сүр'әтинин тәзјигдән асылылығы гарышығын тәркибиндән асылы олмајараг апарылан тәчрүбәләрин һамысында мүшаһидә олунмушдур.

Һидрокен азот 4-оксиди гарышығында башланғыч тәркибин дәјишмәси илә аловун сүр'әтинин тәзјигдән асылылығы дәјишир. Асылылыг һидрокен бол олан гарышыгларда даһа кәскин мүшаһидә едилир.

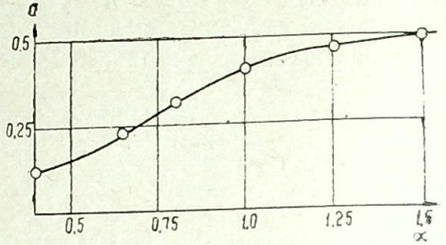
Әкәр аловун сүр'әтинин дәјишмәсинин гарышығын тәзјигинин дәјишмәсиндән асылылығыны $U_{n_1}/U_{n_2}=(P_1/P_2)^a$ тәнлији илә ифадә етсәк (һарадакы: U_{n_1} вә U_{n_2} ујғун олараг P_1 вә P_2 тәзјигли гарышығларда аловун сүр'әтидир), онда $\lg(U_{n_1}/U_{n_2})$; $\lg(P_1/P_2)$ координатлары ифадә олунмуш дүз хәттин маиллијиндән тә'јин олунан „а“ сабити тәзјигин дәјишмәсилә сүр'әтин дәјишмә тәртибини верәр.

Истәр һидрокен-азот 4-оксиди вә истәрсә дә метан-азот 4-оксиди гарышыгларында “а“ сабити гарышығын башланғыч тәркибинин дәјишмәсилә мүхтәлиф гијмәтләр алыр.

„а“-нын һидрокенлә азот 4-оксиди гарышығында гарышығын тәркибиндән асылылығы 3-чү шәкилдә көстәрилмишдир.



3-чү шәкил



4-чү шәкил

Графикдән көрүндүјү кими, аловун сүр'әтинин тәзјигдән асылылығы јаначаг бол олан гарышыгларда ($\alpha=0{,}5$) тәзјигин квадрат көкү илә компонентләрин стехиометрик мүнасибәтиндә тәзјигин дөрдүнчү дәрәчәдән көкү, оксидләшдиричи бол олан гарышыгларда исә тәзјигин алты вә һәтта једдинчи дәрәчәдән көкү илә мүтәнасиб һесаб едилә биләр. Демәли, сүр'әтлә тәзјиг арасында ән зәиф асылылыг оксидләшдиричи илә (NO_2 илә) бол олан гарышыглара мүвафиг олур.

„а“-нын метанла азот 4-оксиди гарышығында гарышығын тәркибиндән асылылығы 4-чү шәкилдә верилмишдир.

Графикдән көрүндүјү кими, бу гарышыгларда H_2+NO_2 гарышыгларында олан һадисәнин әкси мүшаһидә олунур: аловун сүр'әтинин тәзјигин дәјишмәсиндән асылылығы јаначагла бол олан гарышыгларда ($\alpha=0{,}407$) тәзјигин бешинчи тәртибдән көкү илә, стехиометрик гарышыгларда тәзјигин үчүнчү тәртибдән вә оксидләшдиричи илә бол олан гарышыгларда ($\alpha=1{,}5$) исә тәзјигин квадрат көкү илә мүтәнасиб һесаб едилә биләр. Демәли, метанла азот 4-оксиди гарышыглары јандырыларкән аловун сүр'әтинин тәзјигдән асылылығы оксидләшмә ифрат әмсалы артдыгча артыр, һидрокенлә азот 4-оксидин гарышыгларында исә азалыр.

„а“-нын ән бөјүк гијмәти H_2+NO_2 јандырыларкән јаначагла-һидрокенлә бол олан гарышыглара, CH_4+NO_2 јандырыларкән исә оксидләшдиричи—азот 4-оксиди илә бол олан гарышыглара тәфавүт едир.

3. Һидрокен вә азот 4-оксиди гарышығы аловунда мәһсулларын һалының тә'јини

Һидрокен вә азот 4-оксиди гарышыгларыны гапалы һәчмдә тәдгиг едәркән аловун температуруну билаваситә өлчмәк мүмкүн олмадығы үчүн биз мә'лум термодинамик үсуллардан [3, 5] истифадә етмәли олдуг. Һесаблама заманы бизим гарышыға мәнсуб олан бүтүн хүсусијјәтләр нәзәрә алынмышдыр. Һесабаты апармаг үчүн гарышығын, еләчә дә аловун мәһсулларының һалыны билмәк ән вачиб мәсәләләрдән биридир.

Гарышығын тәркиби јандырылмаздан әввәл габагчадан һазырланмыш јаначагла долу габдан көтүрүлмүш нүмунәнин кимјәви анализи илә тә'јин едилир.

Ифрат оксидләшмә әмсалы α ашағыдакы $\alpha=\dfrac{2P^N}{(1+\beta)P_н}$ ифадәсиндән тә'јин олунур ки, бурада да:

P_{H_2}—гарышыгда һидрокенин гисмәти;

P_N —мүвазинәт һалында азот 4-оксиди илә азот оксиди тәзјигләринин чәми;

β исә гарышыгда N_2O_4-үн диссосиасија дәрәчәси олуб,

$$\beta=\frac{\sqrt{1}}{\sqrt{1+4P/K_p}}$$

ифадәсиндән тә'јин едилир. K_p—полимерләшмә реаксијасынын мүвазинәтлик сабити олуб, Боденштејн тәрәфиндән верилмиш [12] изохора тәнлијиндән һесабланыр. Гарышығын температуру билаваситә гарышыг долдурулмуш мүһитдә ади термометр васитәсилә өлчүлүр. Гарышығын компонентләринин парсиал тәзјигләри диссосиасија нәзәрә алынараг

$$1-\gamma=\frac{62{,}416\,W\,N\,K_N\,T}{\varepsilon\,P\,(2-\beta')\,V}$$

ифадәсиндән тә'јин олунур.

Бурада: γ вә $(1-\gamma)$—ујғун сурәтдә гарышыгда јаначағын вә азот оксидләринин (NO_2, N_2O_4) мигдары; W-титр үчүн сәрф едилмиш NaOH мәһлулунун мигдары; N вә K_N—NaOH мәһлулунун нормалы вә нормаллыг әмсалы; P вә V—нүмунәнин тәзјиги вә һәчми, β'—парсиал тәзјигин гијмәтиндә диссосиасија дәрәчәси (јахынлашма үсулу илә тә'јин едилир); ε—исә азот оксидләринин (NO_2 вә N_2O_4) тәмизлик дәрәчәсидир.

Гарышығын енталпијасы $H_0^{T_0}$ ирәлидәки

$$H_0^{T_0}=H_{H_2}^{T_0}+\alpha\,H_{NO_2}^{T_0}$$

формулундан тә'јин олунур. Бурада $H_{NO_2}^{T_0}$ гарышығын температуру T_0-да азот оксидләринин енталпијасы, $H_{H_2}^{T_0}$ — һидрокенин T_0-да енталпијасы, α—исә ифрат оксидләшмә әмсалы олуб, $H_2+NO_2=NO+H_2O$ реаксијасына көрә һесабланмышдыр. Гарышыгда азот оксидләринин енталпијасы NO_2 вә N_2O_4 гарышығынын енталпијалары чәминә бәрабәр олур, јә'ни:

$$H_{NO_2}^{T_0}=\beta\,H_{NO_2}^{T_0}+\frac{1}{2}(1-\beta)\,H_{N_2O_4}^{T_0},$$

һарадакы $H_{NO_2}^{T_0}$ вә $H_{N_2O_4}^{T_0}$ — T_0-да NO_2-нин вә N_2O_4-үн енталпијаларыдыр.

Аловун мәһсулларынын кимјәви анализи көстәрир ки, јанманын башланғыч әрәфәсиндә (1-чи аловда) реаксија тәчрүбәнин шәраитиндән асылы олараг мүхтәлиф кедир. Тәркиби $\alpha\geqslant 1$ олан гарышыглары $P_0\leqslant 150$ *мм. ч. сүт.* тәзјигиндә јандыраркән реаксија анчаг азот 2-оксиди әмәлә кәлә гәдәр кедир вә аловун мәһсулларында сәрбәст азот мүшаһидә олунмур. Тәркиби $\alpha<1$ олан гарышыглары $P\geqslant 150$ *мм ч. сүт.* тәзјигләрдә јандыраркән исә реаксија мүрәккәб кедир:

аловун мәһсулларында һәм азот 2-оксиди вә һәм дә сәрбәст азот мүшаһидә олунур.

Аловун мәһсулларында иштирак едән маддәләрин мигдарының гарышығын тәркибиндән вә тәчрүбәнин тәзјигиндән асылы олараг гарышыгларда тәзјигин мәһсулда сәрбәст азот мүшаһидә едилмәјән гијмәтләриндә реаксија:

$$H_2 + \alpha\,NO_2 = \alpha\,NO + H_2O + {}^1/_2\,(\alpha-1)\,O_2,$$

сәрбәст азот мүшаһидә олунан гијмәтләриндә исә

$$H_2 + \alpha\,NO_2 = \alpha\,(\gamma_1\,NO + \gamma_2\,N_2) + H_2O + {}^1/_2\,[\alpha\,(1-\gamma_2)-1]\,O_2$$

кедәр. Бурада γ_1 вә γ_2 сәрбәст азотун вә азот 2-оксидинин гарышыгда олан рабитәли азота көрә фаизидир вә тәчрүбәдән тә'јин олунмушдур.

Ифрат оксидләшмә әмсалы $\alpha<1$ олан гарышыгларда тәзјигин мәһсулда сәрбәст азот мүшаһидә едилмәјән гијмәтләриндә реаксија:

$$H_2 + \alpha HO_2 = \alpha NO + \alpha H_2O + (1-\alpha)H_2.$$

сәрбәст азот мүшаһидә олунан гијмәтләриндә исә

$$H_2 + \alpha NO_2 = \alpha(\gamma_1 NO + \gamma_2 N_2) + \alpha(1-\gamma_2)H_2O + [1-\alpha(1-2\gamma_2)]H_2$$

кедәр.

Јанма температурунун гијмәтини һесабламаг үчүн үч ихтијари сечилмиш температурларда аловун мәһсулларының енталпијасыны тә'јин едирик. T_b-ни тә'јин едәркән реаксијанын мүхтәлиф һалларда мүхтәлиф олдуғуну нәзәрә алырыг. Белә ки, оксидләшдиричи илә бол олан гарышыгларда ($\alpha>1$) реаксија анчаг азот 2-оксиди әмәлә кәлән гәдәр кедәрсә аловун мәһсулунун енталпијасы:

$$H^{Ti} = \alpha H^{Ti}_{NO} + H^{Ti}_{H_2O} + {}^1/_2(\alpha-1)H^{Ti}_{O_2},$$

мәһсулда һәм азот 2-оксиди вә һәм дә сәрбәст азот варса,

$$H^{Ti} = \alpha\gamma_1 H^{Ti}_{NO} + \alpha\gamma_2 H^{Ti}_{N_2} + {}^1/_2\,[\alpha(1-\gamma_2)-1]H^{Ti}_{O_2} + H^{Ti}_{H_2O}$$

бәрабәр олар.

Јаначагла бол олан гарышыгларда ($\alpha<1$) реаксија азот 2-оксиди әмәлә кәлән гәдәр кедәрсә, аловун мәһсулунун енталпијасы:

$$H^{Ti} = \alpha H^{Ti}_{NO} + \alpha H^{Ti}_{H_2O} + (1-\alpha)H^{Ti}_{H_2}.$$

Мәһсулда һәм сәрбәст азот, һәм дә азот 2-оксиди мүшаһидә едиләрсә

$$H^{Ti} = \alpha\gamma_1 H^{Ti}_{NO} + \alpha\gamma_2 H^{Ti}_{N_2} + \alpha(1-\gamma_2)H^{Ti}_{H_2O} + [1-\alpha(1-2\gamma_2)H^{Ti}_{H_2}\text{-јә}$$

бәрабәр олар. Ихтијари сечилмиш Ti гарышығын тәркибиндән вә тәзјигиндән асылы олараг 1200°—2500° К температур интервалында көтүрүлмүшдүр.

Ихтијари сечилмиш температурларда аловун мәһсулунун енталпијасыны һесабладыгдан сонра онун температурдан асылылығы графикини $H^{Ti}(Ti)$ гуруруг. Гарышығын енталпијасыны H^{Ti} охунда кеј едәрәк Ti охунда јанма температурунун гијмәтини тапырыг. Белә графики интерполјасија јанма температурунда аловун мәһсулунун енталпијасынын гарышығын енталпијасына бәрабәр едилмәсинә әсасланмышдыр. Һесабламада енталпија $\frac{к.кал}{мол}$-да көтүрүлмүшдүр.

Нормал јанма сүр'әтинин тә'јини үчүн јанма просесинә сыхлыгларын дәјишмәси μ-нин гијмәтини биз мә'лум

$$\mu = \eta\frac{T_b}{T_0}$$

ифадәсиндән тә'јин етмишик. Бурада η—јанма нәтичәсиндә молекулларын дәјишмәси олуб, аловун мәһсулундакы молекуллар сајының јанмадан габагкы молекуллар сајына олан нисбәтидир.

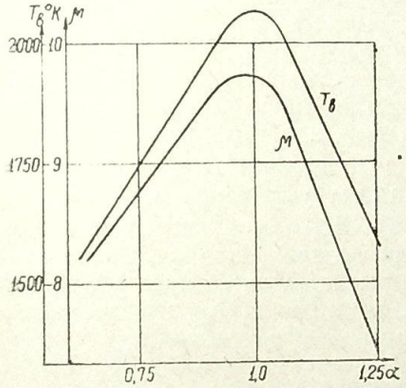
Һидрокен- азот 4-оксиди гарышыглары јандырыларкән оксидләшдиричи илә бол олан гарышыгларда ($\alpha>1$) молекулларын дәјишмәси әкәр мәһсулда азот јох исә $\eta = \frac{3\alpha+1}{2\alpha+2}$ илә, әкәр һәм азот вә һәм дә азот 2-оксиди иштирак едирсә

$$\eta = \frac{\alpha(2\gamma_1+\gamma_2+1)}{2\alpha+2}$$

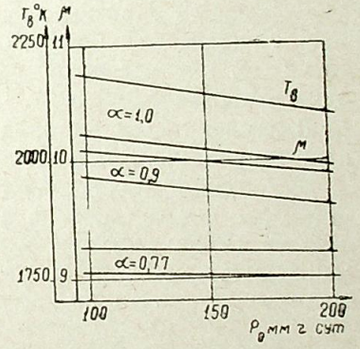
илә ифадә олуна биләр.

Гарышыг јаначагла бол исә ($\alpha<1$) вә мәһсулда сәрбәст азот јох исә молекулларын дәјишмәси мүшаһидә олунмур ($\eta=1$). Әкәр һәм азот, һәм дә азот 2-оксиди иштирак едирсә $\eta = \frac{\alpha\gamma_1+1}{\alpha+1}$ илә ифадә олуна биләр.

Аловда температуру дәјишмәк үчүн Н. Ј. Садовниковун вердији үсулдан [6] истифадә едәрәк гарышыға реаксија мәһсулларындан азоту вә һәм дә азот 2-оксидини әлавә етмишик. Һесаблама көстәрир ки, гарышыға әлавә едилмиш азотун мигдарыны дәјишмәклә аловда температуру 208—520° интервалында дәјишмәк мүмкүн олур. Гарышыға азот 2-оксиди әлавә едәркән дә температурун дәјишмәси һәмин тәртибдә олур. Амма бу һалда NO-нун тәбиәти илә әлагәдар олараг аловда реаксијанын кедиши мүрәккәбләшир. Әлавә едилмиш азот реаксијада иштирак етмир, азот 2-оксиди исә иштирак едир вә реаксијанын сүр'әтинә әкс тә'сир көстәрир.



5-чи шәкил



6-чы шәкил

Гарышыға азот вә јахуд азот 2-оксиди әлавә едиләрсә гарышыг вә реаксија мәһсуллары һалынын тә'јининдә тәмиз гарышыгдан фәргли олараг схемә әлавә едилмиш газларын порсиал тәзјигләри вә енталпијалары да дахил едилир. Һесаблама заманы истәр гарышығын, истәрсә дә реаксија мәһсулларының верилмиш температурларда енталпијалары чәдвәлләрдән [3, 5] көтүрүлмүшдүр.

Јанма температуру T_b-нин вә μ кәмијјәтинин гарышығын тәркибиндән асылылығы 5-чи шәкилдә көстәрилмишдир. Графикдән ајдын

көрүнүр ки, T_b вә μ-нүн максимум гиҹмәти аловун јаҹылма сүр'әтинин максимумунун $\alpha = 0{,}79$ тәркибли гарышыгларда мүшаһидә олундуғуна бахмајараг стехиометрик тәркибли гарышыглара тәфавүг едир. Сүр'әтин максимумунун һидрокенлә бол олан гарышыгларда мүшаһидә едилмәси аловда реаксијанын мүрәккәб кетмәси илә әлагәдардыр. Тәчрүбәләр тәмиз гарышығын аловунда мүшаһидә едилән NO-нун һидрокенлә гаршылыглы тә'сирдә олдуғуну вә кимјәви реаксијанын сүр'әтини азалтдығыны көстәрир.

Јанма температуру T_b вә μ кәмиҹҹәтинин гарышығын тәзјигиндән асылылығы (6-чы шәкил) чох чүз'идир. Бизим тәчрүбәләр апарылан шәраитдә T_b вә μ-нүн тәзјигдән асылылығы јәгин ки, гарышыгда иштирак едән азот 4-оксидинин јүксәк диссосиасија етмәсилә әлагәдардыр.

Јухарыда көстәрилән һесаблама схемини метанла азот 4-оксиди гарышығында да тәтбиг етмишик.

Нәтичә

1. Метанла азот 4-оксиди гарышыглары гапалы һәчмдә ики алова јаныр. Аловлар арасындакы заман фасиләси тәчрүбәнин шәраитиндән ($P_1\alpha$) асылы олараг $1{,}7 \div 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ санијә тәртибиндә дәјишир. Реаксијанын ефектив тәртиби гарышығын тәркибиндән асылы олараг 2,2 илә 2,41 арасында дәјишир. Гарышыға әлавә едилмиш азот вә азот 2-оксиди реаксијада иштирак етмирләр. Аловда кедән реаксијанын активасија енержисинин ефектив гиҹмәти бүтүн гарышыглар үчүн 15,5 $\frac{ккал}{мол}$-а бәрабәрдир.

2. Аловун јаҹылма сүр'әти тәчрүбәнин тәзјигиндән асылыдыр. Бу асылылыг мүхтәлиф гарышыглар үчүн мүхтәлифдир. Һидрокен илә азот 4-оксиди гарышыгларында сүр'әтин тәзјигдән асылы олараг дәјишмәси гарышыгда јанаҹағын—һидрокенин артмасы илә күввәтләндији тәгдирдә, метанла азот 4-оксиди гарышыгларында әксинә, гарышыгда оксидләшдиричинин азот 4-оксидин артмасы илә күввәтләнир.

3. Һидрокен вә метанла азот 4-оксиди аловунун мәһсуллары һалынын тә'јини үчүн термодинамик һесаблама үсулу верилмишдир.

Һесабланмышдыр ки, $H_2 + NO_2$ вә $CH_4 + NO_2$ гарышыгларына истәр азот вә истәрсә дә азот 2-оксиди әлавә едәркән температур ејни тәртибдә дәјишир. $H_2 + NO_2$ гарышыгларында аловун сүр'әтинин максимумунун һидрокенлә бол олан гарышыгларда мүшаһидә едилмәси онларда реаксијанын мүрәккәб олмасы илә әлагәдардыр.

ӘДӘБИЈЈАТ

1. Барский Г. А. и Зельдович Я. Б. ЖФХ, № 25, 1951.
2. Бондаренко А. В. Диссертация, МГУ, 1951.
3. Гуревич А. М. и Шаулов Ю. Х. Термодинамический метод взрыва и расчеты процессов горения. М., 1955.
4. Зельдович Я. Б. и Шаулов Ю. Х. ЖФХ, 1946, № 20.
5. Зельдович Я. Б. и Полярный А. И. Расчеты тепловых процессов при высоких температурах. М., 1947.
6. Зельдович Я. Б. и Выводский В. В. Тепловой взрыв и распространение пламени в газах. М., 1947.
7. Нәсиров Ј. Н. вә Шаулов Ј. Х. Азәрб. ССР мә'рузәләри, Чилд 13, № 4 1957.
8. Насиров Я. Н. и Шаулов Ю. Х. „ДАН СССР", 1956, т. 108, № 5.
9. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва. М., 1957.
10. Bodenstein. Zeif. fär. Phys. Chem. 100, 68, 123, 1922.
11. Stevens. Nat. Adv. Conn. Aer. Rep. № 176, 1923.

Я. Н. Насиров

О некоторых вопросах горения смесей водорода и метана с двуокисью азота

РЕЗЮМЕ

При исследовании смесей метана с двуокисью азота в замкнутом объеме обнаруживается двухпламенное горение. Время между появлением того и другого пламени зависит от условий опыта (давление, состав) и изменяется в интервале $1{,}7 \div 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ *сек*. Минимальное значение времени наблюдается в смесях, близких к стехиометрической, в которых скорость распространения пламени имеет максимальное значение.

Двухпламенное горение в этих смесях, по-видимому, связано с раскислением двуокиси азота в первом пламени до окиси с последующим воспламенением образующихся продуктов неполного сгорания в условиях замкнутого объема.

Эффективный порядок химической реакции изменяется в интервале $2{,}2 \div 2{,}41$, в зависимости от исходного состава смеси. Влияния добавок азота и окиси азота на скорость пламени одинаковые, окись азота, в качестве добавки, проявляет себя как инертный разбавитель.

Вычисленное значение энергии активации химической реакции для всех смесей метана с двуокисью азота равняется 15,5 *ккал/моль*.

При исследовании смесей водорода и метана с двухокисью азота в замкнутом объеме непосредственно измерить температуру в пламени в наших условиях не удалось. Нами она определена методом термодинамических расчетов, с учетом специфики взятых горючих смесей.

Для определения состояния исходной смеси и продуктов сгорания $H_2 + NO_2$ и $CH_2 + NO_2$ нами разработана схема термодинамических расчетов. Установлено, что температура в пламени при разбавлении смесей азотом и окисью азота практически одинаковая. Перемещение максимума скорости пламени в смесях водорода с двуокисью азота в сторону богатых водородом связано с наличием эффекта самоторможения окисью азота, образовавшейся в пламени. Также установлено, что температура в пламени практически не зависит от давления исходной смеси.

Многочисленные исследования показывают, что зависимость скорости пламени от давления для различных смесей различна. Например, опыты Стивенса, произведенные со смесями окиси углерода в бомбе постоянного давления, показывают, что скорость пламени не зависит от давления смеси, тогда как опыты Л. Н. Хитрина, произведенные по методу горелки, заключенной в камеру переменного давления, с бензоловоздушными и эфировоздушными смесями показывают убывание скорости пламени с увеличением давления. Также имеется ряд исследований, показывающих увеличение скорости с ростом давления.

При сжигании смесей водорода и метана с двуокисью азота в замкнутом объеме (независимо от состава) наблюдается рост скорости пламени с повышением давления исходной смеси.

Как показывают наши опыты, зависимость скорости пламени от давления как в смесях H_2+NO_2 так и CH_4+NO_2 для различных составов также различна.

При сжигании водорода с двуокисью азота зависимость скорости пламени от давления в смесях, богатых горючим водородом ($\alpha=0,5$), можно считать прямо пропорциональной корню квадратному от давления, для смесей стехиометрического состава—корню четвертой степени, а в смесях богатых окислителем ($\alpha = 1,25$)—прямо пропорциональной корню шестой и даже седьмой степени от давления.

В случае горения $CH_4 + NO_2$ обнаруживается обратное; зависимость скорости пламени от давления в смесях, богатых горючим-метаном ($\alpha = 0,407$), можно считать прямо пропорциональной корню пятой степени от давления, в стехиометрической смеси корню третьей степени от давления, а в смесях, богатых окислителем ($\alpha = 1,5$),—корню квадратному от давления. Следовательно, при сжигании метана с двуокисью азота зависимость скорости пламени от давления с увеличением концентрации двуокиси азота в исходной смеси возрастает, а при сжигании водорода двуокисью азота убывает. Максимальное значение коэффициента избытка окислителя при горении H_2+NO_2 соответствует смесям, богатым горючим, а при горении CH_4+NO_2—смесям, богатым окислителем.

Общий порядок химической реакции изменяется с изменением исходного состава смеси; в смесях H_2+NO_2 от 2,16 до 2,3, а в смесях CH_4+NO_2 от 2,20 до 2,43.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ә. Х. ХӘЛИЛОВ, Ф. К. ИСАЈЕВ

ПОЛИКРИСТАЛЛИК CdS ЈАРЫМКЕЧИРИЧИСИНИН ФОТОЕЛЕКТРИК ҺӘССАСЛЫҒЫНЫН СПЕКТРАЛ ПАЈЛАНМАСЫНЫН КОНДЕНСАТОР МЕТОДУ ИЛӘ ТӘДГИГИ

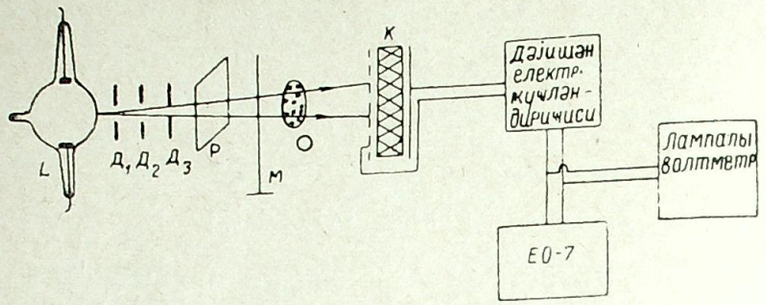
Мә'лумдур ки, јарымкечиричи кристалларын сәтһиндә електромәнфи, јахуд електромүсбәт функсионал атомлар групуна малик молекуллар адсорбсија олундугда, һәмин кристалын гадаған олунмуш енержиләр золағында локал електрон сәвијјәләри әмәлә кәлир. Бу локал сәвијјәләр дә кристалда истилик микродефектләринә, јахуд ашгар атомларынын јаратдығы микродефектләрә аид олан локал електрон сәвијјәләри кими, мүәјјән шәртләр өдәндикдә, кристалын кечиричилик золағындакы сәрбәст електронларын сајыны електрон ал-вериндә иштирак етмәклә дәјишә билир. Бундан башга, кристалын сәтһиндә адсорбсија олунмуш молекуллар ишыг фотоларыны уддугда молекулларын електрон енержисинин дәјишмәсиндән башга, онун кристалла електрон ал-вериндә иштирак етмәк габилијјәти дә дәјишир. Она көрә дә јарымкечиричи кристалларын сәтһиндә бу вә ја башга тип молекуллары адсорбсија етмәклә белә кристалларын мүһүм практики әһәмијјәти олан хассәләрини шүүрлу олараг идарә етмәк үчүн лазым олан мә'луматы әлдә етмәк олар. Бу саһәдә апарылан тәдгигат ишләринин сајы чох аздыр. Лакин А. Н. Терениннн рәһбәрлији алтында көрүлмүш бир сыра тәдгигат ишләри [5, 6, 7] нәтичәсиндә бу мүһүм мәсәләнин бә'зи тәрәфләри ајдынлашдырылмышдыр. Мәгаләдә конденсатор үсулу адланан бир үсулла поликристаллик CdS јарым кечиричисинин фотоһәссаслығынын спектрал пајланмасы вә бу пајланмаја адсорбсија олмуш молекулларын тә'сиринин өјрәнилмәси нәтичәләри шәрһ едилмишдир. Бу үсулун үстүнлүјү орасындадыр ки, бурада маддә илә електродлар арасында електрик контакты јохдур. Она көрә дә електродлар јанында баш верән бә'зи хәтаверичи әлавә просеслөр арадан чыхарылмыш олур. Бундан әлавә бу үсул тәтбиг олунаркән маддә електрик саһәсиндә јерләшдирилмир ки, бу да електродлар әтрафында күчлү саһә тәтбиг олунаркән јаранан полјаризасија һадисәсинин өлчүјә вердији хәтанын арадан галдырылмасына имкан верир.

Бу чүр үстүнлүкләрә малик конденсатор үсулу биринчи дәфә Бергман тәрәфиндән тәклиф едилмиш [8] вә сонрадан совет тәдгигатчылары тәрәфиндән тәкмилләшдирилмишдир [1—4].

Биз тәдгиг етдијимиз маддәләрин спектрал пајланмасыны 1-чи шәкилдә көстәрилән гурғу васитәсилә өјрәнмишик.

Бурада L мәнбәјиндән чыхан шүа дәстәси D_1, D_2, D_3 диафраг-

маларындан, *P* интерференсија филтриндән, *M* модулә едичисиндән вә *O* кварс линзадан кечәрәк *K* конденсатору ләвһәләри арасында јерләшдирилмиш (2-чи шәкилдә конденсаторун кәсиҹи көстәрилмиш-

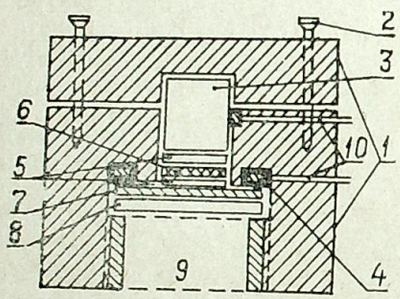


1-чи шәкил

Јарымкечиричиләрин фотоһәссаслығының өјрәнилмәси үчүн лазым олан конденсатор үсулунун принсипал схемы

дир) 0,1—0,2 *мм* галынлығында олан поликристаллик маддә үзәринә дүшүр вә онун дахилиндә фотоелектронлар әмәлә кәтирир.

Ишыг маддә дахилинә кирдикчә онун интенсивлиҹи $I_x = I_0 e^{-\kappa x}$ гануну илә дәјишдиҹиндән, маддәнин ишыгланан тәрәфи илә арха тәрәфиндә әмәлә кәлән електронларын сајы еjни олмајачагдыр. Она көрә дә конденсаторун ләвһәләриндә 100 һерс тезликли дәјишән потенсиаллар фәрги әмәлә кәлә чәкдир (модулјәедичи ишығы 100 *герс* тезликлә дәјишдирдиҹиндән фотоелектрик һәрәкәт гүвәси дә һәмин тезлиҹә малик олачагдыр). Бу дәјишән сигнал дәјишән електрон гүввәтләндиричисиндән (4-чү шәклә бах) кечәрәк, катод волтметри васитәсилә өлчүлмүшдүр. Сигналын формасы исә ЕО-7 осциллографынын екранында мүшаһидә едилмишдир.



2-чи шәкил

1—конденсаторун корпусу (кетинакс); *2*—бәркидичи винтләр; *3*—силиндрик мис контакт; *4*—һәлгәви мис контакт; *5*—изољаторлар (полистиролун бензолда мәһлулу вә кинопљонка); *6*—нүмунә; *7*—металлик тор (кечиричи лајконденсаторун икинчи контакты); *8*—кварс; *9*—бәркидичи һәлгә (кетинакс); *10*—чәрәҹан ахан кечиричиләрин учлары.

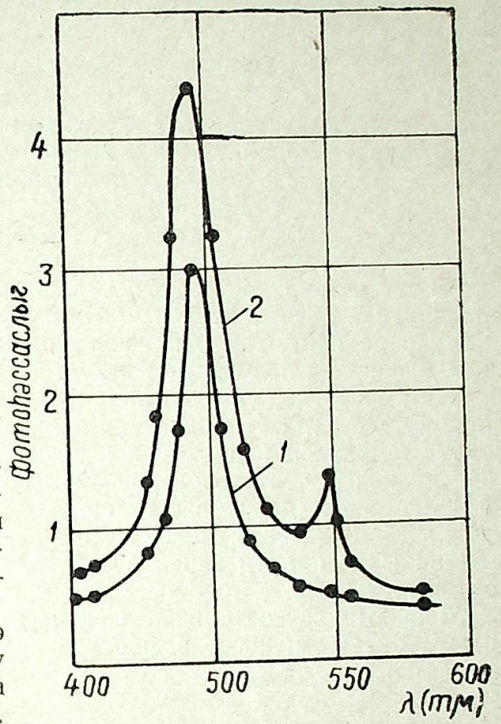
Бизим гурғуда монохроматр әвәзинә интерференсија сүзкәчләринин ишләдилмәси елә бир хәта төрәдә билмәзди, она көрә ки, һәмин сүзкәчләрин бурахдығы спектрал интервалларын ени чох кичикдир (4—10*мμ*) монохроматорларын вердиҹи спектрал вә бу мәгсәд үчүн ишләдилән тәмизликдән кери галмыр.

Әввәлчә тәмиз CdS поликристаллик маддәсинин 400—700 *мμ* далға узунлуғу интервалында фотоһәссаслығынын спектрал пајланмасыны өјрәндикдән сонра, адсорбсија олуначаг маддә (фуксин) тоз шәклиндә конденсатор ләвһәләри арасында јерләшдириләрәк, онун фотоһәссаслығынын олмамасы мүәјјән едилмишдир. Сонра һәмин маддәнин спиртдә мәһлуллары һазырланараг, (10^{-5} *г/см*^{3}), CdS маддәсини белә мәһлулда чимдирмәклә CdS-ин кичик кристалчыгларынын сәтһләри үзәриндә гејд етдиҹимиз маддәләрин ајры-ајры молекуллары адсорбсија едилмишдир. Алынан маддә узун мүддәт гурудулдугдан сонра онун фотоһәссаслығынын спектрал пајланмасы өјрәнилмишдир. Өлчү нәтичәләри 3-чү шәкилдә верилмишдир.

Шәкилдән көрүнүр ки, тәмиз CdS маддәсинин фотоһәссаслығынын спектрал пајланмасынын максимуму 496 *мμ*-на тәвафүг едир. Бу нәтичә поликристаллик CdS-ин фундаментал удма золағынын узун далғалы кәнарынын вәзиҹјәти илә үјғундур.

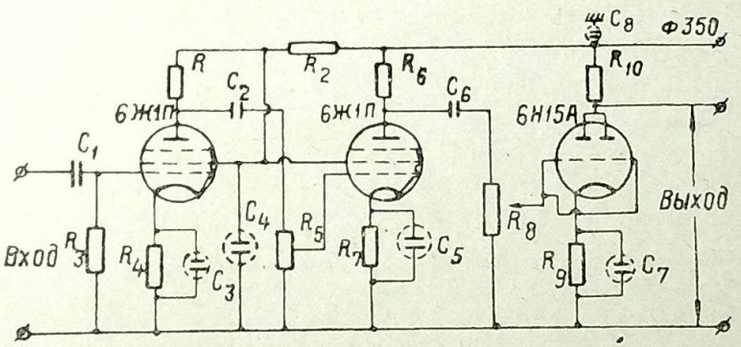
3-чү шәклин 2-чи әјриси үзәриндә фуксин молекуллары адсорбсија олунмуш CdS маддәсинин фотоһәссаслығынын спектрал пајланмасыны көстәрир. Шәкилдән көрүнүр ки, адсорбсија нәтичәсиндә CdS-ә мәхсус фотоһәссаслыг золағындан башга $\lambda_{max} = 550$ *мμ* олан әлавә фотоһәссаслыг золағы әмәлә кәлмишдир. Бу әлавә золаг фуксин маддәсинин спирт мәһлулундакы удма золағынын јерләшдиҹи спектрал интервалда мүшаһидә едилмишдир.

Күчләндиричинин схеми вә өлчү конденсаторунун гурулушу һаггында бизә ССРИ ЕА Физика Институтунун әмәкдашы Е. Е. Букке гиjмәтли мәсләһәтләр вермишдир.



3-чү шәкил

1—CdS; *2*—CdS + фуксин



4-чү шәкил

Конденсатор үсулу үчүн дәјишән чәрәҹан күчләндиричисинин схеми

ӘДӘБИЈЈАТ

1. Лашкарев Б. Е. „ДАН СССР“. 1950, т. 70, вып. 5.
2. Мейкляр П. Б., Пуцейко Е. К. ДАН СССР“, 1950, т. 73, вып. 1; „Ж. эксперим. и теор. физ.“, 1951, т. 21, вып. 2.
3. Пуцейко Е. К. „ДАН СССР“, 1948, т. 59, вып. 3; „Изв. АН СССР, серия физ.“ 1949, т. 13, вып. 2; „ДАН СССР 1949, т. 67, вып. 6.
4. Пуцейко Е. К. „ДАН СССР“, 1951, т. 78, вып. 3.

5. Пуцейко Е. К. Теренин А. Н. „Ж. физ. хим." 1949, т. 23, вып. 6.
6. Пуцейко Е. К., Теренин А. Н. „ДАН СССР", 1950, т. 70, № 3.
7. Теренин А. Н. Фотохимия красителей и родственных органических соединений, Л., 1947.
8. Bergman, Cansler, Zs. f. phys., 100, 4, 50, 1936.

А. Х. Халилов, Ф. К Исаев

Исследование спектрального распределения фотоэлектрической чувствительности поликристаллического полупроводника CdS конденсаторным методом

РЕЗЮМЕ

В статье приводятся результаты исследования спектрального распределения фотоэлектрической чувствительности поликристаллического полупроводника CdS конденсаторным методом и влияние на это распределение адсорбции молекул.

Как известно, указанный метод отличается от многих других теми преимуществами, что здесь, во-первых, отсутствует электрический контакт между электродами и исследуемым образцом, во-вторых, образец не находится в электрическом поле и, в-третьих, образец берется в поликристаллическом состоянии.

Указанные преимущества позволяют избавиться от погрешностей, связанных с поляризацией в электрическом поле и приэлектродными эффектами.

В работе дается описание экспериментальной установки усилителя и конденсатора, изготовленных и налаженных авторами.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

А. Х. ХАЛИЛОВ, С. З. РЗАЕВА

ВЛИЯНИЕ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЛИНИЙ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА УГЛЕВОДОРОДОВ

Как известно, измерение интенсивностей линий комбинационного рассеяния света широко используется для количественного молекулярного спектрального анализа органических смесей. При этом, учитывая, что комбинационное рассеяние света обладает свойствами некогерентности, считают, что интенсивность линий комбинационного рассеяния света пропорциональна концентрации рассеивающего вещества. Однако работами многих исследователей установлено, что во многих бинарных смесях интенсивность линий комбинационного рассеяния зависит от природы растворителя, и пропорциональная зависимость между концентрацией компонентов и интенсивностью линий комбинационного рассеяния во многих случаях не соблюдается.

Я. С. Бобович, В. М. Пивоваров и Т. П. Тулуб исследовали [1, 2] концентрационную зависимость интенсивности линий комбинационного рассеяния ряда двухкомпонентных жидких смесей. Для ряда бинарных смесей они установили, что для каждого компонента смеси интенсивность линий не пропорциональна концентрации этого компонента. При этом в одних случаях интенсивность линий растет быстрее, чем концентрация данного компонента в смеси, а в других случаях наоборот, т. е. интенсивность линий растет медленнее, чем концентрация данного компонента смеси.

Первый случай наблюдается у тех веществ, показатель преломления которых имеет пониженное значение, а второй—у веществ с большим значением показателя преломления. Согласно полуклассической теории, интенсивность линий комбинационного рассеяния света определяется квадратом производной электронной поляризуемости по нормальной координате, который после ряда преобразований может быть представлен в виде:

$$(a_{oe})_\varsigma = \sum_e \frac{\nu_{oe}^2 + \nu^2}{(\nu_{oe}^2 - \nu^2)^2} \mid P_{oe} \mid_\varsigma^2 \left(\frac{\partial \nu_{oe}}{\partial q}\right)_{q_0}, \qquad (1)$$

где ν_{oe}—частота электронного перехода, ν—частота возбуждающего света, P_{oe}—матричный элемент чисто электронного перехода, $\left(\frac{\partial \nu_{oe}}{\partial q}\right)_{q_0}$ определяет степень участия данного электронного перехода в интенсивности линии комбинационного рассеяния света.

Согласно соотношению (1), должен существовать параллелизм между поведением интенсивности линий комбинационного рассеяния света и поведением электронных полос поглощения компонент исследуемой смеси, а индивидуальные отклонения от пропорциональности для различных растворителей надо связать с величинами, входящими в это соотношение. Таким образом, параллельное изучение концентрационной зависимости интенсивности линий комбинационного рассеяния света и интенсивности соответствующих электронных полос поглощения может дать сведения, выясняющие механизм взаимного влияния молекул в бинарных смесях, а также связь между электронными спектрами поглощения и спектрами комбинационного рассеяния света. Кроме этого, подобные исследования необходимы для уточнения методов количественного спектрального анализа органических смесей. С вышеуказанной целью нами была исследована концентрационная зависимость интенсивности линий комбинационного рассеяния в бинарных смесях бензола, хлорбензола и толуола в четырех различных растворителях: CCl_4, хлороформ, ацетон и гептан (см. таблицу).

Наименование веществ I компонента смеси	Частота исследованной линии, $см^{-1}$	Растворители II компонента смеси			
		CCl_4	хлороформ	ацетон	н-гептан
		максимальные отклонения интенсивности от пропорциональной зависимости, %			
Толуол	521		−10		−10
	786		−12		−10
	1208		−10		−12
Хлорбензол	615	+7 −10	+8	−6	+2
	702	+8	+8 −7	+8 −7	+3 −3
	1083	+8 −7	−10	+7 −5	+8
Бензол	606		−10		−12
	850		−10		−15
	1178		−3		−10

Работа была выполнена на фотоэлектрической установке, в которой сигнал от ФЭУ-17 усиливался резонансным усилителем (частота 1^0 *гц*), затем, пройдя через синхронный детектор, поступал на ЭПП-09, который записывал спектр пером на диаграммной ленте. Спектр возбуждался линией ртути 4358 Å через стеклянный фильтр, пропускающий преимущественно указанную линию; ширину выходной щели монохроматора во всех случаях составляли 0,15 *мм*, что позволяло приблизительно определить интегральную интенсивность линий.

Для каждой бинарной смеси были измерены 10 различных объемных концентраций отдельных компонентов и построена зависимость между объемной концентрацией $C\%$ и отклонениями интенсивности линий от закона пропорциональности (ΔI).

Кривые, отражающие такие зависимости, приведены на рис. 1—5 для некоторых бинарных смесей (знаменатели дробей, отложенных на оси абцисс, указывают объемную долю растворителей).

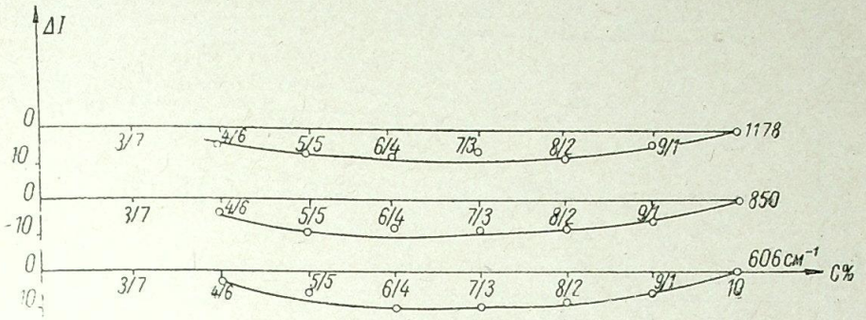


Рис. 1

Бензол + хлороформ

Кроме этого, в таблице приведены значения максимального отклонения для различных линий комбинационного рассеяния бензола, толуола и хлорбензола. Как видно из данных таблицы, указанные отклонения составляют 2—10%, а в некоторых случаях—более 10%.

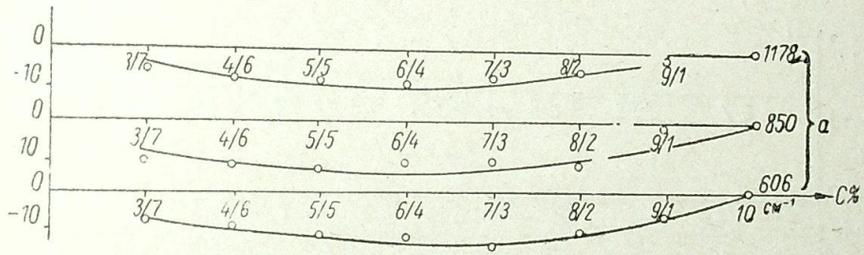


Рис. 2.

а—бензол + гептан

Отклонение интенсивности от пропорциональной зависимости для отдельных линий компонента бинарной смеси хлорбензола носит сложный характер, т. е. интенсивность данной линии до некоторого значения концентрации растет быстрее, чем концентрация (знак отклонения положителен), а после рост интенсивности происходит медленнее, чем рост концентрации (знак отклонения отрицателен).

Указанные отклонения могут быть обусловлены взаимным влиянием как молекул одного и того же компонента смеси, так и молекул разных компонентов бинарной смеси.

Наличие такого взаимодействия должно сказываться также в поведении электронных полос поглощения в зависимости от концентра-

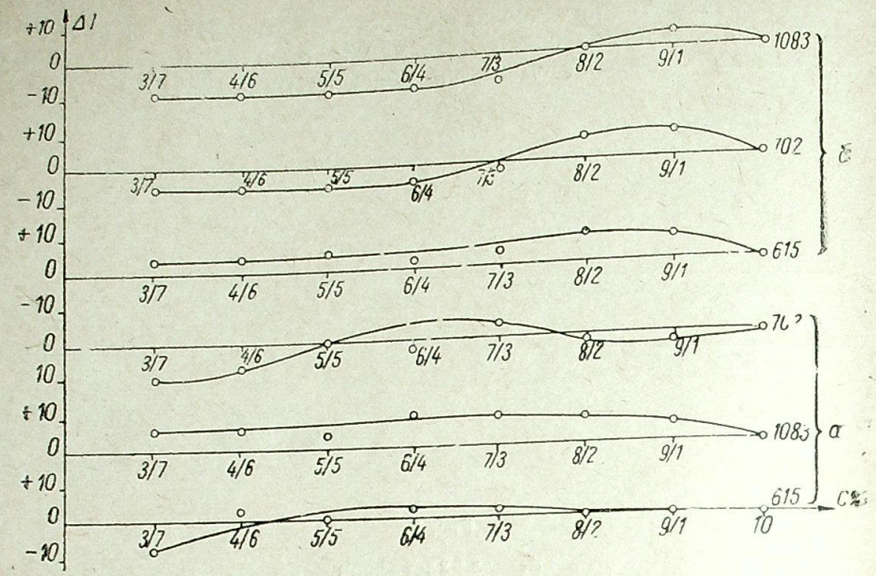


Рис. 3

а—хлорбензол + гептан; *б*—хлорбензол + хлороформ.

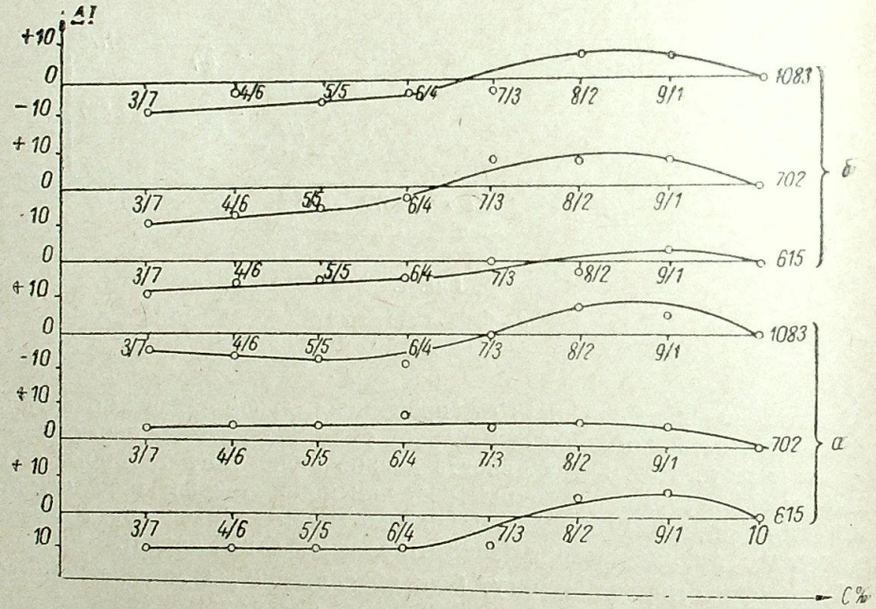


Рис. 4

а—хлорбензол + CCl_4; *б*—хлорбензол + ацетон.

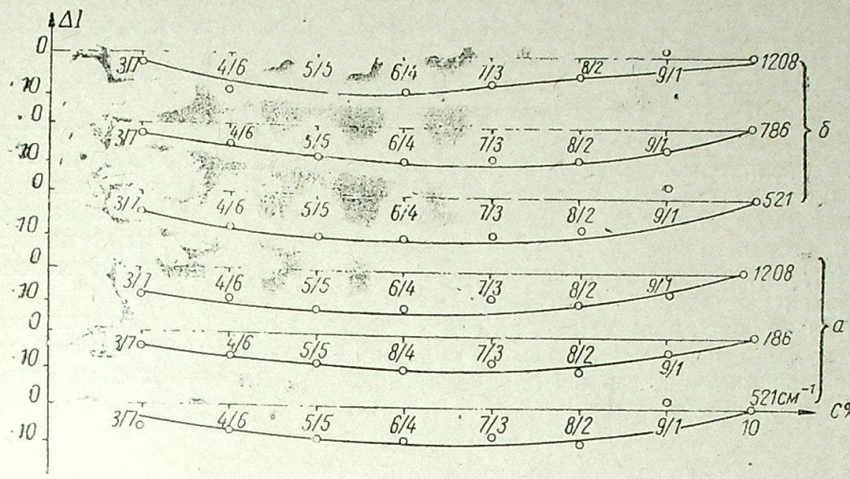


Рис. 5

а—толуол + гептан; *б*—толуол + хлороформ

ции отдельных компонентов смеси, что в настоящее время нами исследуется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобович Я. С. и Тулуб Т. П. „Ж. эксперим. и теор. физ.", 1956, 30, 189.
2. Пивоваров В. М., Бобович Я. С. „Оптика и спектроскоп, 1957, 3,2.

Ə. Х. Хəлилов, С. З. Рзајева

Молекулларарасы гаршылыглы тə'сирин карбоһидрокенləрин комбинасиjалы сəпилмə хəтləринин интенсивлиjинə тə'сири

ХҮЛАСə

Мə'лум олдуғу кими, ишығын комбинасиjалы сəпилмə спектриндə хəтləрин интенсивлиjинин өлчүлмəси органик (үзви) гарышыгларын мигдары молекулjар спектрал тəһлилиндə кениш тəтбиг едилир. Ишығын комбинасиjалы сəпилмəсинин коһерентлик хассəсинə малик олмадығыны нəзəрə алараг, белə һесаб едирləр ки, ишығын комбинасиjалы сəпилмə спектриндə хəтləрин интенсивлиjи сəпичи маддənин гатылығы илə мүтənасибдир. Анчаг бир чох тəдгигатчыларын ишləриндə көстəрилмишдир ки, бинар гатышыгларын чохунда комбинасиjалы сəпилмə хəтləринин интенсивлиjи һəлледичинин тəбиəтиндən асылыдыр вə компонентləрин гатылығы илə комбинасиjалы сəпилмə хəтləринин интенсивлиjи арасындакы мүтənасиб асылылыг бир чох һалларда позулур.

Бу мəсələни аjдынлашдырмаг мəгсəдилə биз бензол, хлор-бензол вə толуолун 4 мүхтəлиф һəлледичидə (CCl_4, хлороформ, асетон вə һептан), бинар гатышыгларында комбинасиjалы сəпилмə хəтləри интенсивлиjинин гатылыгдан асылылығыны тəдгиг етмишик.

Иш фотоелектрик гурғуда көрүлмүшдүр: ФЕУ-17-дən чыхан сигнал резонанс күчləндиричи васитəсилə күчləндирилир (100 *һерс* тезликли), сонра синхрон детектордан кечəрəк ЕПП-09-а верилир ки, бу да спектри диаграм ленти үзəриндə перо илə jазыр.

1-чи чәдвәлдә бензол, толуол вә хлор-бензолун ајры-ајры хәтләри үчүн мүтәнасиб асылылыгдан максимал кәнарачыхмалар вә бу кәнарачыхмаларын ишарәси верилмишдир.

Чәдвәлдән көрүндүју кими, бу кәнарачыхмалар 2—10%-и, бә'зи һалларда исә 10%-дән чоху тәшкил едир.

Чәдвәлдән вә 1—5-чи шәкилләрдән көрүндүју кими, бинар гарышығы компонентләринин ајры-ајры хәтләри үчүн интенсивлијин мүтәнасиб асылылыгдан кәнара чыхмасы мүрәккәб характер дашыјыр. Јә'ни верилмиш хәттин интенсивлији гатылығын мүәјјән гијмәтинә кими, гатылыға нисбәтән, чох тез артыр (кәнара чыхманын ишарәси мүсбәтдир), сонра исә интенсивлијин артымы гатылығын артымына нисбәтән јаваш кедир (кәнара чыхманын ишарәси мәнфидир).

Көстәрилән кәнарачыхмалар һәм гатышығын ејни бир компоненти молекулларынын гаршылыглы тә'сири, һәм дә бинар гатышығынын мүхтәлиф компонентләри молекулларынын гаршылыглы тә'сири нәтичәсиндә баш верә биләр.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ч. М. ДЖУВАРЛЫ, М. И АБДУРРАХМАНОВ

ВЛИЯНИЕ НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И КОНФИГУРАЦИИ СЕТИ НА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ ОТ ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ДУГ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Влияние номинального напряжения сети

Рассматривается влияние номинального напряжения сети на условия зажигания и гашения перемежающейся заземляющей дуги и величины возникающих при этом перенапряжений.

Исследование проводилось как в схеме, где емкости линий имитировались конденсаторами, как и в реальных линиях.

Опыты в схеме с сосредоточенными емкостями проводились при напряжениях $6 \div 35$ *кв*, токе замыкания на землю $j_з = 1{,}5 \div 3a$, питании конденсаторов от источника малой мощности.

Осциллограмма, полученная при напряжении 6 *кв*, представлена на рис. 1.

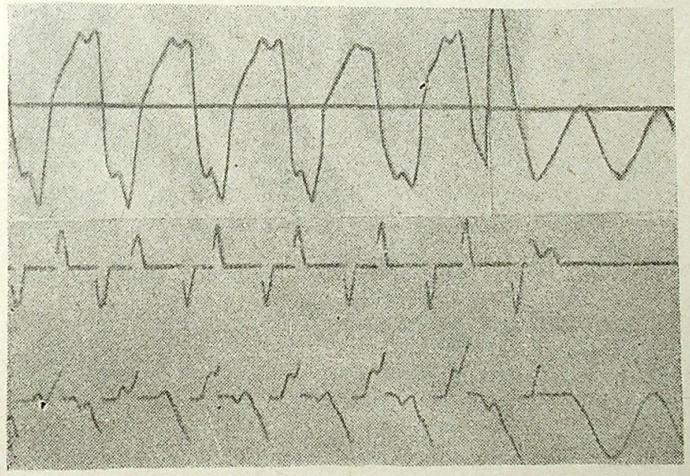


Рис. 1

Дуга гаснет вблизи нуля тока колебания. При этом в подавляющем большинстве случаев на высокочастотном пике восстанавливающегося напряжения при значениях пика колебания гашения $U_{п.г.} = 1{,}2U_{фm}$ повторное зажигание дуги не имеет места.

На рис. 2 приведена осциллограмма, снятая на опытах при напряжении 13 *кв*. Частота собственных колебаний контура такого же порядка, как и при напряжении 6 *кв*.

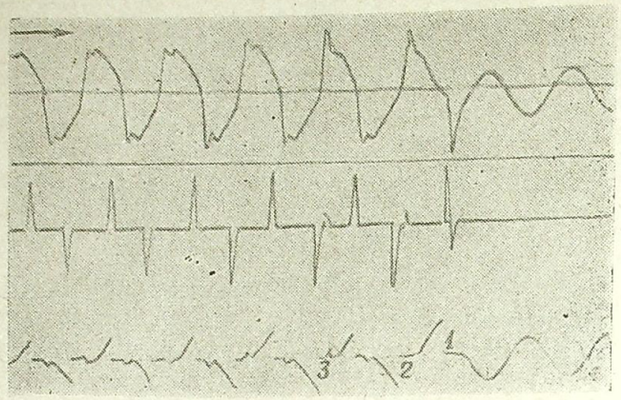


Рис. 2

Повышение номинального напряжения приводит к увеличению скорости подъема восстанавливающегося напряжения, ограничивая величину первого пика напряжения колебания гашения $U_{п\cdot г.}$, а вместе с ним и величину напряжения смещения $U_{см}$. Действительно, как видно из осциллограммы (рис. 2), при гашении дуги в точках 1, 2, 3, соответствующих большим начальным напряжением на здоровой фазе, когда можно было бы ожидать возникновения больших $U_{п\cdot г.}$ повторное зажигание дуги происходит при малых значениях восстанавливающегося напряжения.

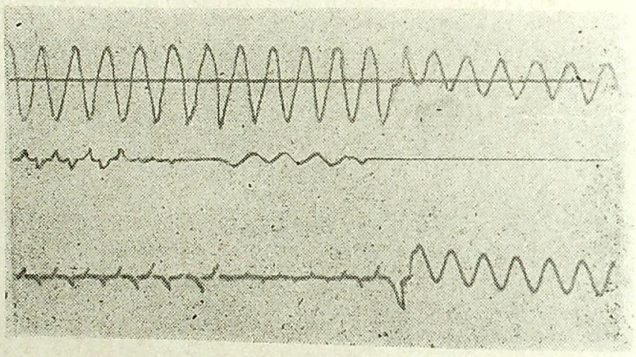


Рис 3

Осциллограмма, полученная при напряжении 22 *кв* представлена на рис. 3. В силу еще большего повышения номинального напряжения пики колебания гашения весьма назначительны, и восстановление напряжения практически происходит в соответствии с частотой сети. Повторное зажигание дуги при меньших значениях восстанавливающихся напряжений приближает картину развития перенапряжений на здоровых фазах к картине перенапряжений при замыканиях через устойчивую дугу.

При напряжении 35 *кв* общая картина процесса такая же, как при напряжении 22 *кв* (рис. 4).

Таким образом, по мере повышения номинального напряжения сети, возобновление дуги на высоковольтном пике восстанавиивающегося напряжения происходит при все меньших $U_{п\cdot г.}$. При этом дуга гаснет в соответствии с условием $ig=0$ и $v_{ig}=\frac{di_g}{dt}=0$ или при $i_{пр}=0$ [4], и общая картина развития процесса на здоровых фазах приближается к картине при устойчивой дуге.

Однако, если только возникают соответствующие деионизирующие факторы, дуга становится перемежающейся, и при этом гашение ее может наступить также вблизи нуля тока колебания. В этом случае перенапряжение ограничивается значительным затуханием напряжения колебания зажигания к концу полпериода промышленной частоты, соответствующему максимальным значениям напряжения зажигания [1, 4]

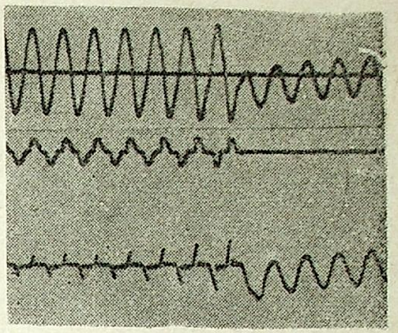


Рис. 4

В табл. 1 приведены максимальные кратности перенапряжений, измеренные шаровым разрядником при токах замыкания на землю 1,5—3 *а* и при различных номинальных напряжениях. Здесь $к_{з_{дт}}$, $к_{б_т}$ — максимальные кратности перенапряжений на здоровой и больной фазах, $к_{см_т}=\frac{U_{см_т}}{U_{ф_т}}$

Число замыканий для каждого измерения составляло 300—500. Дугу растягивали с такой скоростью, при которой гашения ее имели место

Таблица 1

Схема	6 *кв*			13 *кв*			22 *кв*			35 *кв*		
	$k_{з_{дт}}$	$k_{б_т}$	$k_{см_т}$	$к_{з_{дт}}$	$к_{б_т}$	$к_{см_т}$	$к_{з_{дт}}$	$к_{б_т}$	$к_{см_т}$	$к_{з_{дт}}$	$к_{б_т}$	$к_{см_т}$
1-фазная	3,2	2,7	1,7	3,0	2,5	—	2,9	2,5	1,5	2,9	2,5	1,6
3-фазная	3,1	2,5	1,5	3,0	2,5	—	3,0	2,5	1,5	2 9	2,5	—

и вблизи нуля тока колебания, о чем свидетельствуют величины напряжения смещения, значительно превышающие $U_{ф_т}$.

Полученные результаты свидетельствуют, что с изменением номинального напряжения кратность возникающих максимальных перенапряжений находится в одних и тех же пределах.

Эти результаты подчеркивают несправедливость того утверждения, что реальный дуговой промежуток вообще не может противостоять быстрому нарастанию напряжения, и в силу этого пики колебаний гашения, определяющие максимальное напряжение смещения, ограничены величиной критического напряжения $U_{кр}=1800$ *в* [2].

При наличии сильных деионизирующих факторов пики колебания

гашения при всех напряжениях достигают значений, в несколько раз превышающих 1800 *в*, причем по мере повышения номинального напряжения сети увеличивается абсолютное значение пика колебания гашения, т. е. утверждение, что с увеличением номинального напряжения сети уменьшается относительная величина пика колебания гашения $\frac{U_{п\cdot г}}{U_{ф_m}}$, а в месте с ней и напряжение смещания не соответствует действительности [2].

Эти исследования указывают на наличие кумулятивности при наличии сильных деионизирующих факторов, выражающейся в постепенном увеличении напряжения смещения к концу горения дуги.

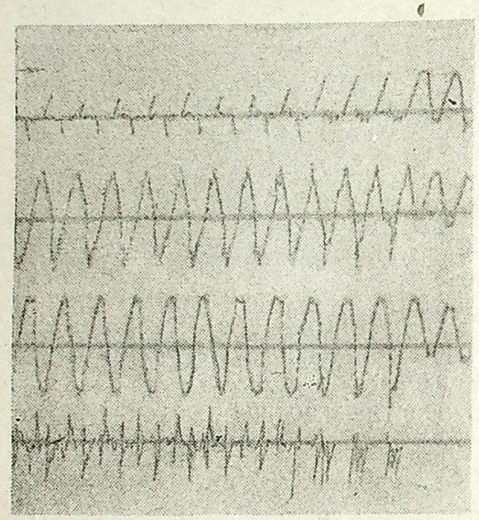


Рис. 5

Исследования в сети проводились при напряжениях 22 и 35 *кв*. Линия 22 *кв* имела питание на обоих концах: дизельгенератор 2000 *квт* с трансформатором 3200 *ква* и гидрогенератор 920 *квт* с трансформатором 1200 *ква*; протяженность линии 22 *км*, емкостный ток замыкания на землю $I_з = 1{,}5$ *а*.

Линия 35 *кв* длиной 11 *км* присоединена к трехобмоточному трансформатору 20 000 *ква* 110/35/6 *кв*, ток замыкания на землю 1,3 *а*.

Дуга создавалась на разъединителе у источника питания. Явление записывалось катодным осциллографом с механической разверткой времени и магнитоэлектрическим осциллографом.

Осциллограмма, полученная при напряжении 22 *кв*, представлена на рис. 5, характер явления при напряжении 35 *кв* аналогичный.

Максимальные перенапряжения определялись путем многократного наложения явлений на одной осциллограмме.

Таблица 2

Род сети	Напряжение сети, *кв*	Ток замыкания на землю, *а*	Мощность источника, *ква*	Кратность перенапряжений	
				$к_{зд_m}$	$к_{б_m}$
Кабельная	6	11,0	1600	2,9	2
Воздушная	22	1,5	1000	2,7	2
Воздушная	35	1,3	20 000	2,9	2

Гашение дуги происходит преимущественно в соответствии с условием при $I_g = 0$ и $v_{i_g} = 0$. Вследствие наличия деонизирующего фактора--слабого ветра, в отличие от того, что получили в схеме с сосредоточенными емкостями, где общая картина развития процесса соответствует картине при устойчивой дуге, в исследуемой сети процесс имеет перемежающийся характер.

Максимальные кратности перенапряжений в сетях 6 [4], 22 и 35 *кв* приведены в таб. 2.

Максимальные кратности перенапряжений на больной фазе, определяемые одинаковыми условиями гашения дуги, для трех рассмотренных сетей равны.

Таким образом, с увеличением номинального напряжения сети вероятность возникновения перемежающейся дуги уменьшается. При перемежающемся характере дугового замыкания разрядный промежуток при различных номинальных напряжениях практически находится в одинаковых условиях ионизации и деионизации, поэтому условия зажигания и гашения дуги, а также и кратности возникающих перенапряжений одинаковы.

Влияние конфигурации сети

При данном значении напряжения смещения, максимальное перенапряжение при дуговых замыканиях на землю характеризуется переходным процессом зажигания дуги. Этот процесс для реальной линии с учетом распределенности ее параметров для одинарной линии теоретически и экспериментально был нами исследован [4].

Представляет интерес исследование переходного процесса зажигания дуги на разветвленных линиях. Процесс расматривается при однофазной схеме, так как трехфазную схему можно заменить эквивалентной однофазной.

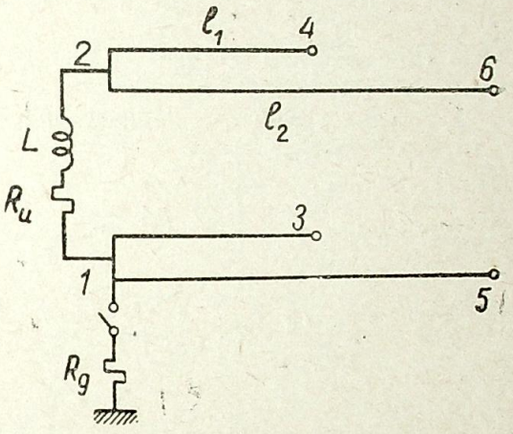


Рис. 6

Рассмотрим две параллельно включенные линии различной длины (рис. 6).

Здесь L, R—индуктивность рассеяния и эквивалентное активное сопротивление источника; Z—волновое сопротивление линии; l_1, l_2—длины линий. Примем, что $l_1 = 0{,}5 l_2$.

При расчете потерями в линии и изменением напряжения источника за время переходного процесса пренебрегается.

Перенапряжение на здоровой фазе определяется выражением:

$$U_{зд} = 2U_m \cos\varphi_з - aU_з (1-\gamma), \qquad (1)$$

где $2U_m\cos\psi_з$—напряжение источника в момент зажигания дуги;

a—коэффициент, учитывающий влияние междуфазной емкости;

$U_з$—напряжение зажигания.

Для первого зажигания дуги

$$U_з = U_m \cos\psi_з$$

для повторного зажигания

$$U_з = U_{см} + U_m \cos\psi_з,$$

$\psi_з$—фаза напряжения источника при зажигании дуги;
$U_{см}$—напряжение смещения нейтрали;
γ—характеризует изменение переходного напряжения по времени, имеет различные значения для различных точек сети и зависит от места замыкания на землю.

При замыкании в точке 1 γ для точек 2, 4 и 6 определяется уравнениями (2)—(4):

$$\gamma_{2(1)} = \left[\frac{1}{T_0}\cdot\frac{1}{p+\frac{1}{T}}1_0 + \left(\frac{1}{T_0}\cdot\frac{1}{p+\frac{1}{T}} - \frac{1}{T_0^2\left(p+\frac{1}{T}\right)^2}\right)1_{2t_0} + \right.$$
$$+\left(-\frac{1}{T_0^2}\cdot\frac{1}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^2} + \frac{1}{T_0^3}\cdot\frac{1}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^3}\right)1_{4t_0} +$$
$$\left.+\left(\frac{1}{T}\cdot\frac{1}{p+\frac{1}{T}} - \frac{1}{T_0^2}\cdot\frac{1}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^2}\right)1_{4t_0}\right] + \cdots, \qquad (2)$$

где $T_0 = \frac{2L}{Z}$; $T = \frac{2L}{2R+Z}$;

t_0—длина линии l_1 в микросекундах.

$$\gamma_{4(1)} = 2\left[\frac{1}{T_0}\cdot\frac{1}{p+\frac{1}{T}}\cdot 1_0 - \frac{1}{T_0^2}\cdot\frac{1}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^2}1_{3t_0} + \right.$$
$$\left.+\frac{1}{T_0^3}\cdot\frac{1}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^3}1_{5t_0} + \frac{1}{T_0}\cdot\frac{p+\beta}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^2}1_{5t_0} + \ldots\right] \qquad (3)$$

$$\beta = \frac{R}{Z}\cdot\frac{1}{T_0},$$

$$\gamma_{6(1)} = 2\left[\frac{1}{T_0}\cdot\frac{1}{p+\frac{1}{T}}1_{2t_0} + \frac{1}{T_0}\cdot\frac{p+\beta}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^2}1_{4t_0} - \right.$$
$$\left.-\left(\frac{1}{T_0^2}\cdot\frac{1}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^2} + \frac{1}{T_0^2}\cdot\frac{p+\beta}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^3}\right)1_{6t_0} + \frac{1}{T_0}\cdot\frac{(p+\beta)^2}{\left(p+\frac{1}{T}\right)^3}\cdot 1_{6t_0} + \cdots\right]. \qquad (4)$$

Решения уравнений (2)—(4) дают:

$$\gamma_{2(1)} = \frac{T}{T_0}\left\{\left(1-e^{-\frac{t}{T}}\right)1_0 + \frac{1}{T_0}\left[T_0 - T + (t-2t_0-T_0+T)e^{-\frac{t-2t_0}{T}}\right]1_{2t_0} + \right.$$
$$+\frac{1}{T_0^2}\left[\left[-\frac{(t-4t_0)^2}{2} + (2T_0-T)(t-4t_0) - (T_0-T)^2\right]e^{-\frac{t-4t_0}{T}} + \right.$$
$$\left.\left.+(T_0-T)^2\right]1_{4t_0}\right\} + \cdots \qquad (5)$$

$$\gamma_{4(1)} = 2\left\{\frac{T}{T_0}\left(1-e^{-\frac{t-t_0}{T}}\right)1_{t_0} - \frac{T^2}{T_0^2}\left[1-\left(1+\frac{t-3t_0}{T}\right)e^{-\frac{t-3t_0}{T}}\right]1_{3t_0} + \right.$$
$$+\frac{1}{2T_0^3}\left[2T^3 - \left[T(t-5t_0)^2 + 2T^2(t-5t_0) + 1T^3\right]e^{-\frac{t-5t_0}{T}}\right]1_{5t_0} +$$
$$\left.+\frac{1}{T_0}\left[\beta T^2 + \left[(1-\beta T)(t-5t_0) - \beta T^2\right]e^{-\frac{t-5t_0}{T}}\right]1_{5t_0} + \cdots\right\} \qquad (6$$

$$\gamma_{6(1)} = 2\left\{\frac{T}{T_0}\left(1-e^{-\frac{t-2t_0}{T}}\right)1_{2t_0} + \frac{1}{T_0}\left[\beta T^2 + \left[(1-\beta T)(t-4t_0-\beta T^2\right]e^{-\frac{t-4t_0}{T}}\right]1_{4t_0} - \right.$$
$$-\frac{1}{T_0^2}\left[T^2\left[1-\left(1+\frac{t-6t_0}{T}e^{-\frac{t-6t_0}{T}}\right] + \frac{(t-6t_0)^2}{2}e^{-\frac{t-6t_0}{T}} + \right.\right.$$
$$\left.\left.\left.+\frac{\beta}{2}\left[2T^3 - (T(t-6t_0)^2 + 2T^2(t-6t_0) + 2T^3)e^{-\frac{t-6t_0}{T}}\right]\right]1_{6t_0}\right\}. \qquad (7)$$

Соответствующие кривые $\gamma = f(t)$ для идеализированного случая $R = 0$ и случая $R = 0{,}2Z$, что соответствует коэффициенту затухания 0,1, при $T_0 = t_0$, приведены на рис. 7, 8.

При замыкании в точке 5 для точек 2, 4, 6 γ определяется выражениями (8)—(10):

$$\gamma_{2(5)} = \frac{T}{2T_0}\left(1-e^{-\frac{t-2t_0}{T}}\right)1_{2t_0} + \left\{\frac{T}{2T_0}\left(1-e^{-\frac{t-4t_0}{T}}\right) - \right.$$
$$\frac{T^2}{4T_0^2}\left[1-\left(1+\frac{(t-4t_0)}{T}e^{-\frac{t-4t_0}{T}}\right] + \frac{T^2}{2T_0T_1} + \frac{1}{2T_0}\left[\left(1-\frac{T}{T_1}\right)(t-4t_0) - \right.$$
$$\left.\left.-\frac{T^2}{T_1}\right]e^{-\frac{t-4t_0}{T}}\right\}1_{4t_0} + \left\{\frac{T}{T_0}\left(1-e^{-\frac{t-6t_0}{T}}\right) + \left(\frac{1}{2T_0T_1} - \frac{1}{2T_0T} - \right.\right.$$
$$\left.\left.-\frac{1}{2T_0^2}\right)\cdot T^2\left[1-\left(1+\frac{t-6t_0}{T}\right)e^{-\frac{t-6t_0}{T}}\right] + \right.$$
$$+\left(\frac{1}{8T_0^3} - \frac{1}{4T_0^2T_1} + \frac{T}{4T_0^2T}\right)\cdot T^3\cdot\left[1-\left(1+\frac{t-6t_0}{T} + \right.\right.$$
$$\left.\left.\left.+\frac{t-6t_0}{2T^2}\right)e^{-\frac{t-6t_0}{T}}\right]\right\}1_{6t_0}. \qquad (8)$$

$$\gamma_{4(5)} = \left(1-e^{-\frac{t-3t_0}{T}}\right)1_{3t_0} - \frac{1}{2}\cdot\frac{T^2}{T_0^2}\left[1-\left(1+\frac{t-5t_0}{T}\right)e^{-\frac{t-5t_0}{T}}\right]1_{5t_0} +$$
$$+\frac{1}{T_0}\left[\frac{T^2}{T_1} + \left(\frac{(T_1-T)(t-5t_0)}{T_1} - \frac{T^2}{T_1}\right)e^{-\frac{t-5t_0}{T}}\right]1_{5t_0} +$$

$$+\frac{T_1T-2T_0T+T_0T_1}{5T_0^3T_1T}\left\{2T^3-[T(t-7t_0)^2+2T^2(t-7t_0)+2T^3]e^{-\frac{t-7t_0}{T}}\right\}1_{7t_0}-$$

$$-\frac{(t-7t_0)^2}{4T_0^2}e^{-\frac{t-7t_0}{T}}1_{7t_0}+\frac{1}{T_0}\left[\frac{T^2}{T_1}+\left(\frac{(T_1-T)(t-7t_0)}{T_1}-\frac{T^2}{T_1}\right)e^{-\frac{t-7t_0}{T}}\right]1_{7t_0} \quad (9)$$

$$\gamma_{6(5)}=\frac{T}{T_0}\left(1-e^{-\frac{t-4t_0}{T}}\right)1_{4t_0}+\frac{2}{T_0}\left[\frac{T^2}{T_1}+\right.$$

$$\left.+\left(\frac{(T_1-t)(t-6t_0)}{T_1}-\frac{T^2}{T_1}\right)e^{-\frac{t-6t_0}{T}}\right]1_{6t_0}-\frac{3}{4}\left\{(t-8t_0)^2e^{-\frac{t-8t_0}{T}}+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{T_1}\left[2T^3-[T(t-8t_0)^2+2T^2(t-8t_0)+2T_0]e^{-\frac{t-8t_0}{T}}\right\}1_{8t_0}, \quad (10)\right.$$

$$T_0=\frac{L}{Z},\quad T=\frac{L}{R+Z};\quad T_1=\frac{l}{R+\frac{Z}{2}}.$$

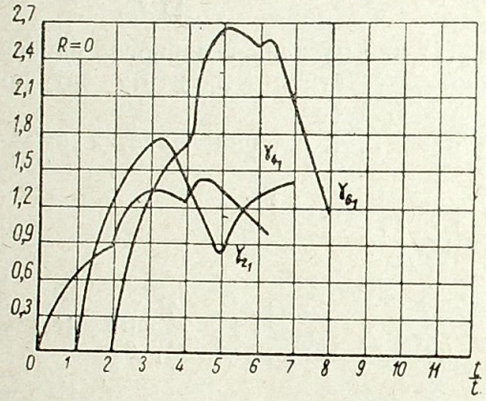


Рис. 7

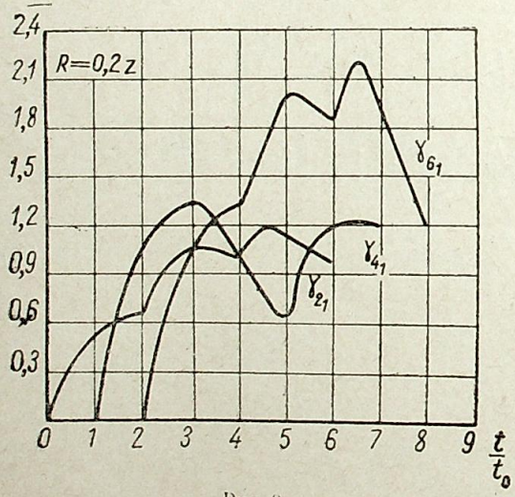


Рис 8.

Кривые $\gamma=f(t)$ при $R=0$ и $T_0=t_0$ для замыкания в точке 5 приведены на рис. 9.

Рассмотрение полученных результатов показывает, что в случае двух параллельно включенных линий различной длины в разных точках здоровой фазы возникают перенапряжения, значительно разнящиеся друг от друга.

Характерно то, что при такой схеме возникают перенапряжения, значительно превышающие перенапряжения на одинарной линии.

Наибольшая разница в величинах γ, а следовательно, в возникающих перенапряжениях [4], имеет место в точках 2 и 6 при замыкании на землю в точке 1. При этом, если в начале линии перенапряжение значительно меньше—2,75 U_m (при $a=0,84$) перенапряжения для одинарной линии—3,3 U_m, то для конца линии имеет место обратная картина: перенапряжение—4,7U_m значительно превышает перенапряжения для конца одинарной линии.

Разумеется, при другом количестве параллельно включенных линий и соотношении их длин изменятся величины и соотношения перенапряжений, возникающих в отдельных точках линий.

Полученные результаты опровергают существующие мнения о том, что перенапряжения в линиях всегда меньше, чем на модели с сосредоточенными параметрами.

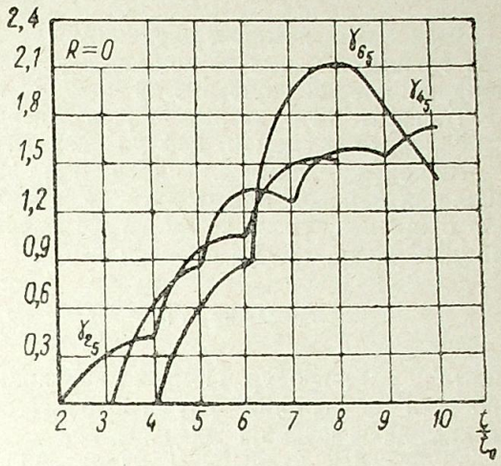


Рис. 9

Модели с сосредоточенными параметрами с небольшой погрешностью могут имитировать процессы, происходящие при дуговых замыканиях на землю на одинарной линии с односторонним питанием, и на n параллельно включенных линиях одинаковой длины. В последнем случае в выражениях, определяющих γ, изменятся величины T_0 и T_1. При этом по сравнению с одной линией вследствие большой постоянной времени контура, до достижения максимума γ, а следовательно и перенапряжения, волны между угловыми пунктами параллельно включенным линиям совершают большее число колебаний, что приведет к уменьшению величины перенапряжений из-за более значительных затуханий колебаний.

Таким образом, в случае параллельных линий различной протяженности, в силу наложения волн друг на друга, аналогично тому, что имеет место при двухстороннем питании, могут возникнуть значительно большие перенапряжения, чем это имеет место на модели. Величины этих возникающих в особых случаях перенапряжений, зависящие от конфигурации сети, в каждом отдельном случае могут быть выявлены соответствующими расчетами переходных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуррахманов М. И. Условия зажигания и гашения перемежающейся заземляющей дуги. „Изв. АН Азерб. ССР", 1957, № 3.

2. Беляков Н. Н. Исследование перенапряжений при дуговых замыканиях на землю. Диссертация, МЭИ, 1954.

3. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа, 1958.

4. Джуварлы Ч. М. К теории перенапряжений от заземляющих дуг в сети с изолированной нейтралью. „Электричество", 1953, № 6.

5. Диткин В. А. и Кузнецов П. И. Справочник по операционному исчислению, 1951.

6. Машкилейсон Л. Е. Переходные процессы и перенапряжения в электрических сетях, 1938.

Ч. М. Чуварлы, М. И. Әбдүррәһманов

Шәбәкәнин номинал кәркинлији вә конфигурасијасынын јерләбирләшдиричи арасыкәсилән гөвсләрдән әмәлә кәлән ифрат кәркинликләрә тә'сири

ХҮЛАСӘ

Шәбәкәнин номинал кәркинлијинин јерләбирләшдиричи арасыкәсилән гөвсләрин јанма вә сөнмә шәраитинә вә бу заман алынан ифрат кәркинликләрин гијмәтинә тә'сири арашдырылыр.

Тәдгигат һәм хәтләрин јерә нәзәрән тутуму конденсаторларла тәмсил едилән схемдә, һәм дә реал хәтләрдә апарылмышдыр.

Шәбәкәнин номинал кәркинлији артдыгча, гөвс аралығында кәркинлијин бәрпаолунма сүр'әти дә артыр, нәтичәдә гөвс онун сөнмәси илә башланан јүксәк тезликли рәгси кәркинлијин кичик гијмәтләриндә јенидән јаныр, гөвсүн сөнмәси исә

$$i_д=0 \quad \text{вә} \quad v_{iд}=\frac{di_ı}{dt}=0 \quad \text{вә ја} \quad i_{пр}=0$$

шәртинә әсасән олур. Номинал кәркинлик артдыгча, сағлам фазаларда просесин кедишинин үмуми формасы дајаныглы гөвслә јерә гапанма заманындакы формаја јахынлашыр.

Анчаг гөвс аралығыны күчлү ионсузлашдыран амилләр мөвчуд олдугда, гөвс рәгси чәрәјан сыфырдан кечдикдә дә сөнүр. Бу һалда ифрат кәркинлик рәгси јанма кәркинлијинин сөнмәси илә мәһдудлашыр.

Тәдгигатын нәтичәси реал гөвс аралығынын бәрпа олунан јүксәктезликли кәркинлијин 1800 *в*-дан артыг гијмәтинә таб кәтирмәдији мүддәасынын һәгигәтә ујғун олмадығыны көстәрир. Бу кәркинлијин гијмәти 1800 *в*-дан бир нечә дәфә артыг олур, һәм дә онун гијмәтинин фаз кәркинлијинә олан нисбәти номинал кәркинлијин артмасы илә азалмыр.

6÷35 *кв* номинал кәркинликләрдә сағлам фазларда алынан ифрат кәркинликләрин нисби гијмәтләри еjни олуб, бир тәрәфдән доjдурулан јүксүз хәтләрдә тәхминән фаз кәркинлијинин үч гатына бәрабәр олур.

Узунлугларынын мүхтәлиф олан ики паралел бағланмыш хәтдә гөвсүн јанмасы илә башланан кечид һадисәсинин арашдырылмасы көстәрир ки, хәттин мүхтәлиф нөгтәләриндә јаранан ифрат кәркинликләр бир-бириндән хеjли фәргләнир. Бу ифрат кәркинликләрин гијмәти хәттин бә'зи нөгтәләриндә параметрләри топлу шәкилдә олан схемдә ев ја тәк бир хәтдә јаранан ифрат кәркинликләриндән хеjли артыг олур. Шәрһ олунан һал неjтралы изолә олунмуш хәтләрдә гөвслә јерә гапанма заманы хүсуси һалларда јаранан чох бөjүк ифрат кәркинликләрин сәбәбләриндән бирини изаһ едир.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ч. М. ДЖУВАРЛЫ, М. М. ДЖАФАРОВА

ВЛИЯНИЕ КОРОНЫ НА ВРЕМЯ ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ РОСЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ИЗОЛЯТОРОВ

За последнее время наблюдается стремление сократить число элементов в гирляндах изоляторов с увеличением напряжения на линиях электропередач [1]. Линии одного напряжения переводятся на следующую, более высокую, ступень напряжения с незначительным изменением, а иногда и без изменения числа изоляторов в гирлянде [5]. Это приводит к большей электрической нагрузке изоляторов, что в свою очередь усиливает электрические процессы в них. Одним из таких процессов является сушка поверхности фарфора под воздействием напряжения.

Нами установлено, что сушка может происходить не только под влиянием токов утечки, но также и под воздействие короны с арматуры изоляторов.

Та часть поверхности фарфора, которая противолежит коронирующим элементам арматуры, интенсивно подсушивается под двойным воздействием короны и токов утечки. Появление на увлажненной поверхности фарфора сухого кольцевого участка, концентричного электродам, повышает мокроразрядные напряжения изоляторов, и это наряжение тем больше, чем шире высохшая кольцевая полоса.

Поведение изоляторов под влиянием токов утечки достаточно известно, но их поведение под воздействием короны с арматуры до сего времени не изучено. Ниже описаны опыты, в которых рассмотрена сушка поверхности изоляторов гирлянды под воздействием коронирующих элементов арматуры.

На подвесную гирлянду из 16 элементов изоляторов типа П-4,5 было подано напряжение $U_ф=\frac{220}{\sqrt{3}}$ *кв*. На нижнюю поверхность изоляторов был нанесен до первого от пестика ребра кольцевой слой глинистой соленой пыли шириной 10 *мм*, сильно увлажненный водой. Этот слой на первом от провода изоляторе был высушен спустя 9 *мин* после подачи напряжения.

На последующих от провода элементах из-за меньших величин напряжения на них, полная сушка слоя произошла спустя больший промежуток времени—через 11—15 *мин*.

При отсутствии напряжения нанесенные слои высыхали в еще больший промежуток времени—в течение часа.

Во время опытов температура окружающего воздуха была $t=24°C$, давление—764 *тор*. и относительная влажность $r=62\%$.

В окружающем воздухе заметных воздушных течений не было.

Для сведения к минимуму токов утечки, протекающих по поверхности изоляторов, вся остальная часть—вне влажного кольцевого слоя, была тщательно очищена и осушена. Осциллографирование токов утечки подтвердило отсутствие возрастания величины токов утечки при наличии кольцевого проводящего слоя.

Характерным признаком сушки под воздействием короны была неравномерность процесса по участкам—сначала высыхали участки противоположные остриям арматуры, а затем остальная часть.

В условиях тумана, когда поверхность изолятора покрывалась каплями росы, под воздействием короны начинали испаряться капли, расположенные непосредственно у электродов. Это приводило к образованию сухой кольцевой полосы на поверхности фарфора вокруг электродов изолятора и тем самым вызывало повышение разрядного напряжения изолятора.

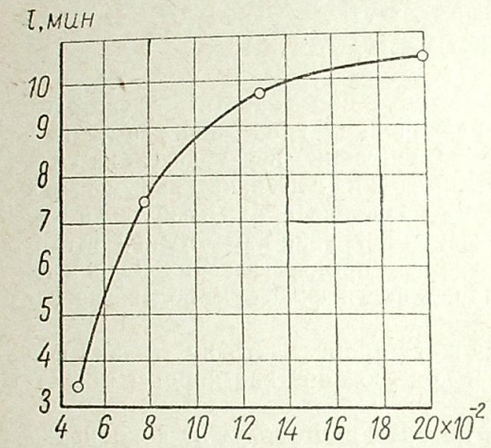


Рис. 1

Более подробно процесс коронной сушки был рассмотрен на опытах, проведенных отдельно от гирлянд и описанных ниже.

Эти опыты сводились к определению времени испарения одной капли, расположенной на горизонтальной изоляционной пластине, под действием острия, коронирующего при напряжении переменного тока 50 *гц*. Острие было расположено против центра капли на расстоянии 6 *см* от поверхности капли.

Во всех опытах вес капли дистиллированной воды был строго одинаков: 0,032 *мл*. Последнее было вызвано тем, что с изменением веса капли, при одном и том же напряжении на острие $U = 30$ *кв*, сильно менялось время ее испарения. Это видно из кривой, приведенной на рис. 1, где по горизонтали отложен вес капли, а по вертикали—время ее испарения.

При отсутствии напряжения время испарения сферической капли в воздухе может быть определено из выражения [2]:

$$t = C_{\text{u}} \frac{r_1^2 - r_2^2}{E_{\text{k}} - e}, \qquad (1)$$

где r_1—первоначальный радиус капли, *см*;

r_2—радиус капли по истечении времени;

E_{k}—упругость насыщенного пара при температуре опыта, *мб*;

e—упругость пара в условиях опыта, *мб*;

C_{u}—коэффициент, зависящий от температуры и коэффициента молекулярной диффузии, равный $2{,}84 \cdot 10$ *мб·сек/см*^{2}.

При определении времени t радиус r_1 располагаемой на плоскости капли был дополнительно проверен по выражению [4]:

$$\frac{D}{d} = \sqrt[3]{\frac{4\sin^3\theta}{2 + \cos^3\theta - 3\cos\theta}}, \qquad (2)$$

по данным теневой проекции (рис. 2), снятой после исчезновения

гистерезиса смачивания, краевому углу $\theta = 28°$ и диаметру линзы $D = 0{,}89$ *см*.

Из выражения (2) следует, что $D = 2{,}2$ и $r = 0{,}201$ *см*.

По метеорологическим данным, соответствующим условиям опыта, $E_{\text{k}} = 33{,}6$ *мб*. Тогда упругость пара e, при тех же условиях, что и E_{k} и при относительной влажности $r = 62\%$, оказалось $e = 20{,}8$ *мб* и время испарения сферической капли $t = 8550$ *сек*.

В действительных же условиях капля была расположена на плоскости, имела форму шарового сегмента и при испарении изменялись как ее форма, определяемая краевым углом, так и диаметр основания.

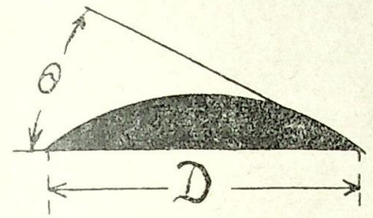


Рис. 2

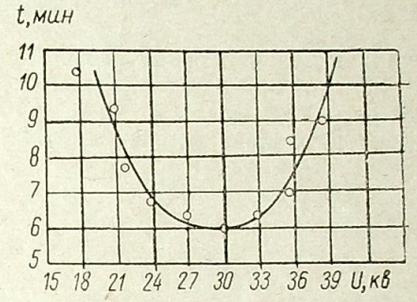


Рис. 3

Поэтому вышеприведенная формула (1) для условий приведенного опыта не могла дать правильную величину времени испарения, и время, определенное экспериментальным путем, оказалось равным

$$t = 3300 \text{ сек}.$$

С подачей напряжения на острие и возникновением короны изменялось и время испарения капли. С возрастанием напряжения оно сначала уменьшалось, а затем увеличивалось.

Кривая, по которой менялось время испарения с напряжением приведена на рис. 3 и выражается уравнением:

$$t = 0{,}0116U^2 - 0{,}811U + 20{,}33, \qquad (3)$$

представляющим параболу второй степени, определенную по данным опыта.

Из приведенной кривой следует, что при некоторой величине напряжения (для условий проведенного опыта при $U = 30$ *кв*) время испарения минимально, а при дальнейшем увеличении напряжения процесс испарения замедляется.

Величина напряжения коронирующего острия влияет также и на скорость возникающего ионного ветра, направленного к поверхности капли. Зависимость $v = \varphi(U)$ выражается уравнением, полученным на базе многочисленных измерений:

$$v = 0{,}00146U^2 + 0{,}0775U + 0{,}083 \qquad (4)$$

и представлена на рис. 4.

Если сравнить рис. 3 и 4—кривые зависимостей времени испарения капли и скорости ионного ветра, то можно заметить, что эти кривые взаимно обратны.

Таким образом, с увеличением скорости ионного ветра увеличивается скорость испарения капли и наоборот. Это следует также из полученного Я. И. Френкелем [3] уравнения

$$У = \frac{dm}{dt} = 2\pi\sqrt{Cr^3v}\,(n - n_0). \qquad (5)$$

Здесь $У$—скорость испарения;
m—масса испаряющегося вещества;
r—радиус капли;
C—коэффициент диффузии;
v—скорость воздушного потока;
n—концентрация водного пара в воздухе на большом расстоянии от капли;
n_0—концентрация насыщенного пара у самой поверхности капли.

Если принять условия испарения капли в воздухе соответствующими условиям ее испарения на плоскости, спад скорости ионного ветра (рис. 3), обусловливающий замедление процесса испарения, связан с наблюдаемым уменьшением тока с острия. Сама скорость ионного ветра пропорциональна корню квадратному из величины тока с острия.

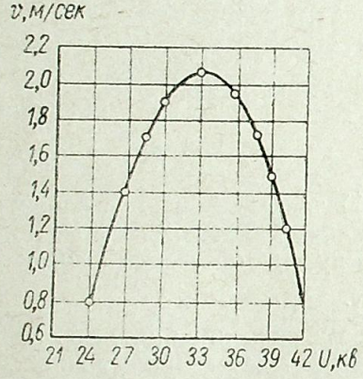


Рис. 4

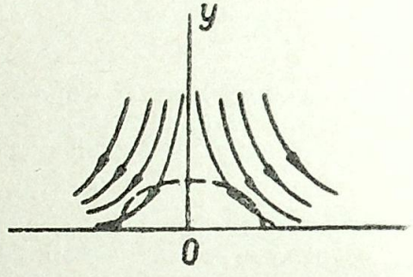


Рис. 5

Картина ионного потока, обусловленная короной с острия, была получена фотографированием траекторий его движения (рис. 5).

Из полученной картины следует, что траектории струй потока представляют собой семейство кривых вида

$$y = \frac{пост.}{x^2} \qquad (6)$$

где x и y—координаты частиц струй.

Выражение (6) является уравнением кубической гиперболы, симметричной относительно оси y.

Составляющие скорости этих частиц по осям x и y будут:

$$v_x = ax$$
$$v_y = -2ay \qquad (7)$$

Полная скорость

$$v = a\sqrt{x^2 + 4y^2}\,. \qquad (8)$$

Благодаря скорости ионного ветра возникает скоростной напор на поверхности капли.

Наибольшей величины напор достигает на элементах поверхности, близких к центру поверхности капли. Здесь он разрывает пленку поверхностного натяжения, изменяя свое нормальное направление на касательное. Касательные составляющие струй вызывают смещение частиц капли от центра, убыстряя тем самым процесс испарения. Последний процесс облегчается также благодаря действию зарядов, нанесенных ионным потоком на поверхность капли, ослабляющих силу поверхностного натяжения, а также вследствие разряжения воздуха у поверхности капли, вызванного силой

$$f = -\frac{1}{8\pi} E^2\, grad\varepsilon, \qquad (9)$$

определяемой нормальной составляющей напряженности поля E и направленной в сторону убывающих ε, т. е. от поверхности капли в окружающий воздух.

Визуальными наблюдениями установлено, что наиболее интенсивное испарение действительно начинается с центра поверхности капли.

Действие касательных составляющих было подтверждено и другим опытом, в котором вместо капли воды на поверхность изоляционной пластины в тех же условиях был нанесен пылевой налет.

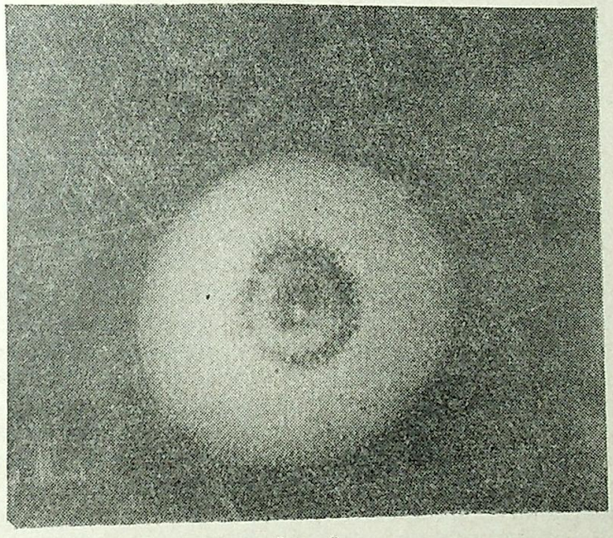


Рис. 6
В центре—зона, свободная от пыли

При подаче напряжения на острие и появлении ионного ветра касательные составляющие возникающих сил смещали пылевые частицы из центра к периферии, таким образом очищая центральный участок пластины от пылевых частиц и собирая их на участок убывающих сил (рис. 6).

Выводы

1. Подсушка поверхности увлажненных и загрязненных изоляторов может происходить не только под воздействием поверхностных токов утечки, но и коронирующих элементов электродов, создающих ионный ветер.

2. Время подсушки зависит от величины напряжения коронирующих элементов. С возрастанием напряжения время подсушки вначале уменьшается, а затем, по достижении минимума, начинает возрастать.

3. Изменение времени подсушки с напряжением зависит от изменения с напряжением скорости ионного ветра. Кривые обеих зависимостей взаимно связаны.

4. Горизонтальные составляющие скоростного напора на поверхности капли вызывают смещение частиц капли от центра, приводя к ускорению процесса испарения.

Касательные составляющие скоростного напора вызывают также смещение твердых пылевых частиц отложений от центра к периферии.

5. Наличие коронирующих элементов изоляторов при определенной величине напряжения приводит к сушке поверхности, повышая их разрядное напряжение. Это положение может быть использовано при оценке разрядных напряжений укороченных гирлянд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бургсдорф В. В. и Беляков Н. Н. „Электричество", 1959, № 2.
2. Курс метеорологии, под редакцией П. Н. Тверского, 1951.
3. Френкель Я. И. „Изв. АН СССР, серия географ. и геофиз.," 1944, № 6.
4. Фукс Н. А. „Коллоидный журнал", 1949, т. XI, № 4.
5. Шеренцис А. Н. „Электрические станции", 1956, № 7.

Ч. М. Чуварлы, М. М. Чәфәрова

Изоljаторларын үзәриндәки шеh дамлаларынын бухарланма заманына тач hадисәсинин тә'сири

ХҮЛАСӘ

Сон заманлар електрик шәбәкәләриндә кәркинлиjи артырмагла бәрабәр, ejни заманда, кирлjандадакы елементләр сajынын азалдылмасына чәhд едилир. Буна көрә дә изоljаторларда әлавә hадисәләр әмәлә кәлир (мәсәлән, елементләрин електродларында әмәлә кәлән тач hадисәсинин тә'сири илә онларын гурудулмасы).

Мүәjjән едилмишдир ки, тач hадисәси васитәсилә гурудулма ашағыда көстәрилән гануна табедир. Дамлаларын бухарланма заманынын кәркинликдән асылылыг әjриси ион күләjи сүр'әтинин кәркинликдән асылылыг әjрисинин әксидир.

Ион күләjи ахынынын тројекторијасы куб hиперболасы илә тә'jин едилир. Ион күләjи бухарланма просесини сүр'әтләндирән тәзjиг jарадыр.

АЗӘРБАJЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИJАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-риjазиjjат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

А. С. АЛИЗАДЕ

ПОСТАНОВКА КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

Разработка эффективных грозозащитных мероприятий линий электропередач и других объектов требует установления закономерности механизма развития молнии и определения ее основных параметров.

Проведенные ранее в различных странах, в том числе в Советском Союзе и, в частности, в Азербайджане исследования дали много фактического материала для познания отдельных вопросов грозовых явлений. В настоящее время интерес к исследованию молнии усилился в связи с большим числом грозовых поражений линий электропередач самого высокого напряжения. Выяснилось, что существует большой разрыв между расчетными данными и действительными фактами грозовых отключений линий электропередач. Стала очевидной недостаточность существующих методов расчета защитных мероприятий и сведений о механизме развития разряда молнии, ибо существующий метод разработки грозозащиты, ввиду недостаточности проведенных исследований, базируется на неточных данных, а иногда и ошибочных представлениях о механизме разряда молнии.

Учитывая требования практики грозозащиты, необходимости уточнения отдельных параметров разряда молнии и установления взаимосвязи между отдельными параметрами, а также желая выяснить закономерности протекания процесса, мы создаем полевую лабораторию по комплексному изучению грозовых процессов в естественных условиях, которая явится первой в Советском Союзе.

Следует отметить, что постановка исследования грозовых процессов, протекающих в большом пространстве атмосферы, с помощью лабораторных установок в большинстве случаев осложняется влиянием ряда дополнительных явлений. Поэтому исследование грозовых процессов в естественных условиях является наиболее эффективным.

Ввиду наличия ряда благоприятствующих условий для постановки исследований место сооружения лаборатории определено на территории Шемахинской обсерватории. Здесь на возвышенности с отметкой 1500 *м* над ур. м. построена фундаментальная лаборатория и установлены три металлические мачты высотой 20 *м* каждая. Над крышей лаборатории на высоту 4,5 *м* поднимается металлическая вышка для установки оптических приборов и визуального наблюдения.

Намечена широкая программа исследований грозовых процессов и разработана методика регистрации и измерения.

В программу исследований лаборатории входят следующие вопросы, к изучению которых будет частично приступлено с грозового сезона 1960 г. в определенной последовательности.

Изучение формирования грозовых облаков и их электрической характеристики в комплексе всех сопровождающих их электрических процессов атмосферы

Вопрос изучения электрических характеристик грозовых облаков является не новым. Изучением грозовых облаков в основном занимались физики. Причем, результаты не связывались ни с процесами протекания разряда, ни с электрическими характеристиками промежутка облако—земля.

Кроме того, из-за наличия существенных недостатков в применявшемся методе исследования (зондирование облака обычными шарами), имеющиеся материалы по электрической структуре облака не могут считаться удовлетворительными как с качественной стороны, так и с количественной. Определение электрической структуры облака (измерение градиента электрического поля, величины и знака потенциала в каждой точке облака) должно производиться на уровне современной измерительной техники, т. е. с применением метода радиозондирования, который принят в наших исследованиях. В 1958 г. такой метод был применен в исследованиях грозовых облаков В. И. Арабаджи в Минске [4]. Недостатком его схемы измерений является то, что в ней не предусматривается передача сигнала, показывающего отклонение антенны от вертикали в облаке, и не фиксируется местонахождение шара-зонда в облаке.

В принятой нами схеме эти недостатки будут устранены путем включения в нее добавочного узла для передачи сигнала, учитывающего степень отклонения от вертикали; местонахождение шара-зонда в облаке будет определяться радиолокатором, применяемым в работах Метеослужбы.

Измерение и запись градиента электрического поля и электропроводимости воздуха как за период формирования грозовых облаков, так и в момент протекания разряда молнии и после его завершения, будут проводиться с помощью специальных приборов, изготовленных нами в нашей лаборатории. По принципу действия эти приборы не отличаются от применяемых для измерения в ясную погоду градиента электрического поля и электропроводимости воздуха. Достоинством наших приборов по сравнению с применявшимся ранее является наличие в них широких пределов измерения величин и присоединение шлейфового осциллографа для записи показаний на фотопленку. Ниже приводится краткое описание этих приборов.

Для измерения градиента электрического поля нами принят динамический полемер. Датчиком этого прибора служит электростатический генератор с четырьмя измерительными пластинами и заземленным вращающимся диском. Сигнал с датчика подается на ламповый усилитель, на выходе которого стоит микроамперметр, отградуированный в вольтах на метр (*в/м*). Прибор имеет три предела измерений: до 250, 1500 и 7500 *в/м*. Показания прибора можно также записывать на ленту через шлейфовый осциллограф.

В качестве прибора для измерения электропроводимости воздуха применяются два цилиндрических конденсатора: один для измерения положительной, другой—отрицательной. Через заряженный конденсатор при помощи вентилятора протягивается воздух, в результате чего заряд конденсатора уменьшается в зависимости от электропроводимости воздуха.

Показания положительной и отрицательной проводимости воздуха будут записываться с помощью шлейфового осциллографа на одну фотопленку вместе с записью величины градиента электрического поля. Синхронная запись показаний двух приборов даст возможность определить взаимосвязь градиента электрического поля и электропроводимости воздуха.

Изучение механизма развития разряда и факторов влияющих на характер развития разряда

Основным вопросом в проблеме изучения грозовых процессов является установление закономерности механизма разряда молнии во всех его стадиях и взаимосвязи этого процесса с электрическим состоянием облака и воздушного промежутка облако—земля. Несмотря на наличие большого количества исследований по развитию канала молнии, разработка совершенного метода расчета грозозащитных мероприятий требует существенного дополнения имеющихся материалов.

Дальнейшее исследование канала молнии должно быть проведено как с целью уточнения имеющихся материалов исследований с помощью более современной аппаратуры, так и выяснения взаимосвязи между отдельными параметрами и процессами грозового явления. Таким образом, необходим комплексный метод исследований. Поэтому в схеме исследований нашей лаборатории предусмотрено использование оптических и электрических приборов. Для комплексного исследования особый интерес представляют ночные грозы. Разряды, происходящие в ночное время, будут фиксироваться оптическими и электрическими приборами.

Для изучения взаимосвязи между процессом развития канала молнии и электрическим состоянием разрядного промежутка большой интерес представит комплексное рассмотрение материалов измерений как относящихся к развитию канала, так и электропроводимости и градиента электрического поля среды, в которой происходит разряд.

В результате этих исследований ожидается получение сведений о количественной и качественной характеристиках развития стадий лидера и обратного разряда. Получение фоторазвертки лидера поможет окончательно установить характер его развития.

Одним из основных вопросов в разработке теории разряда молнии является объяснение механизма пробоя воздуха в лидерной стадии первого импульса в разряде. Материалы оптического исследования разряда показывают, что на некоторых бойсограммах лидер первого импульса развивается ступенями. Исходя из этого, ряд исследователей (Шонланд, Мик, Чипор, Брюс, Флауерс и др.) выдвинули теории и предположения о ступенчатом развитии разряда, по которым исключалось существование разрядов с непрерывным развитием.

В наших исследованиях 1948 г. были получены бойсограммы разрядов не только со ступенчатым, но и с непрерывным развитием лидера первого импульса, когда весь слой воздуха облако—земля пробивается одной непрерывно движущейся стрелой [1].

Бойсограммы таких разрядов опровергают теории и предположения вышеуказанных авторов об исключительно ступенчатом характере развития разряда.

Однако для полного представления картины развития разряда необходимо получить большой фактический материал оптического исследования, а также сведения о факторах, влияющих на характер развития разряда.

Другим важным вопросом в развитии разряда является установление формы головки лидера и механизма пробоя ею воздуха, а также характера распространения стримера обратного разряда в ионизированном канале лидера.

Из-за скудности материала вопрос о явлении послесвечения обратного разряда остается неисследованным.

Кроме того, для расчета электромагнитного поля канала молнии необходимо иметь сведения о связи между амплитудой тока молнии и скоростью развития обратного разряда [6].

Выяснение этих вопросов требует применения более совершенных оптических приборов и электронных осциллографов с большой скоростью записи.

Для оптического исследования будут применяться две фотокамеры с временной фоторазверткой. Одна из них состоит из трех барабанов, два из которых вращаются с различными скоростями (один барабан вращается с линейной скоростью порядка 30—40 *м/сек*, а другой с четырехкратно меньшей скоростью), а третий находится в статическом состоянии. На барабаны наматывается фотопленка шириной 3,5 *см*. Кассеты находятся внутри аппарата. Фотопленки каждой кассеты хватает на 10 перезарядок. Барабаны установлены внутри камеры. С наружной стороны камеры укреплены 5 фотообъективов типа Юпитер-3, светосилой 1/1,5. Угол охвата фотокамеры составляет около 200°. Один и тот же разряд снимается на две движущиеся и одну неподвижную фотопленку. Замедленно протекающие стадии развития разряда будут развертываться на медленно движущейся фотопленке, а быстропротекающие—на фотопленке, движущейся с большой скоростью.

Описанная фотокамера была изготовлена по проекту автора. Она отличается от предшествующих удобством эксплуатации, простотой конструкции и применением фотообъектов с большой светосилой типа, Юпитер-3.

В целях получения ясных изображений быстропротекающих стадий разряда имеющиеся фотообъективы будут заменены кварцевыми, применение которых даст возможность выяснить механизм развития слабосветящихся, малоисследованных элементов разряда. Особенно большой интерес представит изучение качественной и количественной характеристик развития лидерной головки в воздухе и явлений послесвечения.

Вторая фотокамера с временной фоторазверткой предназначается для оптического исследования стадии обратного разряда. Эта фотокамера сконструирована по принципу камеры Бойса.

Здесь на валу электромотора в вертикальной плоскости укреплен диск; в переднюю стенку камеры против диска вставлены два фотообъектива типа Юпитер-3, светосилой 1/1,5. Фотопленка заряжается в специальные круглые кассеты с надежным затвором, позволяющим производить перезарядку камер на свету. Кассета крепится к диску и вращается вместо с ним. Число оборотов достигает 4000 *об/мин*. Бойсограммы этой фотокамеры дают возможность изучить малоисследованную стадию обратного разряда с его явлением послесвечения.

Одновременно с использованием оптических средств будет производиться регистрация разряда электронными осциллографами. По нашему

заказу на экспериментальном заводе Всесоюзного электротехнического института были изготовлены два уникальных катодных осциллографа, позволяющие развертывать процесс, происходящий в одну микросекунду, на полный экран. Эти осциллографы дадут возможность регистрировать самые быстропротекающие стадии в процессе развития разряда, которые до сих пор оставались не совсем выясненными (имеются в виду стадии, имеющие место на фронте волны тока обратного разряда и др.).

Для изучения величины и характера индуктированных перенапряжений на линиях электропередач, создаваемых ударами молнии в землю, устанавливаются высокие мачты и на различных высотах (10—15 *м*) на них натягиваются антенны. К этим антеннам присоединяются четыре электронных осциллографа.

Полученные осциллограммы дадут возможность исследовать форму волны индуктированных перенапряжений, многократность разряда, полярность импульсов в разряде, продолжительность разряда, интервалы времени между импульсами и т. п. и дополнят результаты исследований ранее проведенных в различных странах.

Исследование параметров прямого удара молнии

Изучение параметров прямого удара молнии представляет большой теоретический и практический интерес.

Имеющиеся материалы в основном относятся к магнитным измерениям при ударах молнии в линии электропередач. Измеренные токи молнии и крутизна $\left(\frac{di}{dt}\right)$ не отражают действительных величин, так как токи молнии на линиях имеют несколько ответвлений и искажаются влиянием отраженных волн.

Из большого количества измерений токов прямого удара молнии (около 6000) на линиях, произведенных в различных странах [2] только несколько измерений токов молнии и их крутизны производилось на разрядах, поражающих одиночностоящие молниеотводы.

Поэтому в дальнейшем для получения более полноценного материала изучение параметров прямого удара молнии должно быть произведено на одиночных молниеотводах.

Для получения данных о параметрах прямого удара молнии в программе исследований лаборатории намечается сооружение молниеотвода высотой 300—400 *м* от земли путем натягивания металлического каната от земли вверх с помощью аэростата. Вероятность удара молнии при такой высоте сильно увеличивается.

В условиях нашей полевой лаборатории при высоте молниеотвода 400 *м*, количество прямых попаданий достигается 15÷20 в год (по данным Имянитова [5]).

Исследование параметров прямого удара молнии будет начато в 1961 г.

Получение статистических данных об интенсивности грозовой деятельности

При расчете грозоупорности объектов, находящихся в данном грозовом районе, до сих пор ограничивались количеством грозовых дней в году. В наших других работах было показано, что такой подход к делу не отражает действительного положения о грозоносности районов. Однако из-за отсутствия необходимых данных расчет грозоупорности по сей день ведется только по количеству грозовых дней в году.

Между тем правильно было бы при расчете грозоупорности иметь сведения о продолжительности гроз в году и интенсивности грозовой деятельности для данного района (количество разрядов за грозу, идущих от облака в землю) [3].

В настоящее время на метеостанциях не ведется наблюдений для получения таких подробных сведений о грозовой деятельности. Поэтому расчет грозоупорности ведется ориентировочно. Это приводит или к недостаточной эффективности грозоупорных мероприятий, или к излишнему запасу уровня изоляции линии электропередач.

Материал наших наблюдений в полевой лаборатории даст возможность внести определенные коррективы в материалы метеостанций и более эффективно вести расчет грозоупорности.

Наблюдения будут вестись как визуально, так и с помощью прибора, изготовленного нами—грозоотметчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ализаде А. С. „Ж. техн. физ.", 1951, т XXI, вып. 6.
2. Ализаде А. С. 10 лет АН Азерб. ССР, 1957.
3. Ализаде А. С „Изв. АН Азерб. ССР", 1959, № 1.
4. Арабаджи В. И. „ДАН БССР", 1956, т. 111, № 1.
5. Имянитов Н. М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы, 1957.
6. Разевич Д. В. Атмосферные перенапряжения на линиях электропередачи, 1959.

А. С. Әлизадә

Азәрбајчан ССР-дә гасырға һадисәләринин комплекс тәдгигинин тәшкили

ХҮЛАСӘ

Електрик хәтләринин вә башга објектләрин илдырымдан ефектив мүһафизә етмәк тәдбирләринин ишләнилмәси үчүн илдырым бошалмаларынын инкишаф ганунларыны вә онун әсас параметрләрини өјрәнмәк лазымдыр. Бу мәгсәдлә Шамахы обсерваторијасынын јахынлығында чөл шәраитиндә гасырға һадисәләрини комплекс сурәтдә өјрәнмәк үчүн лабораторија тикилмишдир. Бу лабораторија гаршысында дуран әсас елми мәсәләләрин өјрәнилмә схеми, тәдгиг методлары ишләнилмиш, лазым олан өлчү вә гејдедичи чиһазлар алынмыш вә бир нечәси дә лабораторијада һазырланмышдыр.

Бу лабораторијада өјрәнилмәси планлашдырылан мәсәләләр 4 група бөлүнүр: 1) гасырға булудларын електрик характеристикасы вә башга атмосфер електрик амилләринин онунла гаршылыглы тә'сиринин өјрәнилмәси. Бураја гасырға булудунун електрикләшмә просеси, илдырым бошалмасында онун параметрләринин дәјишмәси, булуд илә јер арасында һаванын електрик кечиричилији вә електрик саһәси кәркинлијинин дәјишмәси ганунларынын өјрәнилмәси дахилдир; 2) илдырым бошалмасынын инкишаф просесинин вә онун характеринә тә'сир едән амилләрин өјрәнилмәси, 3) илдырым каналы параметрләринин өјрәнилмәси; 4) гасырға һадисәләринин фәалијјәтинә аид статистик мә'луматларын өјрәнилмәси.

Бу мәсәләләрин Совет иттифагында јеканә олан лабораторијада өлчү техникасынын мүасир сәвијјәсинә ујғун, кениш елми әсаслар үзрә тәдгиги гасырға һадисәләринин даһа мүкәммәл өјрәнилмәсинә вә еләчә дә илдырымдан мүһафизә тәдбирләринин даһа әсаслы ишләнилмәсинә кениш имканлар јарадачагдыр.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ф. Һ. ҺҮСЕЈНОВ, Т. Н. ҺАЧЫЈЕВ

ЕНЕРЖИСИСТЕМ ЈҮКҮНҮН СТАТИК ВӘ ДИНАМИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРЫ

Јүкүн актив вә реактив күчләринин тезлик вә кәркинликдән асылылығы онун статик вә динамик характеристикалары адланыр. Бу характеристикалар һесабат вә ја тәчрүби јолларла тапыларақ, мүвафиг әјриләр шәклиндә көстәрилир. Онлар енержисистемин е'тибарлы вә гәнаәтбәхш ишләмәси илә әлагәдар олан бир чох мәсәләләрин һәллиндә, мәсәлән, статик вә динамик дајаныглығын тә'јини, тезликдән автоматик јүктулламанын көкләнмәси, енержисистемин еһтијат күчүнүн тә'јини вә башга бу кими һалларда чох вачиб һесаб олунур.

Статик характеристикалар кәркинлијин сабитлији һалында тезлијин вә ја тезлијин сабитлији һалында кәркинлијин јаваш-јаваш дәјишмәси шәраити үчүн тә'јин едилир. Кәркинлик гәфләтән дәјишәркән, јүкүн актив вә реактив күчләринин нечә дәјишмәси динамик характеристикалардан тапылыр. Бу характеристикаларын формасы јүкүн тәркибиндән вә нөвүндән асылыдыр.

Һазырда енержисистем мәсәләләринин һәллиндә ТЕП-ин һесабат јолу илә тә'јин етдији типик адландырылан статик вә динамик јүк характеристикаларындан истифадә олунур. Јүк характеристикаларына аид тәчрүби вә һесабат јолу илә әлдә едилмиш чохлу башга материаллар да вардыр.

Аччаг, енержисистемләрин јүкләри мүхтәлиф характерли олдуғундан, бу характеристикалар бүтүн енержисистемләр үчүн мәсләһәт көрүлә билмәз. Бундан башга, ТЕП-ин типик характеристикалары гуруларкән гәбул олунмуш шәртләрин чохусу мүасир енержисистемләр үчүн өз әһәмијјәтини итирмишдир.

Мәгаләдә енержисистем јүкүнүн статик вә динамик характеристикаларынын тәдгиги үзрә апарылмыш нәзәри вә тәчрүби ишләрин бә'зи нәтичәләри верилмишдир.

Јүк характеристикалары гурулмасынын нәзәри мәсәләләри

Енержисистем јүкүнүн ән мүрәккәб вә әсас һиссәси олан мүһәррик јүкүнүн характеристикаларыны нәзәрдән кечирәк.

Үмумиләшдирилмиш мүһәррик јүкүнүн статик характеристикалары һаггында там тәсәввүр әлдә етмәк үчүн онун ајры-ајры групларынын һаггында там тәсәввүр әлдә етмәк лазымдыр. Һәр група адәтән статик характеристикаларыны билмәк лазымдыр. Һәр група адәтән статик характеристикаларына малик олан тәләбатчылар ејни формалы статик характеристикалара малик олан тәләбатчылар дахил едилир.

Актив вә реактив күчләрин кәркинлик вә тезликдән асылылығыны тә'јин едәркән биз әсас фактор олараг, мүһәррикин нөвүнү нәзәрдә тутачағыг. Һәрәкәтә кәтирилән механизмин характеристикасының тә'сири исә тапылмыш асылылыглара бир вә ја ики параметрин дахил едилмәсилә нәзәрә алыначагдыр.

Нормал вә гәзадан сонракы иш режимләриндә кәркинлијин $(0{,}8\div 1{,}1)U_н$ вә тезлијин $(0{,}9\div 1{,}02)f_н$ һәддиндән кәнара чыхмамасыны нәзәрә аларағ, биз статик характеристикалара јалныз бу һәдләр дахилиндә бахырыг.

Асинхрон мүһәррик

Мүһәррикин шәбәкәдән алдығы актив күч (P_1) фајдалы күч (P_2)-дән, јүксүз ишләмә иткиси (ΔP_0)-дан вә јүк иткиләри (ΔP_1)-дән ибарәтдир вә ја:

$$P_1=P_2+\Delta P_0+\Delta P_1$$

Мүһәррикин шәбәкәдән алдығы реактив күч (Q_1) јүксүз ишләмә күчү (ΔQ_0)-дан вә јүк иткиләри (ΔQ_1)-дән ибарәтдир вә ја:

$$Q_1=\Delta Q_0+\Delta Q_1$$

P_1 вә Q_1 күчләринин кәркинлик вә тезликдән асылылығыны тә'јин етмәк үчүн, онларын ајры-ајры мүрәккәбләринин белә асылылыгларыны тапмаг лазымдыр. Әввәлчә бу асылылыглары кәркинлијә көрә нәзәрдән кечирәк.

Јүксүз ишләмә иткиси ΔP_0 механики иткиләрлә полад иткиләринин чәминә бәрабәрдир. Механики иткиләр кәркинлијин кичик дәјишмәләриндән, демәк олар ки, асылы дејилдир. Одур ки, $\Delta P_0=\varphi(U)$ асылылығы әсасән полад иткиләрилә тә'јин едиләчәкдир. Сонунчу, кәркинлијин $U=(0{,}8\div 1{,}1)U_н$ һәдләриндә,

$$\Delta P_0=\Delta P_{он}K_ц^2 \qquad (1)$$

олур.

Бурада $\Delta P_{он}$—номинал кәркинлик шәраитиндәки иткиләрдир. $K_ц=\dfrac{U}{U_н}$

Јүксүз ишләмәнин реактив күчү белә тә'јин едилир:

$$\Delta Q_0=\frac{3U^2}{X_0}$$

Бурада јүксүз ишләмә реактансы X_0-да дәмирин доjмасы сәбәбиндән, кәркинликдән асылыдыр. Бу асылылыг мүһәррикин стандарт јүксүз ишләмә харәктеристикасының $U=0{,}8\div 1{,}1$ һәдләри үчүн аналитик тәнлијини сечмәклә тапыла биләр. Бу гајда илә X_0 үчүн тапылмыш ифадә ашағыдакы шәкилдәдир:

$$X_0=X_{он}\frac{K_ц}{0{,}385+0{,}63K_ц^3}$$

Бурада, $X_{он}$—номинал кәркинлијә уjғун кәлән мүгавимәтдир.

Беләликлә, $$\Delta Q_0=\Delta Q_{он}K_ц(0{,}385+0{,}63K_ц^3) \qquad (2)$$

Јүк иткиләри ΔP_1 вә ΔQ_1 чәрәјанын гиjмәтилә тә'јин олунур, чәрәјан исә өз нөвбәсиндә кәркинликдән мүрәккәб шәкилдә асылыдыр. Биз $S=\varphi_1(U)$ асылылығыны фајдалы күчүн сабитлији шәртиндән тапыб чәрәјан дүстурунда, сонра исә ΔP_1 вә ΔQ_1 иткиләринин дүстурларында јеринә гојараг әлдә олунан асылылыгларын кәркинлијә көрә графикләрини мүһәррикин параметрләринин чүрбәчүр гиjмәтләри шәраитиндә, шәбәкә мүгавимәтини нәзәрә алмаг шәртилә, гурмушуг. Бу графикләрин анализи көстәрир ки, кәркинлијин $(0{,}8\div 1{,}1)$ һәдләри дахилиндә јүк иткиләри ашағыдакы шәкилдә ифадә олуна биләр:

$$\Delta P_1=\Delta P_{1н}\frac{1}{K_ц^{\alpha}} \quad \text{вә} \quad \Delta Q_1=\Delta Q_{1н}\frac{1}{K_ц^{\alpha}} \qquad (3)$$

Бурада, $\Delta P_{1н}$ вә $\Delta Q_{1н}$ номинал кәркинлик шәраитиндәки иткиләрдир.

$$\alpha=2\div 4$$

фајдалы актив күчүн кәркинликдән асылылығы мүһәррикин фырландырычы моменти илә механизмин тормозлајычы моментинин мүвазинәти шәртиндән тапыла биләр. Лакин бу үсул чох мүрәккәбдир. P_2-нин ән садә формулуну сүрүшмәнин кәркинликдән $S=\dfrac{S_н}{K_ц^{\alpha}}$ шәкилли асылылығыны истифадә едәрәк алмаг олар.

$$P_2=P_{2н}a_1\left(1-\frac{S_н}{K_ц^{\alpha}}\right)^{(\beta+1)} \qquad (4)$$

Бурада, β—механизмин тормозлајычы моментинин дөврләр сајындан асылылыг дәрәчәсидир.

$$a_1=(1-S_н)^{-(\beta+1)}$$

Беләликлә, асинхрон мүһәррикин тәләб етдији актив вә реактив күчләр кәркинликдән асылы олараг ашағыдакы кими ифадә олуна биләр.

$$\left.\begin{aligned} P_1&=\Delta P_{он}K_ц^2+\Delta P_{1н}\frac{1}{K_ц^{\alpha}}+P_{2н}\,a_1\left(1-\frac{S_н}{K_ц^{\alpha}}\right)^{\beta+1}\\ Q_1&=\Delta Q_{он}K_ц(0{,}385+0{,}63K_ц^3)+\Delta Q_{1н}\frac{1}{K_ц^{\alpha}}\end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

Инди һәмин мүрәккәбләрин тезликдән асылылығына бахаг.

Полад иткиләри тезликдән белә асылыдыр:

$$\Delta P_п=\Delta P_{пн}K_f^{1{,}3}$$

бурада: $K_f=\dfrac{f}{f_н}$.

Сүрүшмәнин дәјишмәсини нәзәрә алмасаг роторун дөврләр сајы тезликлә мүтәнасибдир. Одур ки, јүксүз ишләмә иткиләринин аз бир һиссәсини тәшкил едән механики иткиләрин тезликдән асылылыг дәрәчәсини 1,3 гәбул едәрәк полад иткиләри илә бирләшдирсәк аларыг:

$$\Delta P_0=\Delta P_{он}K_f^{1{,}3} \qquad (6)$$

Јүксүз ишләмә реактив күч иткисинин тезликдән асылылығы, доjманы нәзәрә аларағ, белә ифадә олуна биләр:

$$\Delta Q_0=\Delta Q_{он}\left(0{,}385+0{,}63\frac{1}{K_f^3}\right) \qquad (7)$$

фајдалы күч исә белә тапылыр:

$$P_2=\left(\frac{1-S}{1-S_н}\right)^{\beta+1}\cdot K_f^{\beta+1}\cdot P_{2н}\approx P_{2н}K_f^{\beta+1} \qquad (8)$$

Јүк иткиләринин тезликдән асылылығыны тапмаг үчүн фырландырычы моментлә тормозлајычы моментин мүвазинәти шәртиндән, шәбәкә иткиләрини нәзәрә алмаг шәртилә, тапылмыш дәгиг ифадәләр васитәсилә графикләр гурулмуш вә тезлијин 0,9÷1,02 һədди дахилиндә онларын садә аналитик ифадәси сечилмишдир. Һәмин ифадәләр бунлардыр:

$$\Delta P_1=\Delta P_{1н}\cdot K_f^{2\gamma};\qquad \Delta Q_1=\Delta Q_{1н}\cdot K_f^{2\gamma+1} \qquad (9)$$

бурада $\gamma=\lambda(\beta+1)$, $\lambda=1{,}5\div1{,}8$.

Белəликлə, асинхрон мүһərrikин төләб етдији күч тезликдән асылы олараг белə ифадə олуна биләр:

$$\left.\begin{aligned} P_1&=\Delta P_{он}K_f^{1{,}3}+\Delta P_{1н}K_f^{2\gamma}+P_{2н}K_f^{\beta+1}\\ Q_1&=\Delta Q_{он}\left(0{,}385+0{,}63\,\frac{1}{K_f^3}\right)+\Delta Q_{1н}K_f^{2\gamma+1}\end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Синхрон мүһərrik

Синхрон мүһərrikин шәбәкәдән алдығы актив күч вә шәбәкәјә вердији реактив күч, статор долағынын актив мүгавимәтини нәзәрә алмадан (бу, 100 *квт*-дан јухары күчлү мүһərrikләр үчүн тамамилә мүмкүндүр) ашағыдакы кими ифадә олуна биләр.

$$\left.\begin{aligned} P_1&=\frac{UE_0}{X_d}\sin\theta+\frac{U^2}{2}\,\frac{K-1}{X_d}\sin2\theta\\ Q_1&=\frac{UE_0}{X_d}\cos\theta-\frac{\cos^2\theta+K\sin^2\theta}{X_d}U^2\\ I&=\frac{1}{U}\sqrt{P_1^2+Q_1^2}\end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Бурада $K=\dfrac{X_d}{X_q}$, галан ишарәләр үмуми гәбул олунмуш ишарәләрдир.

$I=F(U)$ асылылығынын бурадан тапылмасы чох мүрәккәбдир. Әкәр бу асылылығын графикини гурсаг, онун $U=0{,}8\div1{,}1$ һəддиндəки һиссəси даһа садə шəкилдə ифадə олуна биләр.

Бу әмәлијјаты СМ-300—750 вә СМ-540—750 мүһərrikләри үчүн јүкләнмәнин 0,5÷1 вә тә'сирләнмәнин $E_0=1{,}5\div3$ гијмәтләриндә јеринә јетирәрәк тапылмышдыр ки, $U=0{,}8\div1{,}1$ гијмәтләриндә:

$$I^2=I_н^2\frac{1}{K_u} \qquad (12)$$

гәбул етмәк тамамилә мүмкүндүр. Һәмин һесабатын нәтичәсиндә һәмчинин тапылмышдыр ки, $P=f(U)$ вә $Q=\varphi(U)$ характеристикаларыны гураркән, актив мүгавимәтин вә ајдын гүтублулуҗун нәзәрә алынмамасы тамамилә мүмкүндүр, чүнки бу һалда сәһв 1,5 %-дән чох олмур. Белəликлə актив јүк иткиләри белə тапылыр:

$$\Delta P_1=\Delta P_{1н}\cdot\frac{1}{K_u} \qquad (13)$$

Јүксүз ишләмә иткиләринин кәркинликдән асылылығы асинхрон мүһərrikдəки кимидир. Фајдалы күч P_2 кәркинликдән асылы дејилдир, чүнки синхрон режимдə дөврләр сајы сабит галыр. Белəликлə:

$$P_1=\Delta P_{он}K_u^2+\Delta P_{1н}\frac{1}{K_u}+P_{2н} \qquad (14)$$

Мүһərrikин реактив күчү ики һиссәдән ибарәтдир: шәбәкәјә көндəрилəн күч

$$Q_1'=\frac{E_0U}{X_d}\cos\theta=\frac{Q_{1н}'}{\cos\theta_н}\sqrt{K_н^2-\sin^2\theta_н}$$

вə шəбəкəдəн көтүрүлəн күч

$$Q_1''=\frac{\cos^2\theta+K\sin^2\theta}{X_d}U^2=Q_{1н}''K_н^2 \qquad (15)$$

бурада $\theta_н$, $P_{1н}\approx\dfrac{E_0U_н}{X_d}\sin\theta_н$ ифəдəсиндəн тапылыр.

Белəликлə, синхрон мүһərrikин реактив күчү кəркинликдəн асылы олараг ашағыдакы кими ифадə олуначагдыр:

$$Q_1=\frac{Q_{1н}'}{\cos\theta_н}\sqrt{K_u^2-\sin^2\theta_н}-Q_{1н}''K_u^2 \qquad (16)$$

Синхрон мүһərrikин актив вə реактив күчləриниң тезликдəн асылылығыны тапмаг үчүн əввəлчə тə'сирləндиричинин мүһərriklə ејни вал үзəриндə јерləшəн шунт даими чəрəјан машыны олдуғуну нəзəрə аларағ, синхрон мүһərrikин јүксүз ишləмə еһг-нин (E_0) тезликдəн асылылыг ганунуну мүəјјənləшдирмək лазымдыр. Бу мəгсəд үчүн тə'сирləндиричинин вə мүһərrikин стандарт јүксүз ишləмə характеристикалары тезлијин (0,9÷1,02) $f_н$ һəдləриндə ашағыдакы аналитик шəкилдə ифадə едилмишдир.

$$\Phi_{вв}=\sigma_1 I_{вв}^{m_1}\qquad \Phi_в=\sigma_2 I_в^{m_2}$$

Бурада $\sigma_1=\sigma_2=1{,}04$; $m_1=0{,}7$; $m_2=0{,}3$.

Тə'сирləнмə схеми дөврələри үчүн кəркинликləрин мүвазинəт тənликləрини гуруб лазыми дəјишикликлəр апардыгдан сонра алырыг:

$$E_0=E_{он}K_f^{1+\frac{m_2}{1-m_1}} \qquad (17)$$

m_1 вə m_2-нин тапылмыш гијмəтləри үчүн:

$$E_0=E_{он}K_f^2 \qquad (18)$$

Мүһərrikин фајдалы күчүнүн тезликдəн асылылығы белə олачаг:

$$P_2=P_{2н}K_f^{\beta+1} \qquad (19)$$

(18) вə (19) дүстурлары (11) дүстурунда јеринə гојуб $X_d=X_{dн}\cdot K_f$ олдуғуну нəзəрə аларағ, $K=1$ һалы үчүн аларыг:

$$\sin\theta=\sin\theta_н K_f^{\beta}$$

сонра исə,

$$Q_1'=\frac{Q_{1н}'}{\cos\theta_н}K_f\sqrt{1-\sin^2\theta K_f^{2\beta}}\ \text{вə}\ Q_1''=Q_{1н}''\frac{1}{K_f} \qquad (20)$$

Актив вә реактив күчләрин мә'лум тезлик асылылыгларындан $I=F(f)$ асылылығыны тапмаг мүмкүндүр. Лакин бу чох мүрәккәб олур. Бу асылылығын СМ-300—750 вә СМ-540—750 мүһәррикләри үчүн графикләрини гуруб тапмышыг ки, $K_f=0{,}9\div1{,}02$ һәдләриндә $I^2=F_1(f)$ асылылығы садәчә белә ифадә олуна биләр:

$$I^2=I_н^2K_f^{\alpha_2}$$

уjғун олараг jүк иткиләри дә:

$$\Delta P_1=\Delta P_{1н}K_f^{\alpha_2} \text{ вә } \Delta Q_1=\Delta Q_{1н}\cdot K_f^{\alpha_2+1} \qquad (21)$$

шәкилдә jазыла биләр; бурада

$$\alpha_2=\beta+3$$

Jүксүз ишләмә иткиләринин тезликдән асылылығы асинхрон мүһәррикдәки кимидир.

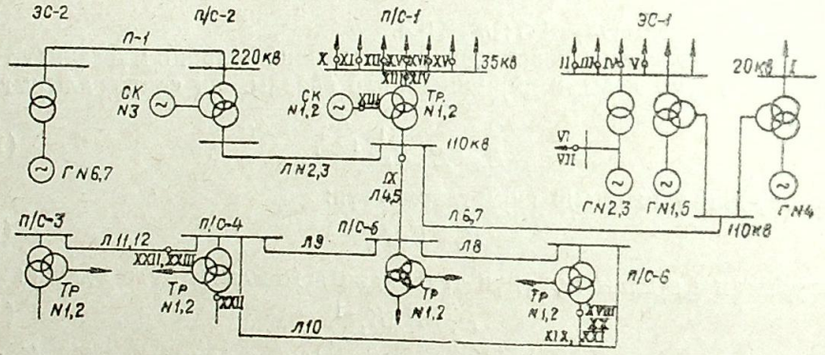
Белəликлə, синхрон мүһәррикин актив вә реактив күчләри тезликдән асылы олараг ашағыдакы шәкилдә ифадә олуначагдыр.

$$\left.\begin{aligned} P_1&=P_{2н}K_f^{\beta+1}+\Delta P_{1н}K_f^{\alpha_2}+P_{0н}K_f^{1{,}3}\\ Q_1&=\frac{Q'_{1н}}{\cos\theta_н}K_f\sqrt{1-\sin^2\theta_н K_f^{2\beta}}\,Q_{1н}\frac{1}{K_f}\end{aligned}\right\} \qquad (22)$$

Статик вә динамик характеристикаларын тәчрүби тапылмасы

Енержисистем jүкүнүн тәчрүби тәдгигатындан мәгсәд мүасир енержисистем jүкүнүн тәнзим ефектләринин гиjмәтләрини мүәjjәнләшдирмәк, тезлик вә jа кәркинлиjин ани дәjишмәсиндән сонра jүкдә кедән кечид просесләринин характерини өjрәнмәкдир.

Әсас тәчрүбәләр Азәрбаjчан ССР енержисистеминдә гоjулмушдур. Бундан өтрү енержисистемин 1-чи шәкилдә көстәрилән чәнуб һиссәси ajрылмышдыр. Схемә 2 електрик стансиjасы вә 6 әдәд 110 вә 220 *кв*-луг jарымстансиja дахил иди.



1-чи шәкил

Ашағыда бу тәчрүбәләрин нәтичәләри гыса сурәтдә шәрһ едилир.

Ајрылмыш jүкүн үмуми күчү 120 *мва* гәдәрдир. Тәчрүбәләр 1958-чи ил ијулун 26 вә 27-синдә сәһәр саат 9-дан 12-jә гәдәр, тәлəбатчыларын jүкүнүн дәjишмәjән вахтында апарылмышлар.

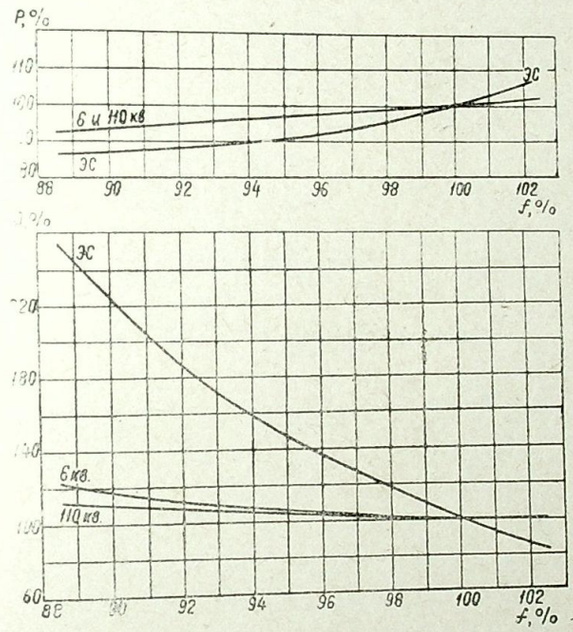
Өлчү jерләри (схемдә рум рәгəмләрилə көстәрилмишдир) сечиләркән чүрбәчүр характерик нөвлү сәнаje jүкләринин әһатә олунмасы нəзəрдə тутулмушдур. Өлчү, eјни заманда, истилик електростансијасынын хүсуси сәрфиjjатының әсас агрегатларында да апарылмышдыр. Бүтүн өлчүләр 0,5 синфә мәнсуб дәгиг лабораторија чиһазлары илә апарылмышдыр. Өлчүкөтүрмә енержисистемин мәркәзи диспетчер мәнтәгәсиндән верилән үмуми хәбәрдарлыгла апарылмышдыр. Һәр өлчүкөтүрмә тезлик вә jа кәркинлиjин һәр пиллә гиjмәтинин әлдә едилмәсиндән тәхминән бир дәгигә сонра едилмишдир.

Тәсадүфи сәһвләри азалтмаг үчүн тезлик вә кәркинлиjин дәjишдирилмәси тәчрүбәләри, чохлу өлчү нөгтәләри олмаг шәртилә, бир нечә дәфә тәкрар едилмишдир. Мәсәлән, тезлиjә көрә статик характеристикалар чыхарыларкән ики дәфәдә 24 өлчү (тәкрардан башга), кәркинлиjә көрә характеристикалар чыхарыларкән исә ики дәфәдә 18 өлчү көтүрүлмүшдүр.

Ашағыда һәр тәчрүбәнин шәрһи верилир.

Тезлиjә көрә статик характеристикалар

Бу тәчрүбәләрдә тезлик 45,6÷51 *hepc* һәдләри дахилиндә дәjишдирилмишдир. Тезлиjи дәjишдирә билмәк үчүн тәнзимедичи агрегатдан башга бүтүн турбинләрин сүр'әт тәнзимчиләри ачылмышдыр.



2-чи шәкил

Бу тәчрүбәдә ДРЕС-ин 110 *кв*-луг шин системиндә кәркинлик сабит сахланылмышдыр. Анчаг тезлиjин 46,6 *hepc*-дән ашағы гиjмәтләриндә системдә реактив күч ehтиjатының чатышмамасы үчүндан кәркинлик бир гәдәр ашағы дүшмүшдү. Бу, тәчрүбә материалларыны ишләркән кәркинлик характеристикаларыны истифадә етмәклə нәзәрә алынмыш вә тәчрүбәнин нәтичәләринә тә'сири арадан галдырылмышдыр.

Ајры-ајры jүк нөвләринин характеристикаларыны мүгаjисә едә билмәк үчүн онлар һамысы нисби ваһидләрдә гурулмушдур. 50 *hepc* шәраитиндәки актив вә реактив күчләр ваһид олараг гәбул едилмишдир.

Јүкүн тәркиби вә статик характеристикаларын параметрләри

№	Јүкүн әсас характери	Јүкүн тәркиби								cos φ		Тәнзим ефекти					
		фидер №-си	компрессор	мәркәздән гачма насосу	дәринлик насосу	ишыг вә мәишәт	кичик мүһәррик-ләр	ири мүһәррикләр	електрик собасы	чәми мәа	U=const f=var	f=const U=var	$\frac{dP}{df}$	$\frac{dQ}{df}$	$\frac{dP}{dU}$	$\frac{dQ}{dU}$
1.	Гарышыг јүк	I	23,6	1,1	35,5	6,0	25,7	8,1	—	17620	0,765	0,774	1,6	7,0	0,6	5,0
2.	Нефт (компрессор вә насос)	II	59,5	2,8	7,8	0,1	0,7	8,8	—	4920	0,972	0,953	0,5	15,0	0,2	2,4
3.	Нефт (компрессор)	III	72,1	17,2	8,8	0,7	1,2	—	—	5520	0,780	0,800	1,0	3,0	0,0	1,6
4.	Нефт (компрессор)	IV	88,8	5,1	5,5	—	0,6	—	—	8150	0,669	0,684	1,0	2,0	0,4	1,6
5.	Нефт (гарышыг)	V	32,3	32,9	22,4	—	5,0	7,4	—	7630	0,688	0,674	2,5	3,0	0,0	2,0
6.	Завод	VI	15,0	5,5	—	—	29,0	50,5	—	1450	0,876	0,907	1,5	13,0	0,7	9,0
7.	Хүсуси сәрфијјат	VII	—	85,0	—	—	15,0	—	—	2090	0,785	0,803	3,0	0,5	0,5	1,6
8.	Гарышыг (су насосу вә нефт)	IX	2,0	41,0	6,0	3,0	8,0	40,0	—	14630	0,732	0 705	2,5	3,0	0,0	1,8
9.	Нефт (газма вә завод)	X	9,9	14,8	—	—	5,9	69,4	—	6050	0,975	—	2,6	31,0	—	—
10.	Нефт (насос)	XI	13,7	51,4	19,6	—	14,1	1,2	—	7600	9,955	0,913	2,6	16,0	1,0	7,2
11.	Нефт (гарышыг)	XII	15,6	47,0	26,4	1,3	9,7	—	—	1380	0,905	0,829	1,0	9,0	1,5	9,5
12.	Нефт (гарышыг)	XIII	12,8	40,3	14,9	0,2	11,2	20,6	—	5270	0,982	0,932	2,3	30,0	1,5	1,0
13.	Нефт (гарышыг)	XIV	30,9	25,0	8,4	0,3	3,9	31,5	—	4900	0,912	0,877	2,6	13,0	1,0	10,0
14.	Нефт (гарышыг)	XVI	28,0	28,0	33,0	2,0	3,4	5,6	—	1360	0,882	0,810	2,7	1,6	1,0	5,6
15.	Нефт (компрессор)	XVII	63,7	19,9	13,6	0,3	0,2	2,3	—	6720	0,811	0,840	1,0	4,0	0,0	5,6
16.	Нефт (газма)	XIX	—	7,1	—	0,6	3,3	89,0	—	7 0	0,960	—	2,6	23,6	—	—
17.	Суварма (су насосу)	XXI	—	70,6	—	8,8	14,7	5,9	—	1760	0,950	0,957	1,3	1[illegible],5	1,5	10,0
18.	Суварма (су насосу)	XXII	—	98,0	—	—	2,0	—	—	2330	0,7t0	0,795	2,0	1,6	0,5	2,5
	Ајрылмыш шәбәкәнин јүкү	ЕС	29,3	23,4	12,8	3,6	10,2	19,3	1,4	123·00	0,867	0,941	2,5	8,0	0,25	4,0

Г е ј д: Бүтүн компрессор стансијаларында вә газма бүруғларында мүһәррикләрин орта һесабла 50%-и синхрон мүһәррикдир.

Електростансија вә јарымстансијаларын хүсуси сәрфијјатыны да әлавә етмәк шәртилә, ајрылмыш енержисистем јүкүнүн характеристикалары енержисистемин актив вә реактив енержи мәнбәләринин (2 електростансијаның кенераторлары, Хырдалан вә Пута јарымстансијаларының синхрон компенсаторлары) чыхышларындакы күчләрин чәми шәклиндә тапылмышдыр.

Кичик синхрон компенсатор вә аз күчлү јерли електрик стансијалары јүкүн тәркиб һиссәси һесаб едиләрәк ондан ајрылмамышдыр.

Һәр бир фидерин башланғычында апарылан өлчүләрдән үјғун енержисистем һиссәсинин характеристикалары тапылмышдыр. Белә фидерләрин сајы 24-дүр.

2-чи шәкилдә тәдгиг олунан енержисистемин тезлик характеристикалары (ЕС) вә орадача ТЕП-ин 6 вә 110 *кв*-луг шәбәкәләр үчүн тәклиф етдији типик характеристикалар верилмишдир. Мәгаләдә ајры-ајры јүк нөвләринин характеристикалары көстәрилмәмишдир.

Чәдвәлдә тәдгиг олунан енержисистемин вә онун ајры-ајры фидерләринин тәчрүбә апарылан күн үчүн јүк тәркибләри верилмишдир.

Чәдвәлдән көрүндүју кими, сечилмиш енержисистем һиссәси нефт сәнајесинин, демәк олар ки, бүтүн јүк нөвләринә маликдир: компрессорлар, нефт-су насослары, газма буруглары вә с.

Кәркинлијә көрә статик характеристикалар

Кәркинлијә көрә статик характеристикалар һәм ајрылмыш енержисистем һиссәсинин үмуми јүкү үчүн, һәм дә онун ајры-ајры радиал

3-чү шәкил

голлары (фидерләри) үчүн тапылмышдыр. Тәчрүбәдә ДРЕС-ин 110 *кв*-луг шин системләриндәки кәркинлик 100÷121 *кв* һәдләри дахилиндә дәјишдирилмишдир. Бүтүн кенераторларын вә бөјүк синхрон компенсаторларын тә'сирләнмә тәнзимчиләри ачылмыш, тә'сирләнмәнин тәнзими әллә апарылмышды.

Тезлик бүтүн тәчрүбә боју сабит вә 50,2 *herc* гијмәтиндә сахланмышдыр.

Апарылмыш өлчүләрин нәтичәләри нисби ваһидләрдә ишләнмиш вә уjғун әjриләр гурулмушдур. ДРЕС-ин 110 *кв*-луг шин системиндәки кәркинлиjин нормал гиjмәтинә (110 *кв*) уjғун олан актив вә реактив күчләр ваһид гәбул едилмишдир.

3-чү шәкилдә тәдгиг олунан енержисистем һиссәси jүкүнүн тәчрүби характеристикалары (ЕС) вә орадача ТЕП-ин 6 вә 110 *кв* шәбәкә үчүн тәклиф етдиjи характеристикалары верилмишдир.

Кәркинлиjин ани дәjишмәсиндән сонра jүкдә кедән кечид просесинин тәдгиги

Енержисистемдә реактив jүкүн ачылмасы вә ja бағланмасы һалларында вә гыса гапанма баш вердикдә енержисистем шәбәкәсинин, демәк олар ки, һәр jериндә кәркинлик дәjишир. Енержисистемин һәр һансы бир нөгтәсиндә кәркинлиjин дәjишмә дәрәчәси вә дәjишмә сүр'әти режимин дәjишмә дәрәчәсиндән вә бу нөгтәнин һадисә баш вермиш нөгтәдән олан мәсафәсиндән асылыдыр. Режим дәjишән jердә кәркинлик ани дәjишдиjи һалда, башга нөгтәләрдә дәjишмә сүр'әти jүкүн тәбиәтиндән асылы олур. Индуктив мүгавимәтә малик олан тәләбатчыларын (мәсәлән, електрик мүһәррикләри, трансформаторлар вә с.) дахили ehг-нин ани олараг дәjишә билмәмәси кечид просесинин кедишинә, хүсусән режим дәjишдикдән сонракы илк вахтларда бөjүк тә'сир едир.

Кечид просесинин кедишинә һәмчинин мүһәррик-механизм агрегатларынын механики әталәти дә бөjүк тә'сир едир.

Әдәбиjjатда олан ишләрдә jүкүн кәркинлиjә көрә динамик характеристикасына мүһәррикләрин електрик әталәтини нәзәрә алмадан бахылыр ки, бу да һесабатын нәтичәләриндә мүәjjән гәдәр сәһвин олмасына сәбәб олур. Бу сәһв хүсусән инди, енержисистем вә тәләбатчы шәбәкәләриндә чалд ишләjән автоматика вә реле мүһафизәсинин кениш тәтбиг олунмасы нәтичәсиндә кечид просесләринин давамыны онда бир санијәләрә гәдәр азалтмаға имкан вердиjи бир вахтда даһа бөjүк гиjмәт алыр.

Бизим апардығымыз тәчрүбәләр көстәрир ки, систем jарымстансиjаларында күчлү синхрон компенсаторлары ачыб вә ja бағламагла ани реактив күч дәjишмәси jарадаркән, бу jарымстансиjалардан 10—15 %-ә гәдәр реактансла узаг олан мүһәррикләрин чыхышларында кәркинлик 0,2÷0,4 санијә әрзиндә тәдричлә дәjишир. Бу һал мүһәррикләрин сүрүшмәсинин артма дәрәчәсини азалдараг онларын ишинә әлверишли истигамәтдә тә'сир едир.

Jүкүн динамик характеристикасынын һесабаты електрик машынларында кечид просесләринин үмуми нәзәриjjәси әсасында апарылмалыдыр. Асинхрон мүһәррикләрлә jанашы синхрон мүһәррикләрин дә кениш тәтбиг олундуғуну нәзәрә алараг һесабаты һәр ики мүһәррик типи үчүн апармаг лазымдыр, лакин үмумилик хатиринә биз әсасән синхрон мүһәррикә бахачағыг, чүнки лазым олдугда ондан асинхрон мүһәррикә кечмәк чәтинлик төрәтмәз. Кечид просесләринә үчфазлы симметрик кәркинлиjин ани дәjишмәси нөгтеjи-нәзәриндән бахачағыг.

Кәркинлиjин ани дәjишмәсинә нормал кәркинлик үзәринә һәмин тезликли кәркинлиjин әлавә едилмәси кими бахмаг олар. Буна уjғун олараг, синхрон мүһәррикин кечид просеси вахтындакы чәрәjанлары әввәлки гәрарлашмыш чәрәjанла ани тәтбиг олунмуш кәркинлиjин jаратдығы чәрәjанын чәминә бәрабәр олачагдыр.

Статорун чәрәjанлары роторла бирликдә фырланан d вә q координат системиндә гәрарлашмыш режимдә белә тә'jин олунур.

$$i_{d_0}=\frac{e_0}{X_d}-\frac{U_0}{X_d}\cos\theta_0 \qquad (23)$$

$$i_{q_0}=\frac{u_0}{x_q}\sin\theta_0$$

Бурада, e_0—jүксүз ишләмә ehг олуб, тә'сирләнмә чәрәjанынын дәфәлиjинә бәрабәрдир;

U_0—башланғыч режиминин кәркинлиjи;

θ_0—башланғыч режиминин араланма бучағы олуб, күч ифадәсиндә тапылыр.

ΔU кәркинлиjинин jаратдығы Δi чәрәjанынын үмуми шәкилдә бүтүн факторларын нәзәрә алынмасы илә тә'jини бөjүк чәтинликләрлә әлагәдардыр. Тәтбиги мәсәләләр үчүн бу чәрәjанын ифадәси, статорун актив мүгавимәтини вә апериодик чәрәjаны нәзәрдән тулламагла, кифаjәт гәдәр садәләшдирилә биләр. Апериодик чәрәjан сонра асанлыгла тапылыб нәзәрә алына биләр. Бу һалда аларыг:

$$\Delta i_d=-\frac{\Delta U_q}{Z_d(P)},\quad \Delta i_q=\frac{\Delta U_d}{Z_d(P)} \qquad (24)$$

ΔU кәркинлиjи синхрон тезлиjә малик олдуғундан d вә q координат системиндә даими кәркинликдир. Она көрә Δi_d вә Δi_q ифадәләринин әсли

$$\frac{1}{Z_d(p)}\text{ вә }\frac{1}{Z_q(p)}$$

ифадәләринин әсли илә тә'jин олуначагдыр. $\frac{1}{Z_d(p)}$ вә $\frac{1}{Z_q(p)}$-нин әсилләрини (24)-дә jеринә гojараг чәрәjанларын ифадәләрини тапырыг:

$$\left.\begin{aligned}\Delta i_d&=-\Delta U_q\left[\frac{1}{X_d}+\left(\frac{1}{X'_d}-\frac{1}{X_d}\right)e^{-\frac{t}{T'_d}}+\left(\frac{1}{X''_d}-\frac{1}{X'_d}\right)e^{-\frac{t}{T''_d}}\right]\\ \Delta i_q&=\Delta U_d\left[\frac{1}{X_q}+\left(\frac{1}{X''_q}-\frac{1}{X_q}\right)e^{-\frac{t}{T'_q}}\right]\end{aligned}\right\} \qquad (25)$$

үмуми чәрәjан:

$$i=\sqrt{(i_{d0}\pm\Delta i_d)^2+(i_{q0}\pm\Delta i_q)^2}$$

(—) ишарәси кәркинлиjин дүшмәси һалында, (+) исә кәркинлиjин галхмасы һалында көтүрүлүр. (i) чәрәjаны ejни заманда статорун амплитуд вә ja ефектив фаз чәрәjаны (i_a)-дыр. (i_a-i_{a0}) чәрәjанлар фәрги T_a заман сабитилә сөнән апериодик чәрәjанын башланғыч гиjмәтини верәчәкдир. Һәмин апериодик чәрәjан үмуми i_a чәрәjаны илә чәмләнәрәк статорун үмуми чәрәjанынын дәjишмә ганунуну тә'jин едәчәкдир.

Кәркинлик гәфләтән дәjишәркән асинхрон мүһәррикин өзүнү апармасы да синхрон мүһәррикдәки кими өjрәнилир, анчаг бурада синхрон мүһәррикдән фәргли олараг, нәзәрә алынмалыдыр ки, ротор сүрүшмә илә фырланыр вә бу фырланма кечид просеси заманы дәjишир. Кечид просесинин тәнликләрини сүрүшмәнин дәjишмәсини нәзәрә алмаг шәрtилә һәлл етмәк үчүн ардычыл интерваллар үсулундан истифадә едир вә заман интервалыны $\Delta t=0{,}05$ *сан* гәбул едирик. Һәр интервал мүд-

дәтиндә сүрүшмәни сабит вә һәмин интервалын башланғычындакы гиҗмәтә бәрабәр гәбул едирик. Бу интервалын сонундакы кәркинлиҗи тапыб, һәмин кәркинлиҗә көрә ондан сонра кәлән интервалын сүрүшмәсини һесаблајырыг вә б. к. Бу гаҗда илә кәркинлик вә сүрүшмәнин кечид просеси вахтындакы гиҗмәтләри тапылыр.

Чәрәјанын җухарыда көстәрилмиш d, q координат системләриндәки тәнликләрини асанлыгла асинхрон мүһәррик үчүн дәҗишдирмәк олар. Асинхрон мүһәррикә һамар вә тә'сирләндиричи долағы олмаҗан d вә q охлары үзрә симметрик сакитләшдиричи долаға малик олан роторлу синхрон мүһәррик ким бахмаг олар. Бу һалда сакитләшдиричи долаг елә асинхрон мүһәррик роторунун долағыдыр.

Асинхрон мүһәррикин бу хүсусиҗјәтләрини нәзәрдә тутараг алырыг:

$$i=\frac{U}{(1-s)Z_d(p)}e^{j(st+\theta_0)} \qquad (26)$$

бурада, $Z_d(p)=X_d\frac{T'_dp+1}{T'_{do}+1}$

i_a чәрәјанының гәрарлашмыш гиҗмәтинин ифадәсини (26) ифадәсинә $p=js$ гојмагла ала биләрик. Онда

$$i_0=\frac{U}{(1-s)X_d}\sqrt{\frac{1+s^2T'^2_{do}}{1+s^2T'^2_d}}e^{j(st+\theta_0-\alpha)} \qquad (27)$$

i_0-ы $e^{j(1-s)t}$-җә вурмагла ону статорун „a“ фазының фырланмаҗан охуна кәтирмәк олар ки, онун да проҗексиҗасы „a“ фазының гәрарлашмыш чәрәјанының ани гиҗмәтини верир:

$$i_{a0}=\frac{U}{(1-s)X_d}\sqrt{\frac{1+s^2T'^2_{do}}{1+s^2T'^2_d}}\cos(t+\theta_0-\alpha) \qquad (28)$$

i чәрәјанының сәрбәст мүрәккәбәсини тапмаг үчүн (26) тәнлиҗиндә кәркинлиҗин оператор ифадәсини җеринә гоҗуруг

$$Ue^{j(st+\theta_0)}=Ue^{j\theta_0}\frac{p}{p-js}$$

вә чәрәјанын әслини, статорун „a“ фазының фырланмаҗан охуна кәтирилмиш шәкилдә тапырыг:

$$i_c=-\frac{U}{1-s}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+s^2T'^2_d}}\left(\frac{1}{X'_d}-\frac{1}{X_d}\right)e^{-\frac{t}{T'_d}}e^{j[(1-s)t+\theta_0+\alpha_0]} \qquad (29)$$

бурада: $\alpha_0=\text{arc tg}sT'_d$

(26)—(29) ифадәләриндә кәмиҗјәтләрин ишарәләри синхрон машынлардакы ким гәбул олунмушдур. Лакин онлар чох асанлыгла асинхрон машын үчүн дә ајдынлашдырыла биләр. Белә ки,

$$X_d=X_0+X_1 \qquad X'_d=X_к$$

$$T'_{do}=\frac{X'_2+X_0}{\omega r'_2} \qquad T'_d=\frac{X_к}{X_0+X_1}\cdot T'_{do}$$

Бурада: X_0 — магнитләнмә реактансы,

X_1 вә X'_2 — статор вә роторун сәпәләнмә реактанслары,

r'_2 — роторун статора кәтирилмиш актив мүгавимәтидир.

Бүтүн бу кәмиҗјәтләр асинхрон мүһәррикин параметрләри ким мә'лумдур.

Белә ликлә, (28) ифадәсиндән әввәлчә, $U=U_0$ вә сонра да $U=\Delta U$ гоҗмагла, „a“ фаз чәрәјанының гәрарлашмыш гиҗмәтини, сонра исә гәфләтән тәтбиг олунмуш ΔU кәркинлиҗинә уҗғун гиҗмәтини тапырыг. Сонра (29) ифадәсиндән, $U=\Delta U$ гиҗмәтини гоҗмагла, сәрбәст i_c чәрәјанының тапырыг.

Үмуми чәрәјан белә тапылачагдыр:

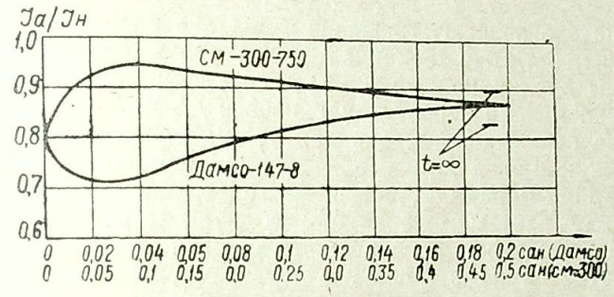
$$i_a=i_{a0}+\Delta i+\Delta i_c$$

Апериодик чәрәјанын башланғыч гиҗмәти

$$I_a=-(\Delta i+\Delta i_c)t=0$$

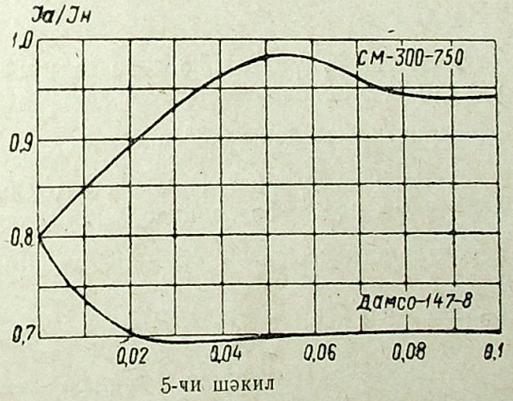
олачаг вә T'_d заман сабитилә сөнәчәкдир.

Мисал олараг нефт рајонунда компрессор стансиҗасының енержисистем җарымстансиҗасындан $Z_c=0{,}145+j1{,}305$ *ом* мүгавимәти мәсафәсиндә олан СМ-300—750 типли синхрон мүһәррикин $P=190$ *квт*, $e_0=2$, $U=1{,}05$ шәраитиндә вә ДАМСО-147—8 типли асинхрон мүһәррикин $I=22{,}7$ *а*, $U=1{,}02$ шәраитиндә ишләҗәркән кәркинлиҗин ани олараг 10 % дәҗишмәси заманы чәрәјанларын дәҗишмә әҗриләрини гурмушуг (4-чү шәкил).



4-чү шәкил

5-чи шәкилдә енержисистем җарымстансиҗасындакы синхрон компенсаторун җүк алтында ачылмасы нәтичәсиндә кәркинлиҗин 7,5% дүшмәси вахты җухарыда көстәрилән мүһәррикләрдә чәрәјанын дәҗишмәсини көстәрән тәчрүби әҗриләр верилмишдир.



5-чи шәкил

Көрүндүҗү ким, һесабат вә тәчрүбә әҗриләри ејни гануниҗјәтә маликдир. Асинхрон мүһәррик чәрәјанының кечид дөврүндә азалмасы ики фактордан, јә'ни статор вә ротор контурларында ачылмыш магнит селинин вә ротор гәфләтән кәркинлик дүшкүсү анында әсас магнит селинин сабит сүрүшмәсинин сабит галмасы илә изаһ олунур. Магнит селинин сабит

галмасы реактив чәрәјанын, сүрүшмәнин сабит галмасы исә актив чәрәјанын азалмасына сәбәб олур. Чох тә'сирләнмиш синхрон мүһәррик јанын азалмасына сәбәб олур. Чох тә'сирләнмиш синхрон мүһәррик чәрәјанынын гәфләтән көркинлик дүшкүсү заманы артмасы исә шәбәкәјә көндәрилән реактив чәрәјанын артмасы илә изаһ олунур.

Кечид просеси әрзиндә чәрәјанын дәјишмә ганунуну биләрәк мүһәррикин учларындакы көркинлијин дәјишмә ганунуну тапмаг олар. Бу көркинлик дојдуручу јарымстансијанын көркинлијиндән јолдакы көркинлик дүшкүсү ΔU_d вә ΔU_q гәдәр аздыр, ја'ни:

$$\Delta U_d = i_q X \pm i_d r \qquad \Delta U_q = i_q r \pm i_d X$$

Бурада r вә X мүһәррикдән гәфләтән көркинлик дүшкүсү баш вермиш јерә гәдәр олан шәбәкәнин актив вә индуктив мүгавимәтидир. Ифадәләрдә үстдәки ишарәләр чох тә'сирләнмиш синхрон мүһәррикә, алтдакылар исә асинхрон мүһәррикә аиддир.

Бир нечә конкрет мисалын һесабаты көстәрир ки, көркинлик дүшкүсүнү һесаблајаркән, јалныз $i_d X$ мүрәккәбәсилә кифајәтләнмәк олар, ја'ни гәбул етмәк олар ки:

$$\Delta U \approx \Delta U_q \approx -i_d X \qquad (30)$$

бурада, $i_d = i_{d0} + \Delta i_d$

олдуғуну нәзәрә алсаг, гәрарлашмыш i_{d0} чәрәјанынын вә кечид Δi_d чәрәјанынын јаратдығы көркинлик дүшкүләрини тапарыг. Мүһәррикин учларындакы көркинлијин тәдричән дүшмәсинин сәбәби Δi_d чәрәјанынын вә хүсусән онун сәрбәст мүрәккәбәси Δi_c-нин олмасыдыр.

Јухарыда верилмиш ифадәләрдән мә'лум олдуғу кими, сәрбәст чәрәјан көркинлијин дүшмә дәрәчәсиндән асылы олараг сыфырдан мүһәррикин ишә бурахмаг чәрәјанына гәдәр дәјишир. Бунунла үјғун олараг Δi_c-нин јаратдығы көркинлик дүшкүсү дә сыфырдан $\Delta i_c X$-ә гәдәр дәјишир. Мәсәлән, шәбәкәнин мүгавимәти $X=0{,}1$ вә ани көркинлијин гәфләтән дәјишмәси 50 % олдугда, $\Delta i_c \approx 2$ алынар вә мүһәррикин учларындакы көркинлик електромагнит кечид просесләрини нәзәрә алмадыгдакы һала нисбәтән 20% јухары олачагдыр. Бу ону көстәрир ки, електромагнит кечид просесләринин хүсусән дәрин көркинлик дүшкүсү һалларында нәзәрә алынмасы вачибдир.

Нәтичә

1. Актив күчүн тезлијә көрә тәнзим ефекти ајры-ајры јүк нөвләри үчүн 0,5÷3 һәдләриндә, үмуми енержисистем јүкү үчүн исә ТЕП характеристикасындакы 0,68 әвәзинә $\frac{dp}{df}=2{,}5$-дир.

2. Реактив күчүн тезлијә көрә тәнзим ефекти ајры-ајры јүк нөвләри үчүн 0÷33 һәдләриндә, үмуми енержисистем јүкү үчүн исә ТЕП характеристикасындакы 0,5—0,72 вә ОРГРЕС-ин вердији $\frac{dQ}{df}\approx 0$ әвәзинә $\frac{dQ}{df}=8{,}0$-дир.

3. Актив күчүн көркинлијә көрә тәнзим ефекти ајрылмыш енержисистем һиссәсинин үмуми јүкү үчүн $\frac{dp}{dU}=0{,}25$-дир. Ајры-ајры јүк нөвләри үчүн исә $\frac{dp}{dU}=0\div 1{,}5$-дир. Һәмин ефект ТЕП әјриләринә

көрә $\frac{dp}{dU}=0{,}6$; ОРГРЕС-ә көрә исә $\frac{dp}{xU}\approx 0$-дыр.

4. Реактив күчүн көркинлијә көрә тәнзим ефекти бүтүн јүк үчүн $\frac{dQ}{dU}=4{,}0$-дүр. Бу ефект ТЕП-ә көрә $\frac{dQ}{dU}=1{,}6\div 2{,}3$-дүр.

5. Мүасир енержисистемләр үчүн јүкүн динамик характеристикаларыны гураркән мүһәррикләрдәки електромагнит кечид просесләри нәзәрә алынмалыдыр. Бу шәраитдә мүһәррикин көркинлији тәдричән дәјишир вә кечид просесинин кетмәси хејли јүнкүлләшир.

Ф. Г. Гусейнов, Т. Н. Гаджиев

Статические и динамические характеристики нагрузки энергосистем

РЕЗЮМЕ

В настоящее время при расчетах режимов энергосистем пользуются типовыми статическими и динамическими характеристиками нагрузок, составленными Теплоэлектропроектом (ТЭП) расчетным путем. Но типовые характеристики ТЭП построены со многими допущениями, малопригодными для современных нагрузок энергосистем.

В резюмируемой статье приводятся результаты проведенных теоретических и экспериментальных работ по исследованию характеристик нагрузок энергосистем по напряжению в пределах $(0{,}8—1{,}1)U_н$, а по частоте $(0{,}9—1{,}02)f_н$.

В статье рассмотрено влияние напряжения и частоты на потребляемые активные и реактивные мощности асинхронных и синхронных двигателей и определены их выражения в виде (5), (10), (14), (16), (22).

С целью экспериментального исследования статических характеристик в системе Азэнерго проведены соответствующие опыты.

Для этого была выделена южная часть энергосистемы с общей мощностью около 120 *мва*, в которую входили 2 электростанции и 6 подстанций 110 и 220 *кв*.

Частота при этом опыте менялась в пределах 45,6÷51 *гц* при неизменном напряжении, а напряжение в пределах 100—121 *кв* при неизменной частоте.

Результаты измерений обработаны, и построены характеристики $P_1=F(U)$, $Q=F_1(U)$ и $P_1=\varphi(f)$, $Q_1=\varphi_1(f)$ как для отдельных видов потребителей, так и для всей нагрузки в относительных единицах. За единицу приняты активная и реактивная мощности при $U=U_н$ и $f=f_н$.

На рис. 2 и 3 приведены экспериментальные статические характеристики нагрузки исследуемой энергосистемы (ЭС) по частоте и напряжению, здесь же приведены „типовые характеристики ТЭПа“ для нагрузки 6 и 110 *кв* сетей.

В табл. 1 приводится состав нагрузки исследованных фидеров и части энергосистемы в день опыта.

Из сравнения полученных экспериментальных кривых с соответствующими расчетными кривыми ТЭПа следует: а) регулирующий эффект по активной мощности для отдельных видов находится в

пределах 0,5÷3, а для суммарной нагрузки составляет $\frac{dP}{df}=2{,}5$; б) регулирующий эффект по реактивной мощности для отдельных видов нагрузок находится в пределах 0÷33, а для суммарной нагрузки исследуемой части энергосистемы составляет $\frac{dQ}{df}=0{,}8$; в) регулирующий эффект по активной мощности для выделенной части энергосистемы составляет $\frac{dP}{dU}=0{,}25$, а для отдельных фидеров $\frac{dP}{dU}=0{,}0\div1{,}5$; г) регулирующий эффект реактивной мощности всей нагрузки по напряжению составляет $\frac{dQ}{dU}=4{,}0$.

В статье рассматривается также поведение синхронных и асинхронных двигателей при внезапном изменении напряжения.

В опубликованной литературе динамическая характеристика нагрузки по напряжению определяется без учета электромагнитной инерции двигателей, что вносит определенную погрешность в результаты расчета, в особенности в настоящее время, когда в сети энергосистемы и потребителей широко применяются быстродействующие релейные защиты и автоматика, позволяющие ограничить время переходных процессов десятыми долями секунды.

Произведенные нами опыты показывают, что при сбросах или набросах реактивной мощности напряжение на зажимах двигателей, отдаленных от этих подстанций реактанцем около 10—15%, уменьшается плавно в течение 0,2÷0,4 *сек*. На базе общей теории переходных процессов электрических машин произведен расчет динамических характеристик нагрузки и получены зависимости изменения токов и напряжения за время переходного процесса в виде (28), (29), (30).

Причиной постепенного изменения напряжения на зажимах двигателя является наличие свободного тока Δi_c. Например, при сопротивлении сети от места приложения—ΔU до двигателя, равном 0,1, и посадке напряжения на 50% ток $\Delta i_c \approx 2$, напряжение на зажимах двигателя будет примерно на 20% выше, чем его значение, определяемое с пренебрежением электромагнитных переходных процессов, что свидетельствует о необходимости учета переходного процесса, в особенности, при глубоких посадках напряжения.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

М. А. БАГИРОВ, Г. В. ВЕЧХАЙЗЕР

ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НЕФТЯНЫЕ ПЛАСТЫ В ЦЕЛЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ НЕФТЕОТДАЧИ

Применение вторичных методов добычи нефти еще не решает проблемы полного использования запасов нефти в пласте.

Опыт эксплуатации нефтяных месторождений показывает, что даже при осуществлении наиболее рациональных условий разработки в недрах остается около 40%, а в ряде случаев и большее количество не поддающейся извлечению нефти. Так, для нефтяных месторождений Азербайджана, приуроченных к свите КС, нефтеотдача не превышает 35—40%, а по майкопской свите нефтеотдача особенно низка—35—20%[1].

Это указывает насколько актуальной является проблема извлечения остаточной нефти из нефтяных залежей.

Из методов, предложенных для полного извлечения остаточной нефти, наиболее перспективным является вариант термический, основанный на создании внутри пласта движущегося очага горения. В этом случае тепло, выделяемое за счет частичного сгорания нефти в пласте, используются для снижения вязкости нефти и является тем фактором, который способствует ее вытеснению к участкам пласта, удаленным от зоны горения.

Для создания первоначального очага горения существуют различные способы разогрева пласта. С этой целью используются разнообразные устройства (газовые горелки, электронагревательные агрегаты и т. д.), которые до подачи окислителя (воздуха) разогревают за счет теплопередачи нефтяной пласт до необходимой температуры вспышки. Наиболее трудным при этом является поддержание горения в нужном направлении и повторное возбуждение горения в пласте, если по каким-либо причинам оно прекратилось. Несмотря на указанные трудности за последние годы в зарубежной практике делаются попытки использовать термический метод с движущимся очагом горения на ряде промышленных залежей с целью интенсификации нефтедобычи [3].

В Энергетическом институте Академии наук Азербайджанской ССР в последнее время проводились исследования по использованию электрического тока для подземного электротермического воздействия на истощенные нефтяные пласты.

Основным в этих исследованиях было использование электрического тока высокого напряжения для непосредственного воздействия

[1] Сведения о нефтеотдаче приводятся по данным АзНИИ по добыче.

на нефтяной пласт с целью получения в нем скоксованной высокотемпературной зоны, которая затем используется для создания устойчивого горения в пласте при подаче воздушного дутья.

В проведенных лабораторных исследованиях была установлена принципиальная возможность образования скоксованной высокотемпературной зоны в нефтеносных породах. Исследования показали, что получение скоксованной зоны в толще нефтеносной породы сводится к процессу пробоя породы электрическим током высокого напряжения. Пробой в породе между размещенными в ней электродами развивается первоначально в виде тонкого канала, который в последующем удается расширить пропусканием через него длительно больших токов.

Результаты этих исследований изложены в статьях [1, 2].

Ниже излагаются результаты исследований, проведенных над нефтеносными пластами в естественных условиях. Целью этих исследований являлось установление (основных электрических параметров, характеризующих процесс образования скоксованной высокотемпературной зоны в подземном пласте. Приводится также приближенный расчет термического расширения скоксованной зоны пласта между электродами (канала), если процесс расширения осуществлять лишь электрическим током.

Опыты проводились в районе Кирмаку НПУ Лениннефть. На выбранном участке горизонты нефтеносной кирмакинской свиты выходят на дневную поверхность. Это обстоятельство позволяло производить опыты на небольшой глубине. После их окончания опытная площадка вскрывалась для определения зоны воздействия электрического тока на пласт и размеров скоксованных зон.

На опытной площадке слои нефтеносных песков чередуются со слоями глины, причем толщина слоев песка и глины колеблется от нескольких сантиметров до 0,6—0,8 *м*. Углы падения слоев составляют 10—15°. Толщина одного и того же пласта не остается постоянной. Отдельные прослойки песка или глины временами утолщаются или совсем исчезают, что было недостатком выбранной опытной площадки, так как затрудняло попадание электродов в один и тот же нефтеносный пласт.

Среднее нефтесодержание кирмакинских песков на опытной площадке составляет 7—16% по весу, а влагосодержание—2—13%. Нефть, содержащаяся в песках, относится к числу тяжелых (удельный вес 0,94—0,98), сильно окисленных.

Экспериментальная установка

Электрическая схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Электрическая схема обеспечивала подачу на электроды напряжения разных величин при соответствующей мощности в зависимости от режима ведения процесса.

Напряжение с линии 6 *кв* через разъединитель и масляный выключатель подавалось на понижающий трехфазный трансформатор T_1 6/0,4 *кв*, 320 *ква*. От низкой стороны трансформатора напряжение подавалось через контактор K на рубильники P_1 и P_2.

Включением рубильника P_1 или P_2 осуществлялась подача на трансформаторы T_2 и T_3 фазового или линейного напряжения. В соответствии с этим на высокой стороне трансформаторов получалось напряжение 1,2; 2,1; 3,7 или 6,3 *кв*.

Однофазный трансформатор T_4 (9/0,2 *кв* 75 *ква*) включался через рубильник P_6 на напряжение 220 *в* и имел с высокой стороны ряд ответвлений, позволяющих изменять ступенчатое напряжение от 0,75 до 9 *кв*.

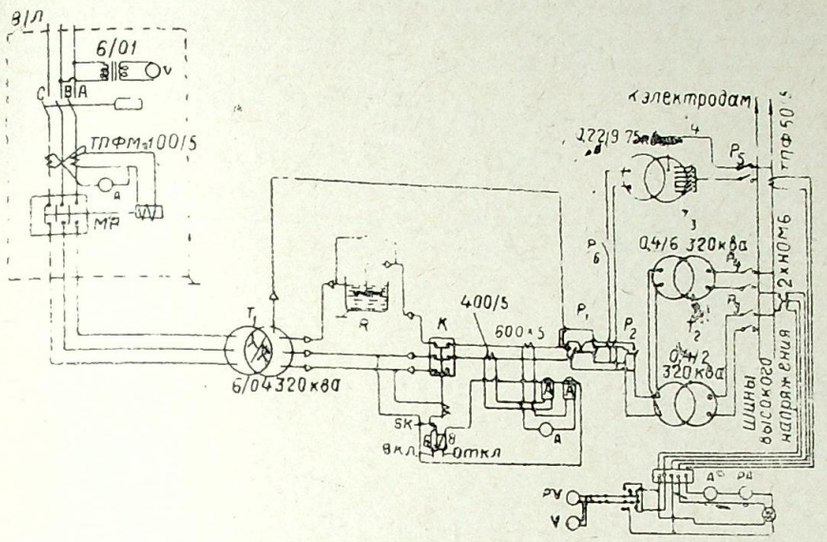


Рис. 1
Схема экспериментальной установки

Выбор соответствующего напряжения для подачи на электроды осуществлялся разъединителями P_3, P_4 и P_5.

Для более плавного регулирования напряжения последовательно в один из фазовых проводов, идущих от трансформатора T_1, включался водяной реостат R.

Как видно из схемы, на экспериментальной установке предусмотрена возможность измерять ток, мощность и напряжение между электродами и каждого электрода относительно земли.

Схема снабжена соответствующей релейной защитой, как со стороны высокого, так и низкого напряжений.

В опытах использовалась система двух электродов, между которыми происходило образование скоксованных токопроводящих участков в пласте. В качестве электродов применялись металлические трубы диаметром 1,25″ длиной 1,5 *м* с привинченным конусообразным наконечником из жаростойкой стали диаметром 5 *см* и длиной 15 *см*.

Образование высокотемпературной зоны в пласте электрическим током

Для изучения процесса образования высокотемпературной зоны в пласте было проведено 7 опытов для различных условий. Ниже дается описание одного из характерных опытов который проводился при расстоянии между электродами в 8 *м*.

На рис. 2 показана схема расположения на опытной площадке скважин с электродами и контрольных скважин для наблюдения за изменением нефтеотдачи пласта. Оба электрода были размещены в

одном и том же слое нефтеносного песка, в скважинах диаметром 20—25 *см* и глубиной около 0,8 *м*, с таким расчетом, чтобы конец

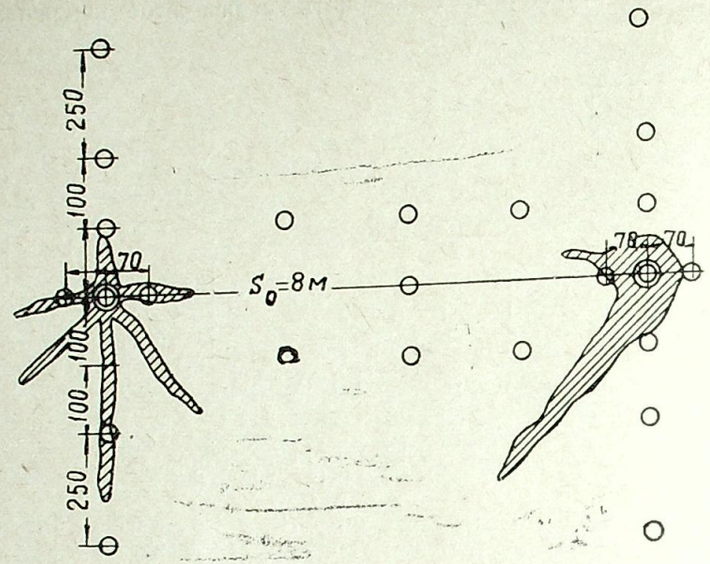


Рис. 2

электрода оказался примерно в середине нефтесодержащей прослойки. Для получения хорошего контакта электродов с породой наконечник электродов засыпался нефтеносным песком вместе с коксом.

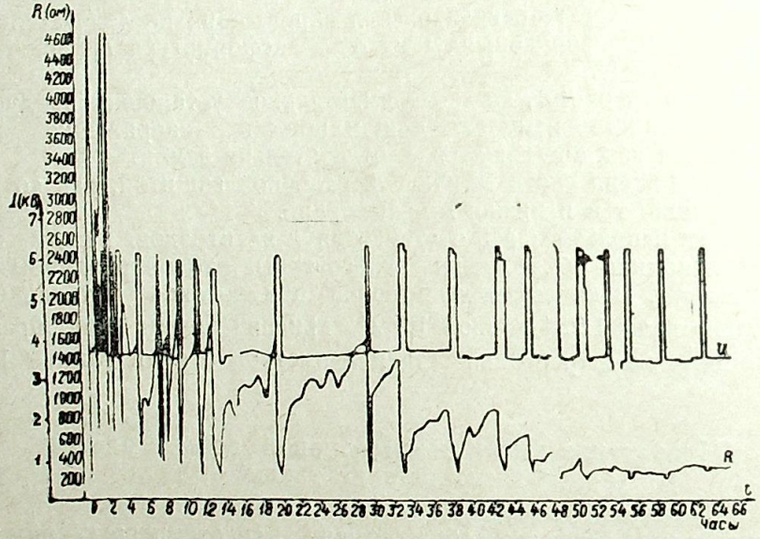


Рис. 3

Основным показателем, по которому контролировался ход процесса, было изменение сопротивления между электродами.

Во всех проведенных опытах, если исключить скачкообразные изменения сопротивления, вызванные установлением контакта электрода с породой, наблюдалась следующая картина изменения сопротивления во времени: в момент включения напряжения сопротивление между электродами снижалось, затем возрастало, а позже происходило медленное его снижение.

Снижение сопротивления между электродами и одновременно возрастание выделяемой мощности являются основными признаками нормального хода процесса, т. е. образования скоксованного канала между электродами.

Результаты измерения электрических параметров процесса приведены на рис. 3 и 4.

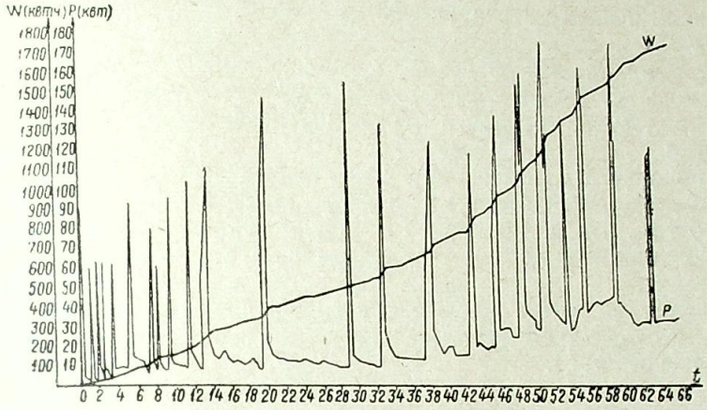


Рис. 4

В этом опыте, как и в других, сопротивление между электродами в момент включения напряжения имело низкую величину 144 *ома*. Через 10 *мин.*, за счет подсушки приэлектродных слоев пласта, сопротивление практически при том же напряжении 3,7 *кв* резко возросло до 3100 *омов*.

После периода скачкообразного изменения сопротивления наступают менее резкие изменения сопротивления при изменениях напряжения. С этого же момента наблюдается общая тенденция к снижению сопротивления, что видно из графика.

Начиная с 51 часа от начала опыта, снижения сопротивления практически не происходит и величина сопротивления незначительно колеблется вокруг среднего значения 300 *омов*.

Мощность, затрачиваемая в междуэлектродном пространстве, в процессе опыта возрастает. Если исключить колебания мощности, которые происходят при повышениях напряжения и доходят до 150—160 *квт* в отдельные непродолжительные периоды времени (0,5—1 *ч*), то потребляемая мощность возрасла от 5 *квт* в начале опыта до 40 *квт* в конце его.

Опыт продолжался 66 часов непрерывно. В период опыта было израсходовано около 1900 *квчт* электроэнергии при средней мощности 28,5 *квт*.

При вскрытии опытного участка после окончания опыта было обнаружено, что вокруг контактной части электродов в пласте образовались закоксованные зоны диаметром около 0,3—0,5 *м*, от которых радиально во все стороны отходят каналы диаметром 10—20 *см*. Длина этих каналов колеблется от 0,5 до 2 *м*. Каналы по сечению

неоднородны. Центральная часть их представляет кварцеграфитовую сплавленную массу, по периферии располагается обугленная зона. За границей скоксованной зоны находится тонкое кольцо подсушенной породы. Вне каналов пласт достаточно влажный.

Такая разница в структуре канала связана с тем, что по сечению канала устанавливаются различные температуры.

Наличие многочисленных скоксованных каналов свидетельствует, что при ведении процесса не вся подводимая электроэнергия расходуется в основном канале, развивающемся в осевом направлении между электродами.

Развитие направленного канала между электродами в опытах затруднялось ввиду ограниченной мощности экспериментальной установки.

В этом опыте, как и во всех других, наблюдалось выделение нефти, воды и газа в контрольных лунках. Наибольшее расстояние от электродов, на котором в лунках наблюдалась нефть, составляло около 4 *м*.

Важно отметить, что в опытах нефть выделялась главным образом в лунках, расположенных по восстанию пласта. Это свидетельствует о том, что приток нефти в лунки происходит не под действием гравитационных сил, а в результате электротермического воздействия.

Проведенные опыты подтвердили возможность получения в естественных условиях высокотемпературной зоны в пласте с помощью электрического тока.

Процесс расширения канала при нагреве его электрическим током

Для установления пределов, до которых целесообразно расширять полученный высокотемпературный скоксованный канал, был проведен расчет возможных диаметров канала при различных токах и расчет необходимого при этом времени. Было предположено, что распространение тепла в радиальном направлении от стенок канала происходит гораздо быстрее, чем увеличение радиуса канала. Предполагалось, что расширение канала при заданной величине тока и толщине зоны воздействия происходит до тех пор, пока потери тепла на поверхности канала не окажутся равными теплу, выделяющемуся внутри канала.

Можно считать с достаточной степенью приближения, что все тепло выделяется в канале, температура наружной стенки которого равна примерно 750° С. Это следует из того, что при температурах выше 750° С удельное сопротивление породы остается практически постоянным ($\rho=20$ *ом·см*), а ниже этой температуры удельное сопротивление породы резко возрастает.

Цилиндрическую область, ограниченную температурой в 750° С, и будем рассматривать как канал.

Положим, что в некоторый момент времени радиус канала (температура поверхности t_1) составляет r_{t_1}, а температура в t_2 распространилась на расстояние в l *см* от стенки канала (рис. 5).

Рассмотрим баланс тепловыделения под действием электрического тока, протекающего по каналу, и теплопотерь от стенки канала, считая, что теплопотери происходят за счет теплопроводности, и рассматривая процесс теплопередачи как установившийся процесс.

Мощность, выделяемая на единице длины цилиндрического канала, равна

$$Q_{\text{выд}} = 0{,}24\,\frac{\rho}{\pi r_{t_1}^2} I^2. \qquad (1)$$

Мощность, теряемая с единицы длины канала, равна

$$Q_{\text{пот.}} = \frac{\lambda(t_1 - t_2)}{\ln \dfrac{r_{t_2}}{r_{t_1}}}\, 2\pi \qquad (2)$$

где λ—коэффициент теплопроводности породы.

До тех пор, пока тепловыделение превышает теплопотери, идет повышение температуры на стенке канала, с одновременным увеличением радиуса зоны с температурой 750° С, что эквивалентно расширению канала.

При расширении канала происходит, с одной стороны, увеличение теплопотерь за счет увеличения боковой поверхности, а с другой при поддержании постоянного значения тока I уменьшение выделяемой мощности за счет уменьшения электрического сопротивления канала при увеличении его диаметра.

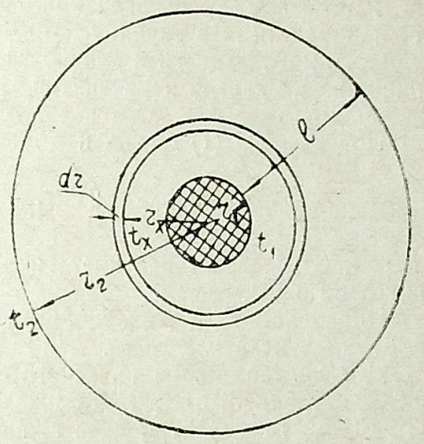


Рис. 5

Для каждого значения величины r_{t_2} существует некоторый предельный радиус канала, при котором тепловыделение становится равным теплопотерям.

Так как после наступления равновесия тепло в канале продолжает выделяться, зона с температурой t_2 продолжает удалятся от центра канала. При неизменном радиусе зоны с температурой t_1 (в момент равновесия $Q_{\text{под.}}=Q_{\text{выд.}}$) продвижение зоны с температурой t_2 увеличивает l толщину слоя между температурами t_1 и t_2.

Увеличение l ведет к уменьшению $Q_{\text{пот.}}$, нарушению равновесия между $Q_{\text{пот.}}$ и $Q_{\text{выд.}}$ и дальнейшему продвижению зоны с температурой t_1, т. е. к увеличению диаметра канала. Таким образом, каждому значению r_{t_2} соответствует определенное значение радиуса канала.

Определим его из равенства

$$Q_{\text{выд.}} = Q_{\text{пот.}}$$

$$0{,}24\,\frac{\rho}{\pi r_{t_1}^2} I^2 = \frac{\lambda(t_1 - t_2)}{\ln \dfrac{r_{t_2}}{r_{t_1}}}\, 2\pi$$

откуда

$$r_{t_1} = \frac{1}{\pi} I \sqrt{\frac{0{,}24\,\rho}{2\lambda(t_1 - t_2)} \ln K} \qquad (3)$$

где

$$K = \frac{r_{t_2}}{r_{t_1}} \frac{l + r_{t_1}}{r_{t_1}}.$$

Значения r_{t_1} и r_{t_2} для некоторых величин l и токов в 100, 500 и 1000 a, при температурах $t_1 = 750°$, $t_2 = 15°$, $\rho = 30$ *ом·см* и $\lambda = 0{,}0033$ *кал/см·сек·град* приведены в таблице.

Ia	100			500			1000	
l, см	50	500	5000	50	500	5000	500	5000
r_{t_1} *см*	40	60	80	125	215	320	200	365	580
r_{t_2}, *см*	90	560	5080	175	715	5320	250	865	5580
T, час	40	2400	$90 \cdot 10^3$	85	3300	$240 \cdot 10^3$	125	$4{,}1 \cdot 10^3$	$240 \cdot 10^3$

Рассчитаем время, необходимое для доведения канала до радиусов, показанных в таблице. Это время можно определить, приравняв тепло, выделяющееся в канале за время dT, теплу, потраченному на расширение канала и увеличение нагрева окружающей породы за это же время.

Подставив в (1) выражение для r_{t_1} из (3) получим

$$dQ_{выд.} = 2\pi\lambda(t_1 - t_2)\frac{1}{\ln K}\,dT.$$

Выделившееся тепло идет на расширение канала и продвижение нагретой зоны.

Определим тепло, необходимое для создания нагретой зоны от поверхности канала до r_{t_2}.

Для нагрева цилиндрического слоя толщиной dr_x, находящегося на расстоянии r_x от центра канала, от первоначальной температуры $t_2 = 15°$ до температуры слоя t_x потребуется тепла

$$dQ' = dG(t_x - t_2)c,$$

где $dG = gdV = g2\pi r_x dr_x$ — масса породы в цилиндрическом слое толщиной dr_x и длиной в 1 *см*;

c, g — теплоемкость и плотность породы;

t_x — температура породы на расстоянии r_x от центра канала, определяемая по формулам для теплопередачи через цилиндрическую стенку, при установившемся потоке тепла

$$t_x = t_1 - (t_1 - t_2)\frac{\ln\frac{r_{t_x}}{r_{t_1}}}{\ln\frac{r_{t_2}}{r_{t_1}}}.$$

После подстановки и интегрирования выражения для dQ' в пределах от r_{t_1} до r_{t_2}, замены r_{t_1} и r_{t_2} их выражением из (1), учета тепла, необходимого для нагрева самого канала до температуры t_1 — $[Q'' = \pi r_{t_1}^2 g\, c\,(t_1 - t_2)]$, получим следующее выражение для тепла, пошедшего на образование канала и нагретой зоны:

$$Q = \frac{0{,}24\,\rho\, gc}{4\pi\lambda} I^2\,(K^2 - 1)$$

При изменении K за время dT на величину dK требуется тепла на нагрев породы:

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial K}dK = \frac{0{,}24\,\rho\, gc}{4\pi\lambda} I^2 2K dK.$$

Приравняв $dQ = dQ_{выд.}$, разделив переменные и взяв интегралы в пределах от 0 до T_1 и соответственно от 1 до K_{T_1}, получим следующее выражение для времени T_1, необходимого для доведения нефтеносной породы до состояния, характеризующегося K_{T_1}:

$$T_1 = bAI^2 \text{ час}, \qquad (4)$$

где

$$b = \frac{0{,}24\,\rho\, gc}{8\pi^2\lambda^2(t_1 - t_2)} \cdot \frac{1}{3600}, \quad \frac{час}{a}$$

$$A = K^2 \ln - \frac{1}{2}K^2 + \frac{1}{2}$$

Для ранее приведенных значений t_1, t_2, λ, ρ, $c = 0{,}25$ *кал/г·град* и $g = 2$ *г/см*^{3} $b = 1{,}55 \cdot 10^{-3}$ *час/а*.

В таблице показано время, необходимое для получения соответствующих размеров каналов и зон воздействия, рассчитанное по формуле (4).

Как видно из таблицы, для доведения породы до состояния, когда тепло распространяется от канала на расстояние 5 *м*, требуется около 7—8 месяцев при токах, лежащих в пределах 100—1000 *а*. Такое состояние можно считать установившимся, так как дальнейшее увеличение зоны воздействия требует очень большого времени, измеряемого годами.

Отсюда следует, что одно электрическое воздействие на пласт не рентабельно. Необходимо сочетать предварительный нагрев пласта электрическим током с последующей подачей воздушного дутья для возбуждения передвигающего очага горения в пласте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багиров М. А., Вечхайзер Г. В., Джуварлы Ч. М. Исследование возможности электротермического воздействия на истощенные нефтеносные пласты. НХ, 1959, № 5.

2. Джуварлы Ч. М., Багиров М. А. К вопросу о возможности электротермического воздействия на нефтеносный пласт. „Изв. АН Азерб. ССР", 1958, № 1.

3. Mc. Niel J. and Nelson T. Thermal Methods provide 3 Ways to improve oil recovery „Oil and Gas", 1959, vol. 57, № 3.

М. Ә. Бағыров, Г. В. Вечхајзер

Нефтвермәни артырмаг мәгсәдилә нефт лајына електротермики тә'сир

ХҮЛАСӘ

Нефт јатагларынын истисмар едилмәси тәчрүбәси көстәрир ки, нефт чыхарылдыгда онун 40%-и јерин дәринликләриндә галыр вә бу нефт ади үсулларла чыхарыла билмир. Нефти тамамилә јердән чыхармаг үчүн ишләдилән үсуллардан ән бөјүк кәләчәјә малик олан үсул термики үсулдур. Бу үсул лајын дахилиндә мүтәһәррик јанма очағынын әмәлә кәтирилмәсинә әсасланыр.

Сон заманлар Азәрбајчан ССР ЕА Енеркетика Институтунда нефт лајларына електротермики тә'сир етмәк мәсәләләри тәдгиг едилмишдир.

Тәдгигатдан әсас мәгсәд лајда јүксәк кәркинликли електрик чәрәјаны васитәсилә јүксәк температурлу кокслашмыш зона алмагдыр. Һәмин зонаны алмагдан мәгсәд она һава үфүрмәклә лајда дајаныглы јанма әмәлә кәтирмәкдир.

Мәгаләдә тәбии шәраитдә нефт лајлары үзәриндә апарылан тәдгигатларын нәтичәләри верилир. Тәдгигатдан мәгсәд кокслашмыш зонанын електрик параметрләрини тә'јин етмәк иди.

Мәгаләдә, ејни заманда, јалныз електрик чәрәјанынын тә'сири нәтичәсиндә кокслашмыш зонанын кенишләндирилмәсинин тәхмини һесабаты верилир.

Тәчрүбә саһәси олараг Лениннефт мә'дәнләри идарәсинин Гырмаку рајону сечилмишдир. Нефт лајлары јерин сәтһинә чыхдығы үчүн тәчрүбәләр аз дәринликдә апарылмышдыр.

Тәчрүби гурғунун електрик схеми 1-чи шәкилдә верилир. Кокслашмыш зона ики електрод арасында әмәлә кәлмишди.

Мүхтәлиф шәраитләрдә 7 тәчрүбә апарылмышдыр. Електродлар арасындакы мүгавимәтин дәјишмәси илә просесә нәзарәт олунурду. Әкәр мүгавимәтин башланғыч замандакы сычрајышла дәјишмәсини нәзәрә алмасаг онун дәјишмәсинин үмуми характери ашағыдакы кими олур.

Електродлара кәркинлик вердикдә әввәлчә мүгавимәт кичилир, сонра исә артыр вә нәһајәт, јаваш-јаваш азалыр. Мүгавимәтин азалмасы илә ејни заманда күчүн артмасы просесин нормал кетмәсини көстәрир.

Просесин өлчүлмүш електрик параметрләри 3-чү вә 4-чү шәкилләрдә көстәрилмишдир.

Тәчрүбәләрин һәр бири 20—40 *квт* күч шәраитиндә 40—80 саат давам едирди. Бә'зи һалларда гыса мүддәт әрзиндә күч 150—160 *квт*-а чатырды.

Тәчрүбә саһәсини газдыгда електродларын әтрафында узунлуглары 2 *м*-ә гәдәр олан кокслашмыш зоналар мүшаһидә едилмишдир.

Тәчрүбә заманы електродлардан 4 *м*-ә гәдәр олан мәсафәләрдәки, дешикләрдән нефт, су вә газ чыхдығы мүшаһидә едилмишдир.

Апарылмыш тәчрүбәләр көстәрди ки, тәбии шәраитдә електрик чәрәјаны васитәсилә лајларда јүксәк температурлу зона алмаг мүмкүндүр.

Кокслашмыш каналы чәрәјан васитәсилә һансы һәддә гәдәр кенишләндирмәнин фајдалы олдуғуну билмәк үчүн мүхтәлиф чәрәјанларда алына билән канал вә она лазым олан заманын һесабаты апарылмышдыр. Һесабат (1) вә (2) дүстурлары васитәсилә апарылмышдыр. Һесабатын нәтичәләри 3-чү чәдвәлдә верилмишдир.

Чәдвәлдән көрүнүр ки, лаја јалныз електриклә тә'сир етмәк фајдасыздыр. Она көрә дә лајда мүтәһәррик јанма очағы алмаг үчүн гыздырдыгдан сонра она һава үфүрмәк лазымдыр.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

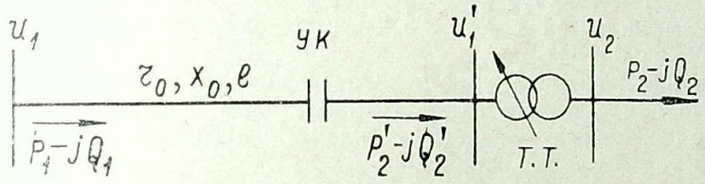
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

О. С. МӘММӘДЈАРОВ

НИСБӘТӘН УЗУН ЕЛЕКТРИК ВЕРИЛИШ ХӘТЛӘРИНИН КЕЧИРМӘ ГАБИЛИЈЈӘТИНИН АРТЫРЫЛМАСЫ ҺАГГЫНДА

Електрик верилиш хәтләрини лајиһә етдикдә иллик истисмар хәрчләринин минимумуну тә'мин етмәк үчүн мәфтилләрин ен кәсијини игтисади чәрәјан сыхлығына ($j_и$) көрә сечирләр. Бунун үчүн дә 5—10 илдән сонра көзләнилән јүкләрә әсасән хәттин максимум чәрәјаныны билмәк лазымдыр.

Енержи системләри јүкүнүн 5—10 илдән сонракы гијмәтләри чох вахт дәгиг мә'лум олмур. Бунун нәтичәсиндә бә'зи истисмарда олан хәтләрин јүкү һесабланмыш јүкдән хејли артыг, хәттин чәрәјан сыхлығы игтисади чәрәјан сыхлығындан чох олур вә нисбәтән узун електрик верилишиндә бөјүк кәркинлик дүшкүсү алыныр.



1-чи шәкил

Чәрәјанын игтисади сыхлығына ујғун кәлән максимум јүк заманы хәтдә алынан кәркинлик иткисиндә гәбул јарымстансијасы шинләриндә кәркинлијин лазыми сәвијјәси тә'мин едиләрсә, бу чүр хәтти нисбәтән узун хәтт адландыраг. Белә хәтләрин узунлуғунун тапылмасына 1-чи шәкилдән бахаг.

Максимум $I_м = S \cdot j_и$ чәрәјанда хәттин әввәлиндәки кәркинлик

$$U_1 = U_1' + \Delta U_x$$

гәбул јарымстансијасынын јүксәк тәрәфиндәки кәркинлик

$$U_1' = (U_2 + \Delta U_т) \cdot \kappa_т$$

Трансформаторун һәгиги трансформасија әмсалы шәбәкәнин јүксәк ($U_{1н}$) вә алчаг ($U_{2н}$) номинал кәркинликләринә вә трансформаторун тәнзим һәдди n көрә:

$$\kappa_т = \frac{(1 \pm n) U_{1н}}{1{,}1 \cdot U_{2н}}$$

ифадәсиндән тапылыр. Кәркинлији јүк алтында тәнзим олмајан трансформаторун тәнзим һәдди $n=0\div\pm0{,}05$, тәнзимчи трансформаторларынкы исә $n=0\div\pm0{,}125$.

Максимум чәрәјан заманы хәтдәки кәркинлик итгиси

$$\Delta U_x=\sqrt{3}\,I_{мак}(r_0\cdot\cos\varphi_2'+x_0\cdot\sin\varphi_2')\cdot l$$

вә хәттин әввәлиндәки кәркинлик:

$$U_1=(U_2+\Delta U_т^{\mp})\frac{(1\pm n)U_{1н}}{1{,}1\cdot U_{2н}}+\sqrt{3}\cdot I_{мак}(r_0\cdot\cos\varphi_2'+x_0\cdot\sin\varphi_2')\cdot l \qquad (1)$$

Јүкүн максимум режиминдә хәттин әввәлиндәки кәркинлији $U_1=1{,}05U_{1н}$, трансформатордакы кәркинлик итгисини $\Delta U_т=0{,}05U_2$, јарымстансијанын алчаг тәрәфиндәки кәркинлији $U_2=1{,}05U_{2н}$ вә кәркинлијин максимум сәвијјәсини тә'мин етмәк үчүн $n=-0{,}05$ гәбул етсәк, нисбәтән узун хәттин узунлуғу (1) ифадәдән белә тапылыр:

$$l=\frac{100\cdot U_{1н}}{\sqrt{3}\,S\cdot j_и(r_0\cdot\cos\varphi_2'+x_0\cdot\sin\varphi_2')}\ [км] \qquad (2)$$

Әкәр нисбәтән узун хәттин максимум јүкүндә чәрәјанын сыхлығы игтисади чәрәјан сыхлығындан артыг оларса, гәбул јарымстансијасынын шинләриндә кәркинлијин дәјишмәсини бурахыла билән сәвијјәдә сахламаг үчүн хәттин кечирмә габилијјәтини артырмаг вә ја әлавә хәтт тикмәк лазым кәлир.

Б. И. Розенберг көстәрмишдир ки, електрик шәбәкәләриндә икинчи хәттин тикилмәси хәттин чәрәјан сыхлығынын игтисади чәрәјан сыхлығындан ән азы 2—2,5 дәфә чох олдугда игтисади тәрәфдән әлверишли олур [1].

Беләликлә, әкәр хәтт истисмара верилдикдән сонра онун јүкү артыб максимум һесабат јүкүндән чох олса, әлавә хәттин тикилишинә гәдәр, хәттин кечирмә габилијјәтинин тәхминән 2—2,5 дәфә артмасы тәләб олуна биләр.

Хәттин кечирмә габилијјәтини артырмаг үчүн синхрон компенсаторлардан, узунуна тутум компенсасијасындан (УК) вә кәркинлији јүк алтында тәнзим едилән трансформаторлардан истифадә етмәк олар. Бу гурғуларын хәттин кечирмә габилијјәтинин артмасына олан тә'сирини тәдгиг едәк. Нисбәтән узун хәттин максимум кечирә билән күчү (2) ифадәдән тапылыр:

$$P_2'=0{,}1\frac{U_{1н}^2}{(r_0+x_0\cdot\operatorname{tg}\varphi_2')\cdot l}\ [квт]$$

Јүкүн күч әмсалыны $\cos\varphi_2'$-дән $\cos\varphi_{2с.к.}'$-ја гәдәр артыран синхрон компенсаторлар васитәсилә хәттин кечирмә габилијјәти

$$\frac{P_{2с.к.}'}{P_2'}=\frac{r_0+x_0\cdot\operatorname{tg}\varphi_2'}{r_0+x_0\operatorname{tg}\varphi_{2с.к.}'} \qquad (3)$$

артыр.

Күч әмсалы $\cos\varphi_2'$-ни 0,8-дән 0,95-ә гәдәр артыран синхрон компенсаторун мүхтәлиф хәтләрин кечирмә габилијјәтинә тә'сири 1-чи чәдвәлдә көстәрилмишдир.

1-чи чәдвәл

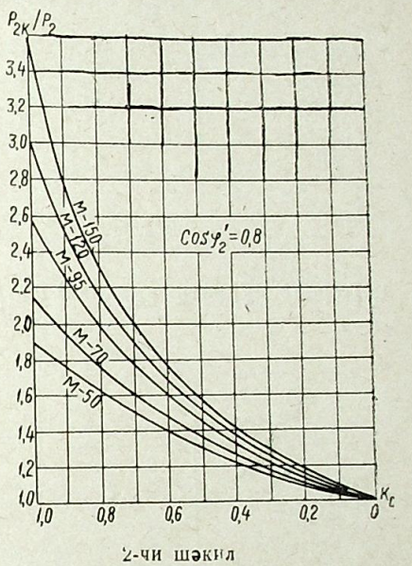
Мәфтилин маркасы	АС-70	АС-95	АС-120	АС-150	М-70	М-95	М-120	М-150
$\frac{P_{2ск}'}{P_2'}$	1,3	1,38	1,45	1,53	1,47	1,54	1,61	1,7

Хәтдә $X_к$ мүгавимәтли ардычыл конденсаторлар гошулубса, хәттин кечирмә габилијјәти

$$\frac{P_{2у.к.}'}{P_2'}=\frac{r_0+x_0\cdot\operatorname{tg}\varphi_2'}{r_0+(1-K_с)\cdot x_0\cdot\operatorname{tg}\varphi_2'} \qquad (4)$$

артыр.

Хәттин компенсасија һәдди $K_с=\frac{X_к}{X}$-дән асылы олараг мис вә полад-алүминиум мәфтилли хәтләрин кечирмә габилијјәтинин артмасы 2-чи вә 3-чү шәкилләрдәки әјриләр илә көстәрилмишдир ($\cos\varphi_2'=0{,}8$ үчүн).



2-чи шәкил

Бу әјриләрдән көрүнүр ки, $K_с=1$ олдугда М-150 маркалы мәфтилли хәттин кечирмә габилијјәти 3,5 дәфә, АС-150 мәфтилли хәттинки исә 2,5 дәфә артыр. Бә'зи сәбәбләрә көрә хәтләрдә компенсасија һәдди 0,4—0,6-дан чох олмур. Одур ки, $K_с=0{,}4$-дә М-150 вә АС-150 маркалы мәфтилли хәтләрин кечирмә габилијјәти тәхминән 40%, $K_с=0{,}6$-да кечирмә габилијјәти М-150 үчүн 75%, АС-150 үчүн 60% артыр.

Инди дә хәттин кечирмә габилијјәтинин артмасына тәнзимчи трансформаторларын тә'сиринә бахаг. Хәтдән максимум кечирилә билән актив күч (1) ифадәјә көрә:

$$P_{2тт}'=\frac{(U_2+\Delta U_т)(1\pm n)\left[U_1-(U_2+\Delta U_т)\frac{(1\pm n)U_{1н}}{1{,}1\cdot U_{2н}}\right]}{1{,}1\cdot(r_0+x_0\cdot\operatorname{tg}\varphi_2')\cdot U_{2н}\cdot l} \qquad (5)$$

олур.

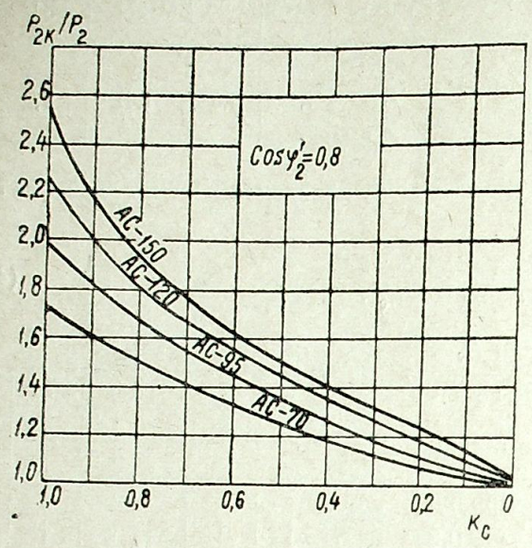
U_1, U_2, $\Delta U_т$ вә n үчүн јухарыда көстәрилән гијмәтләри гәбул етсәк

$$\frac{P_{2тт}'}{P_2'}=10{,}5(1\pm n)-10(1\pm n)^2 \qquad (6)$$

аларыг.

Тәнзимчи трансформатор васитәсилә хәттин кечирмә габилијјәтинин артмасы 2-чи чәдвәлдә верилмишдир.

Белəликлə, ајрылыгда һеч бир гурғу нисбətən узун хəттин кечирмə габилиҗҗətини лазыми гədəр артыра билмир. Буна көрə дə шəбəкədə јени хəттин тикилишинə гədəр тənзимчи гурғулардан бирликдə истифадə етмək лазымдыр.



3-чү шəкил

Кəркинлиҗин тənзим едилмəси үчүн əсас гурғу кими кəркинлиҗи јүк алтында автоматик тənзим едилən трансформаторларын, көмəкчи гурғулар кими сирхрон компенсаторларын (вə ја паралел конденсаторлар) вə узунуна тутум компенсасиҗанын истифадə едилмəси əлверишлидир.

4-чү шəкилдə көстəрилən хəттин кечирмə габилиҗҗətинин артырылмасына бахаг:

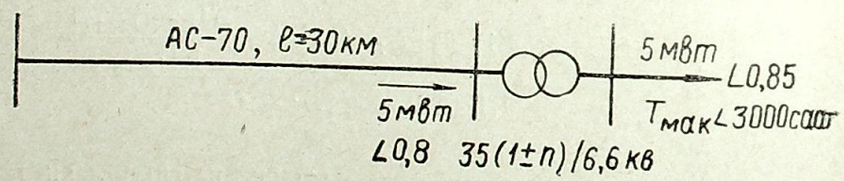
Јүкүн максимумунун истифадə мүддəти $T<3000$ *саат*, $j_н=1,5\frac{a}{мм^2}$.

2-чи чədвəл

n	0	−0,05	−0,1	−0,125	−0,15
$\frac{P'_{2тт}}{P_2}$	0,5	1	1,35	1,6	1,7

Бу һал үчүн АС-70 маркалы мəфтил лазымдыр:

$$\left(r_0=0,45\frac{ом}{км},\quad x_0=0,42\frac{ом}{км}\right).$$



4-чү шəкил

Јухарыда гəбул олунмуш шəртлəрə вə $n=-0,125$ көрə (5) ифадəдən кечирилə билən күч:

$$P_{2тт}=8,1\ мвт$$

Җə'ни тənзим һəдди—12,5% олан тənзимчи трансформатор васитəсилə хəттин кечирмə габилиҗҗətини 1,6 дəфə артырмаг олар. (4) ифадəдən —12,5% тənзим һəддини сахлајараг компенсасиҗа һəдди 60% олан УК илə дə кечирмə габилиҗҗətини 32% артырмаг олар.

$$\frac{P_{2у.к}}{P_2}=\frac{0,15+0,42\cdot0,75}{0,45+(1-0,6)\cdot0,42\cdot0,75}=1,32.$$

Синхрон компенсаторлар васитəсилə хəтдən кечирилən күчү тəхминən 30% артырмаг олар. Белəликлə, тənзимчи трансформатор вə УК (вə ја синхрон компенсатору) васитəсилə хəтдən максимум кечирилə билən күчү $8,1\cdot1,32=11,0$ *мвт*-а гədəр чатдырмаг олар.

Кəркинлиҗи јүк алтында тənзим олмаҗан трансформаторларын чыхымлары $\pm5\%$ олур. Хəттин ахырында чыхымы $n=-0,05$ олан трансформаторлу хəтдən максимум кечирилə билən күч

$$P_2=5,3\ мвт\text{-дыр.}$$

Белəликлə, тənзимчи трансформатор вə УК васитəсилə хəттин кечирмə габилиҗҗətини 2 дəфə артырмаг олар. Бу да əлавə хəттин тикилмəсинə гədəр кифаҗətдир.

Хəттин кечирмə габилиҗҗətини артырдыгда електрик шəбəкəсиндəки енержи итгиләри дə артыр. Јени хəттин тикилмəси исə хеҗли əлавə хəрчлəр тəлəб едир. Бунлардан һансынын игтисади тəрəфдən əлверишли олачағы техники-игтисади һесабатлар нəтичəсиндə тə'јин едилир. Буна көрə кəркинлиҗин тənзим едилмəси үчүн əлавə гурғулары олан хəттин вə əлавə хəтт тикилдикдə ики хəттин бирликдə иллик истисмар хəрчləри мүгаҗисə олунур. Иллик истисмар хəрчləри аз олан вə əлавə хəрчлəр өзүнү 8 илдən тез доғрулдан вариант игтисади тəрəфдən əлверишли һесаб едилмəлидир.

Нəтичəлəр

1. Електрик системинин шəбəкəлəриндə бə'зən нисбətən узун хəтлəрин јүкү һесабат јүкləриндən артыг олур. Бу да гəбул җарымстансијасынын икинчи тəрəфиндəки кəркинлиҗин тəлəб олунан сəвиҗҗəсиндən хеҗли фəргләнмəсинə сəбəб олур. Белə һалларда хəттин кечирмə габилиҗҗətини артырмаг вə ја əлавə хəтт тикмək лазымдыр.

2. Əлавə хəттин тикилишинə гədəр хəттин чəрəҗан сыхлығынын игтисади чəрəҗан сыхлығына көрə 1,5—2,5 дəфə артмасы игтисади тəрəфдən əлверишлидир.

3. Нисбətən узун хəттин кечирмə габилиҗҗətини тənзимчи трансформаторлар илə 70%-ə, узунуна тутум компенсасиҗасы илə компенсасиҗа һəддиндən асылы олараг 75%-ə синхрон компенсаторлар илə мəфтилин маркасындан асылы олараг 70%-ə гədəр артырмаг олар. Бу гурғулардан бирликдə истифадə едилмəси нəтичəсиндə хəттин кечирмə габилиҗҗətини тəлəб олунан сəвиҗҗəҗə гədəр артырмаг олар.

4. Хəттин тикилмəси вə ја хəттин кечирмə габилиҗҗətинин артырылмасы техники-игтисади һесабатлар нəтичəсиндə тə'јин олунмалыдыр.

ƏДƏБИЈЈАТ

1. Розенберг Б. И. Целесообразность строительства дополнительных линий в электрических сетях. „Электрические станции", 1951, № 9.

О. С. Мамедъяров

О повышении пропускной способности протяженных линий передач

РЕЗЮМЕ

При проектировании линий электропередач для обеспечения минимума годовых затрат в сети сечения проводов выбирается по экономической плотности тока.

Для определения сечения проводов по экономической плотности тока необходимо определить максимальный ток линии для расчетного года, учитывающей развитие нагрузок энергосистемы на ближайшие 5—10 лет. Однако отсутствие детальных разработок о перспективах развития нагрузок обычно приводит к неправильному определению сечения проводов.

При этом для протяженных линий может оказаться, что напряжение на шинах приемной подстанции выходит за допустимые пределы. В таких случаях производят регулирование напряжения, добиваясь установленного правилами уровня напряжения.

Протяженной линией считаем линию такой длины, в которой при максимальной нагрузке, соответствующей экономической плотности тока, получается потеря напряжения, обеспечивающая необходимый уровень напряжения на шинах приемной подстанции.

Пренебрегая поперечной составляющей падения напряжения оптимальная длины протяженной линии для схемы рис. 1 определяется из выражения (2).

Установлено, что при нагрузках линии, превышающих расчетные нагрузки, строительство дополнительных линий оказывается экономически целесообразным, если плотность тока в линии превышает экономическую плотность тока в 2,0—2,5 раза. Следовательно, при увеличении нагрузки протяженной линии по сравнению с расчетной до строительства новой линии необходимо принять меры для повышения пропускной способности работающей линии: использовать синхронные компенсаторы, последовательно включенные в линию конденсаторов, и трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой.

В статье рассматриваются возможности повышения пропускной способности протяженной линии при помощи указанных способов регулирования напряжения. При этом принято, что напряжение в начале питающей линии U_1 и напряжение со вторичной стороны приемной подстанции U_2 на 5% выше соответствующих номинальных напряжений сети; потеря напряжения в трансформаторе при максимальной нагрузке $\Delta U_т$ составляет 5% от напряжения U_2, и пределы регулирования напряжения для нерегулируемых трансформаторов составляют $\pm$ 5% и для регулируемых $\pm$ 12,5%.

Повышение пропускной способности линии при использовании синхронных компенсаторов, последовательных конденсаторов и регулируемых трансформаторов определяется из выражений (3), (4) и (6).

Повышение пропускной способности линии при использовании синхронных компенсаторов, повышающих $\cos\varphi$ нагрузки от 0,8 до 0,95, показано в табл. 1, при использовании трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой—в табл. 2, а при использовании последовательных конденсаторов на рис. 2, 3.

Из табл. 1 и 2 и рис. 2 и 3 следует, что если требуется повышать максимально передаваемую мощность протяженной линии в 2 раза, то такая задача в отдельности не может быть разрешена ни синхронными компенсаторами, ни последовательными конденсаторами, ни регулируемыми трансформаторами. Только совместное использование регулируемого трансформатора как основного средства регулирования и дополнительных устройств—синхронного компенсатора или последовательных конденсаторов, может увеличить передаваемую мощность протяженной линии в 2 и более раз и обеспечить требуемый уровень напряжения.

На примере линии 35 *кв*, длиной 30 *км* (рис. 4) показана возможность повышения максимально передаваемой по линии нагрузки в 2 раза, при помощи регулируемых трансформаторов с пределами регулирования до — 12,5% и последовательных кондесаторов с 60%-ной степенью компенсации.

Экономическая целесообразность строительства новой линии или же повышение передаваемой мощности использованием регулирующих напряжение устройств должно определяться технико-экономическими расчетами, исходя из срока окупаемости 8 лет.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ш. Н. МАМЕДОВ, Г. Г. МУХТАРОВ

ЭФФЕКТИВНАЯ ОТБОЙКА РУДЫ ШПУРАМИ УМЕНЬШЕННОГО ДИАМЕТРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Условия проведения опытных работ. Отбойка руды при разработке жильных месторождений является одной из трудоемких и дорогих операций, занимающих значительный удельный вес при очистной выемке. Самым трудоемким в ней является бурение шпуров. Фактические затраты на буровзрывные работы в общей себестоимости руды по отдельным рудникам составляют: по Парагачаю—51%; Эге-Хаю-65%; Валькумею—52,8%; Утинскому—69%; Аляскитовому—73,2%, им. Белова—58%. Поэтому дальнейшее совершенствование техники и организации буровзрывных работ будет служить одним из существенных средств по снижению расходов, связанных с разработкой жильных месторождений Азербайджана.

Для выяснения условий и эффективности применения шпуров малого диаметра в блоке № 16 *а*, жиле „Новой" Парагачайского молибденового месторождения были проведены опытные работы. Здесь рудное тело представлено кварцевой жилой мощностью 0,2—0,8 *м*, углом падения около 60°. Руда в камере отличается высокой абразивностью и имеет коэффициент крепости 10—12 по шкале проф. М. М. Протодьяконова. Вмещающие породы—сиенит-диориты. В приконтактовой зоне породы мощностью 10—12 *см* сильно каолинизированы и сиритизированы. Лежачий бок—резкий и отчетливый. Породы висячего бока отличаются средней устойчивостью и продольной трещиноватостью.

Откаточным горизонтом является штольня № 18, а вентиляционным—штольня № 17. Блок с запада ограничен восстающим № 6, а с востока—сбросом и разбит на два коротких полублока.

Восточная часть блока, где боковые породы очень слабы и подвержены нарушениям, отрабатывалась потолкоуступной системой с усиленным распорным креплением.

Западная часть блока, где боковые породы более или менее устойчивы, отрабатывалась системой с магазинированием руды с применением распорной крепи.

Длина блока по простиранию на горизонте штольни № 18—30 *м*, а на горизонте штольни № 17—16 *м*. Площадь его равна 800 $м^2$. Жила „Новая" выше горизонта штольни № 17 отработана полностью.

Очистные работы в блоке № 16 *а* были начаты в апреле 1959 г. К началу опытных работ линия очистного забоя была поднята по

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Ш. Н. МАМЕДОВ, Г. Г. МУХТАРОВ

ЭФФЕКТИВНАЯ ОТБОЙКА РУДЫ ШПУРАМИ УМЕНЬШЕННОГО ДИАМЕТРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Условия проведения опытных работ. Отбойка руды при разработке жильных месторождений является одной из трудоемких и дорогих операций, занимающих значительный удельный вес при очистной выемке. Самым трудоемким в ней является бурение шпуров. Фактические затраты на буровзрывные работы в общей себестоимости руды по отдельным рудникам составляют: по Парагачаю—51%; Эге-Хаю-65%; Валькумею—52,8%; Утинскому—69%; Аляскитовому—73,2%, им. Белова—58%. Поэтому дальнейшее совершенствование техники и организации буровзрывных работ будет служить одним из существенных средств по снижению расходов, связанных с разработкой жильных месторождений Азербайджана.

Для выяснения условий и эффективности применения шпуров малого диаметра в блоке № 16 *а*, жиле „Новой" Парагачайского молибденового месторождения были проведены опытные работы. Здесь рудное тело представлено кварцевой жилой мощностью 0,2—0,8 *м*, углом падения около 60°. Руда в камере отличается высокой абразивностью и имеет коэффициент крепости 10—12 по шкале проф. М. М. Протодьяконова. Вмещающие породы—сиенит-диориты. В приконтактовой зоне породы мощностью 10—12 *см* сильно каолинизированы и сиритизированы. Лежачий бок—резкий и отчетливый. Породы висячего бока отличаются средней устойчивостью и продольной трещиноватостью.

Откаточным горизонтом является штольня № 18, а вентиляционным—штольня № 17. Блок с запада ограничен восстающим № 6, а с востока—сбросом и разбит на два коротких полублока.

Восточная часть блока, где боковые породы очень слабы и подвержены нарушениям, отрабатывалась потолкоуступной системой с усиленным распорным креплением.

Западная часть блока, где боковые породы более или менее устойчивы, отрабатывалась системой с магазинированием руды с применением распорной крепи.

Длина блока по простиранию на горизонте штольни № 18—30 *м*, а на горизонте штольни № 17—16 *м*. Площадь его равна 800 $м^2$. Жила „Новая" выше горизонта штольни № 17 отработана полностью.

Очистные работы в блоке № 16 *а* были начаты в апреле 1959 г. К началу опытных работ линия очистного забоя была поднята по

восстанию на 8—10 *м* от кровли штольни № 17 и было отбито 268,6 $м^3$ рудной массы. Ширина очистного пространства при средней мощности жилы, равной 0,38 *м*, составила 1,25—1,3 *м*.

Бурение производили телескопным перфоратором ТП-4 без промывки водой.

При мощности жилы 0,4—0,6 *м* шпуры располагались в один ряд, а при большей — в два ряда в шахматном порядке, на расстоянии 0,6—0,7 *м* один от другого. Шпуры бурили рядами с наклонном в сторону отбоя на 80—75° параллельно падению жилы, и они располагались по жиле ближе к лежачему боку. Среднее давление сжатого воздуха составляло 5 *ат*. Для измерения давления сжатого воздуха в ходовом отделении, восстающего на месте присоединения шланга к воздухопроводу, был установлен манометр. Замер и запись показаний манометра производились каждые 10—15 *мин*. Буровую сталь применяли шестигранную 25 и 22 *мм*. Соединение коронок со штангами было конусное с углом конусности 3°30′. Коронки—однодолотчатые, армированные, заводского изготовления.

Коронки обтачивались и затачивались в механическом цехе рудника и группировались по размерам 46, 44, 40, 36 *мм*. Цельные буры изготовлялись из буровой стали сечением 22 *мм* и армировались пластинками твердого сплава ВК-15 в рудничной мастерской. Рабочая ширина головок армированных буров изготовлялись размером 36, 34, 32, 30, 28 *мм*. Коронки и размер головки буров в каждой группе разнились между собой на 0,6 *мм*.

На торцевой поверхности коронки или головки армированного бура после заточки ставили метку для определения количества заточек до полной ее амортизации или поломки. При нормальном затуплении и правильной эксплуатации коронки выдерживали до полной амортизации 6—8 переточек. Нормально затупленным считалось лезвие коронки и бура, имеющее ширину площадки затупления на концах порядка 1,0—1,5 *мм*. Нельзя допускать сильного затупления лезвия. При сильном затуплении, когда ширина площадки лобового притупления у периферийного уголка лезвия равняется 2,5—3,0 *мм*, скорость бурения снижается, примерно, вдвое по сравнению с начальной, и коронка сильно срабатывается по краям. Коронка считалась полностью амортизированной, если высота остатка пластинки у края равнялась 3—4 *мм*.

Комплект штанг состоял из 4 штук. При опытных работах были приняты следующие размеры штанг: первый бур—0,6 *м*, второй бур—1,0 *м*, третий бур—1,4 *м* и четвертый бур—1,8 *м*.

Во время опытных работ производили хронометраж всего рабочего времени бурильщика, учитывали объем выполненных работ, расход материалов и энергии.

Было проведено хронометражное наблюдение за бурением 516 шпуров различного диаметра и пробурено 633,8 *пог. м* шпуров. Результаты хронометражных наблюдений приведены в табл. 1.

Скорость бурения. Скорость бурения, как известно, зависит от целого ряда факторов. Здесь, для сравнительной оценки, нами учитывается только влияние диаметра шпура.

Наблюдения, проводимые с целью выяснения влияния диаметра шпуров на скорость бурения при опытных работах, производились как по чистому, так и по общему времени бурения. В общем времени бурения учитывались: продолжительность перехода от шпура к шпуру, забуривание шпуров, смена буров, задержки за счет заклинивания буров и прочие простои.

Таблица 1

Показатели опытных работ по бурению шпуров телескопным перфоратором ТП-4

Показатели	Диаметр шпуров, *мм*: бурение армированными коронками 44—46	42	40	38	36	бурение цельными бурами 36	34	32	30	28	Всего
Количество пробуренных шпуров	43	53	**41**	44	72	67	49	48	45	54	516
Пробурено шпурометров	51,58	62,03	50,27	51,50	84,96	85,18	58,10	63,03	54,84	72,34	633,83
Суммарная затрата времени на бурение шпуров, *мин/сек*	776′37″	805′15″	645′32″	676′30″	954′20″	947′40″	613′05″	553′05″	472′10″	521′20″	6965′34″
а) чистое время бурения	509′44″	552′48″	479′22″	364′49″	588′15″	558′52″	362′10″	345′55″	262′00″	279′35″	4243′30″
б) время на ликвидацию застревания бура	43′19″	31′00″	13′47″	63′53″	79′50″	65′30″	47′15″	22′00″	11′45″	17′50″	396′09″
в) время на замену буров	60′50″	62′52″	52′19″	60′22″	100′35″	99′43″	73′20″	67′20″	5′00″	69′50″	702′11″
г) время на переход с шпура на шпур	106′29″	127′20″	112′09″	129′06″	162″40″	158′05″	121′30″	91′40″	120′05″	122′05″	1251′04″
д) простои	56′15″	31′15″	47′55″	58′20″	23′00″	65′30″	8′50″	26′10″	23′25″	32′00″	272′40″
Общие затраты времени на бурение 1 *пог. м* шпура, *мин. сек*	15′00″	13′00″	12′50″	13′10″	11′15″	11′07″	10′30″	8′50″	8′40″	7′15″	—
а) чистое время бурения	9′53″	8′55″	8′22″	7′08″	6′56″	6′34″	6′14″	5′30″	4′47″	3′52″	—
б) время на ликвидацию застревания бура	0′50″	0′30″	0′16″	1′15″	0′57″	0′46″	0′49″	0′21″	0′14″	0′15″	0′38″ (средняя)
в) время на замену буров	1′10″	1′00″	1′02″	1′10″	1′10″	1′10″	1′15″	1′06″	1′00″	0′58″	1′08″ (средняя)
г) время на переход с шпура на шпур	2′02″	2′05″	2′13″	2′30″	1′55″	1′51″	2′03″	1′28″	2′13″	1′43″	1′59″ (средняя)
д) простои	1′05″	0′30″	0,57″	1′07″	0′17″	0′46″	0′09″	0′25″	0′26″	0′27″	0′35″ (средняя)
Средняя глубина пробуренных шпуров, *м*	1,2	1,17	1,23	1,17	1,18	1,27	1,18	1,31	1,21	1,33	—
Скорость бурения шпуров, *см/мин*	10,1	11,2	12,0	14,1	14,4	15,2	16,0	18,2	21,0	25,8	—
Относительная скорость бурения, %	100	111	119	139	142	150	158	180	208	255	—
Производительность бурильщика, шпурометр/смену	19,7	21,2	22,0	24,5	25,0	25,8	26,6	28,6	31,4	34,2	—
Относительная производительность бурильщика, %	100	108	112	124	127	131	135	145	160	173	—
Израсходовано ВВ, *кг*	39	46	33	32	49	46	31,5	30	24	28	358,5

На рис. 1 представлен рост скорости чистого бурения шпуров в зависимости от диаметра шпуров. Кривая *1* характеризует увеличение скорости бурения в зависимости от диаметра шпура.

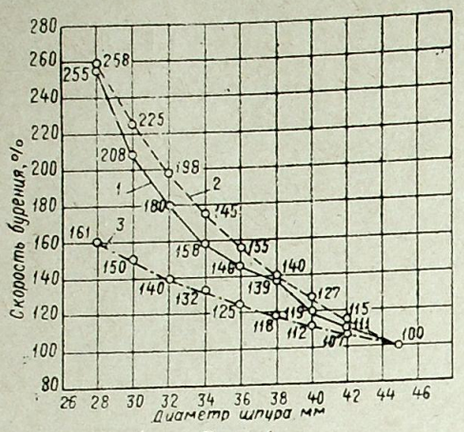


Рис. 1

Зависимость скорости бурения от диаметра шпура при бурении перфоратором ТП-4 ($f = 10 - 12$)

1—по данным результатов опытных работ;

2—по соотношению $V_2 = V_1\left(\frac{d^1}{d_2}\right)^2$;

3—по соотношению $V_2 = V^1\frac{d^1}{d_2}$.

Для сравнения на этой же диаграмме приведена кривая 2, характеризующая обратную квадратную зависимость изменения скорости бурения по соотношению $V_2 = V_1\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$ и кривая *3*, выражающая обратную зависимость по соотношению

$$V_2 = V_1\frac{d_1}{d_2},$$

где d_1—принятый диаметр коронки;

d_2—уменьшенный диаметр коронки;

V_1—скорость бурения при поднятом диаметре коронки;

V_2—скорость бурения при уменьшенном диаметре коронки.

Из графика видно, что изменение скорости бурения в зависимости от диаметра шпуров можно рассматривать обратную степенную зависимость с показателем степени $1 < n < 2$.

Согласно теории ударно-поворотного бурения, с уменьшением диаметра шпуров скорость бурения должна увеличиться обратно пропорционально квадрату диаметра головки бура.

Полученная нами зависимость изменения скорости бурения от диаметра коронки меньше квадратной объясняется тем, что частота и энергия ударов, а также углы поворота лезвия при установившемся режиме работы перфоратора остаются почти постоянными. При бурении одним и тем же перфоратором шпуров разного диаметра нарушаются оптимальные условия разрушения породы. При уменьшении диаметра шпуров удельная энергия увеличивается, а площадь сектора скола породы между двумя последующими ударами уменьшается; при этом часть работы затрачивается на бесполезное переизмельчение породы.

Из вышеизложенного вытекает, что: а) применение шпуров уменьшенного диаметра приводит к резкому возрастанию скорости бурения; если скорость бурения при диаметрах 44—46 *мм* принять за 100%, то уже при диаметре шпура 36 *мм*, скорость чистого бурения шпуров составляет 146% (средняя), а при диаметре шпуров 28 *мм*—255%; б) угол поворота бура между двумя последующими ударами у перфоратора ТП-4 при установившемся режиме работы для условий жил Парагачайского месторождения соответствует бурению шпуров диаметра 40—46 *мм*. Увеличение угла поворота бура до оптимального при бурении шпуров малых диаметров приведет к дальнейшему росту скорости бурения.

Влияние диаметра буровой стали на скорость бурения. Необходимо отметить, что на производительность бурения большое влияние оказывает диаметр буровой стали, из которой изготовлена штанга. Чем больше диаметр буровой стали, тем больше ее вес, следовательно, тем меньше коэффициент полезного действия удара.

Во время проведения опытных работ в Парагачайском руднике был изучен вопрос влияния размеров буровой стали на скорость бурения.

Таблица 2

Показатели	Коронками и цельными бурами, армированными твердым сплавом. Диаметр стали 25 *мм*	Цельными бурами, армированными твердым сплавом. Диаметр стали 22 *мм*
Количество проведеных наблюдений	72	67
Всего пробурено шпурометров	84,96	85,18
Скорость бурения *мм/мин* при давлении сжатого воздуха 5 *ат*	144	152
Процентное соотношение скорости бурения	100	105,6

В табл. 2 приведены результаты специальных испытаний во время проведения опытных работ при бурении шестигранной буровой сталью сечением 25 и 22 *мм*. Бурение производилось по кварцевой жиле в блоке № 16 *а* ($f = 10 - 12$) перфоратором ТП-4, коронками и армированными бурами с диаметром лезвия 36 *мм*.

Как видно из табл. 2, при переходе от стали сечением 25 *мм* на сталь сечением 22 *мм* скорость бурения возрастает на 5,6%. Во время опытных работ поломок буров, изготовленных из стали сечением 22 *мм* не наблюдалось.

Таким образом: а) применение стали сечением 25 *мм* для молотков среднего веса при бурении шпуров глубиною 1,2—2,5 *м* необязательно, возможна замена сталью сечением 22 *мм*, особенно при проведении шпуров уменьшенного диаметра, при этом скорость бурения увеличится на 5—10%, уменьшится расход буровой стали и облегчится доставка штанг к месту работы и обратно; б) бурение шпуров уменьшенного диаметра (28—32 *мм*) возможно только при применении буровой стали сечением 22 *мм*, так как толщина буровой стали сечением 25 *мм* по диагонали составляет 29,3 *мм*. В этом случае вместо переделки буксы молотка удобнее высаживать хвостовик по размерам для стали сечением 25 *мм*.

Производительность труда бурильщика. Результаты хронометражных наблюдений по затратам времени на различные операции показывают, что с уменьшением диаметра шпура уменьшаются общие затраты времени на бурение 1 *пог. м* шпура (см. табл. 1). Но при этом рост производительности труда бурильщика идет медленнее, чем рост скорости чистого бурения.

Это объясняется тем, что с увеличением скорости бурения увеличивается количество пробуренных шпуров ра смену, а следовательно, возрастает количество вспомогательных операций, связанных с бурением. Уменьшение диаметра шпура увеличивает число операций забу-

ривания, смены буров, переход с шпура на шпур и др. При бурении шпуров уменьшенного диаметра эти операции составляют 45—50%, а при бурении шпуров увеличенного диаметра—30—35% от общего времени на бурение одного шпура (глубина шпуров 1,1—1,3 *м*).

Производительность труда бурильщика в шпурометрах применительно к условиям опытных работ можно определить по формуле:

$$N = \frac{T-(T_п + T_з + T_0)}{t_1 + t_2},$$

где N—производительность бурильщика в смену, шпурометрах;

T—продолжительность смены—360 *мин*;

$T_п$—продолжительность подготовительных операций за смену (подготовка рабочего места, осмотр забоя, подъем перфоратора, буров, шланга к забою и подготовка к бурению)—30 *мин*;

$T_з$—продолжительность заключительных операций за смену (уборка рабочего места, перфоратора и инструмента и подготовка забоя к взрыву)—30 *мин*;

T_0—продолжительность регламентированных перерывов, связанных с процессом, и отдых за смену—20 *мин*;

t_1—затраты времени за чистое бурение 1 *м* шпура в зависимости от диаметра шпура, *мин* (данные табл. 1);

t_2—затраты времени на вспомогательные операции для бурения 1 *м* шпура (переход с одного шпура на другой, забуривание шпура, замена буров и коронок, ликвидация застревания бура, продувка и чистка шпуров и др.).

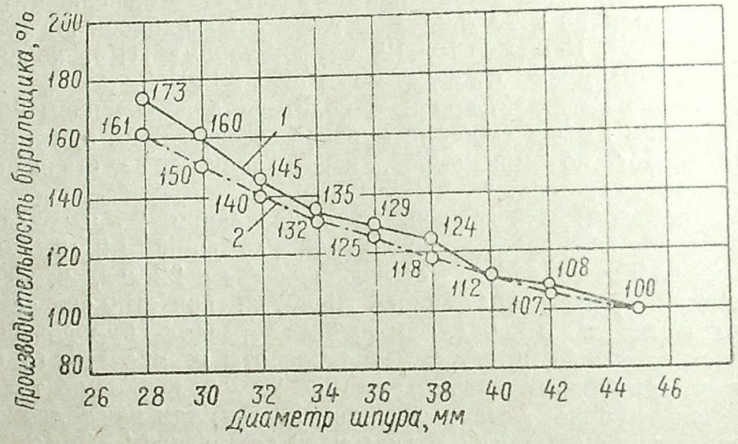


Рис. 2

Влияние диаметра шпура на производительность бурильщика

1—зависимость производительности бурильщика в шпурометрах от диаметра шпура при бурении перфоратором ТП-4 ($f = 10 - 12$);

2—зависимость скорости бурения от диаметра шпура по соотношению $V_2 = V_1 \frac{d_1}{d_2}$.

Во время опытных работ значительных изменений затрат времени на вспомогательные операции на бурение 1 *м* шпура в зависимости от диаметра шпуров не наблюдалось и в среднем они составили 4 *мин* 20 *сек*.

Данные расчета по формуле сведены в табл. 1.

Зависимость производительности бурильщика в шпурометрах от диаметра шпура показана на рис. 2 (кривая *1*). Для наглядности на этом же графике представлена зависимость скорости бурения от диаметра шпура по соотношению $V_2 = V_1 \frac{d_1}{d_2}$ (кривая 2).

Как видно из графика (рис. 2), при уменьшении диаметра шпуров увеличение производительности бурильщика происходит несколько медленее, чем рост скорости бурения и, примерно, соответствует изменению скорости бурения по соотношению $V_2 = V_1 \frac{d_1}{d_2}$.

С уменьшением диаметра шпуров с 44—46 до 28 *мм* при бурении перфоратором ТП-4 скорость бурения возрастает в 2,5 раза, а производительность бурильщика—1,7 раза (см. табл. 1).

При постоянной сетке расположения шпуров, одинаковом коэффициенте их использования и различных их диаметрах было достигнуто уменьшение ширины очистного пространства с 1,3 *м* (при применении шпуров диаметром 44—46 *мм*) до 0,9 *м* (при применении шпуров диаметром 28—34 *мм*).

При бурении шпуров диаметром 28—30 *мм* ширина очистной выемки на некоторых участках блока была уменьшена до 0,4—0,6 *м*, другими словами отбивалась только жила.

Легкие заряды в шпурах уменьшенного диаметра дают возможность получить более ровные и устойчивые бока очистного пространства, что ведет к уменьшению ширины очистной выемки и резкому уменьшению разубоживания руды. Отбойка шпурами малого диаметра особенно благоприятно сказывается на устойчивости боковых пород при разработке нарушенных участков жил.

Тяжелый заряд взрывчатых веществ (ВВ) в шпурах большого диаметра ведет к образованию трещин в боковых породах и нарушает их устойчивость.

Во время крепления и разборки забоя нарушенные участки боковых пород отслаиваются плитами иногда значительных размеров, что вызывает ненужное увеличение ширины очистного пространства и кажущееся увеличение производительности бурильщика.

Так, если во время опытных работ скорость бурения при шпурах диаметром 28 *мм* возросла в 2,5 раза по сравнению со шпурами диаметром 44—46 *мм*, а производительность бурильщика в шпурометрах в 1,7 раза, то значительного изменения производительности бурильщика в кубометрах отбитой горной массы не наблюдалось, что было обусловлено уменьшением ширины очистного пространства. Но с ростом производительности бурильщика в шпурометрах практически пропорционально растет производительность по отбиваемому жильному материалу (табл. 3).

Из вышеизложенного вытекает, что применение шпуров малого диаметра при разработке жильных месторождений является большим резервом повышения производительности труда бурильщика, уменьшения разубоживания руды и увеличения интенсивности очистной выемки.

Заряжание шпуров. Шпуры диаметром 34—46 *мм* заряжали аммонитом №6 в патронах диаметром 31±1 *мм*. Для заряжания шпуров диаметром 28—32 *мм* на руднике изготовлялись патроны диаметром 25 и 27 *мм*. При этом особое внимание уделялось тому, чтобы изготовленные патроны имели одинаковый диаметр, а плотность ВВ в патронах и их водонепроницаемость соответствовали плотности ВВ и водонепроницаемости оболочки стандартных патронов. В шпурах малого диаметра величина заряда получается меньше, чем в шпурах

нормального диаметра вследствие меньшей усадки патрона во время уплотнения при заряжании. Патрон длиною 250 *мм* после заряжания в шпуре диаметром 44—46 *мм* занимал 168 *мм* длины шпура; в шпуре диаметром 38 *мм*—220 *мм*, а при шпурах диаметром 34 *мм* не было необходимости в уплотнении патрона. В шпурах диаметром 28—32 *мм*, в связи с применением патронов ВВ уменьшенного диаметра, величина заряда получается еще меньше.

Таблица 3

Основные показатели буровзрывных работ при шпурах различного диаметра

Показатели	Диаметр шпуров, *мм*								
	46—44	42	40	38	36	34	32	30	28
Ширина очистного пространства, *м*	1,3	1,18	1,13	1,08	1,02	0,96	0,9	0,84	0,78
Средняя мощность жил, *м*	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Средняя глубина шпуров, *м*	1,2	1,17	1,23	1,17	1,22	1,18	1,31	1,21	1,33
Среднее расстояние между шпурами в ряду, *м*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Среднее расстояние между рядами, *м*	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Коэффициент использования шпуров	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Производительность бурильщика в смену по бурению шпуров, *пог. м*	19,7	21,2	22	24,5	25,4	26,6	28,6	31,4	34,2
Количество шпуров, пробуренных за смену	17	18	18	21	22	22	23	2,6	26
Вес заряда вв ВВ шпур, *кг*	0,90	0,86	0,80	0,73	0,68	0,64	0,62	654	0,52
Общий вес заряда, *кг*	15,3	15,5	14,4	15,3	15,0	14,1	14,3	14,0	13,5
Производительность труда бурильщика в смену по отбойке жильного материала, $м^3$	3,58	3,85	4,0	4,46	4,62	4,84	5,20	5,72	6,2
Расход вв ВВ 1 $м^3$ жильного материала, *кг*	4,3	4,0	3,6	3,4	3,2	2,9	2,8	2,5	2,2
Производительность труда бурильщика в смену по отбойке горной массы, $м^3$	7,14	7,00	6,98	7,42	7,28	7,14	7,20	7,38	7,45
Расход вв ВВ 1 $м^3$ горной массы, *кг*	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8
Расход бурения на 1 $м^3$ отбитого жильного материала, *пог. м*	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Расход бурения на 1 $м^3$ отбитой горной массы, *пог. м*	2,8	3,0	3,2	3,3	3,5	3,7	4,0	4,3	4,6

Кроме того, в шпурах уменьшенного диаметра достигается лучшая плотность заряжания (табл. 4).

Результаты отбойки при шпурах уменьшенного диаметра были не хуже, чем при шпурах нормального диаметра. Все это позволило в опытном блоке, при применении шпуров диаметром 28—30 *мм*, сократить расход ВВ на 1 $м^3$ отбитой горной массы на 14—18%, а на 1 $м^3$ жильного материала на 45—50% (см. табл. 3).

Ширина очистного пространства. Увеличение содержания металла в перерабатываемой руде является одним из существенных факторов снижения себестоимости конечной продукции.

Содержание металла в руде обусловлено горногеологическими условиями разрабатываемого месторождения, но его изменение в ту или иную сторону частично зависит и от выбранной системы разработки параметров буровзрывных работ, принятой ширины очистного

пространства, организации скоростной выемки, сортировки руды и т. п.

При разработке маломощных жильных месторождений с валовой отбойкой добыча жильной массы связана с неизбежным засорением ее пустыми породами, в которых эти жилы залегают. Для уменьше-

Таблица 4

Плотность заряжения шпуров

Диаметр шпура, *мм*	Глубина шпура *м*	Вес заряда, *г*	Глубина заряжания, *м*	Объем зарядной камеры, $см^3$	Длина забойки, *м*	Плотность заряжания, $г/см^3$
28	1,33	520	1,0	610	0,33	0,85
30	1,21	540	0,9	650	0,31	0,84
32	1,31	620	0,9	730	0,41	0 85
34	1,18	640	0,8	730	0,38	0,88
36	1,22	680	0,8	820	0,38	0,83
38	1,17	730	0,8	910	0,37	0,80
40	1,23	800	0,8	1010	0,43	0,79
42	1,17	860	0,8	1120	0,37	0,77
44—46	1,20	950	0,8	1270	0,40	0,75

ния засорения жильной массы пустыми породами на практике, с учетом горно-технических условий, определяется минимально возможная ширина очистного пространства, соответственно которому пересчитывается среднее содержание металла в рудной массе, служащее основой для технико-экономических расчетов плана производства.

Отклонение ширины очистного пространства в ту или иную сторону является основной причиной отклонения среднего содержания металла в добытой рудной массе.

При незначительной разнице в объемных весах жильной массы и боковых пород, величина разубоживания прямо пропорциональна ширине очистного пространства.

При разработке некоторых участков жил Парагачайского месторождения для создания рабочей ширины очистного пространства из-за незначительной мощности жил необходимо подрывать боковые породы. Подорванная боковая порода смешивается с жильной массой, и руда получается сильно загрязненной. Так как при этом имеет место неселективная отбойка руды и боковых пород, качество руды, получаемой после отбойки, зависит, главным образом, от рабочей мощности очистного пространства, т. е. от количественного соотношения между жильным материалом и боковыми породами в отбиваемой горной массе (табл. 5).

Из табл. 5 видно, что при средней мощности разрабатываемых жил в 0,6—0,7 *м* ширина очистного пространства составляет 1,3—1,7 *м*.

Минимальная ширина (высота) очистного пространства, установленная правилами техники безопасности при разработке рудных месторождений, составляет 0,6 *м* при крутом падении и 0,8 *м*—при пологом залегании рудного тела. Стало быть, при средней мощности разрабатываемых жил 0,6—0,7 *м* нет необходимости в подрывке боковых пород, так как величина 0,6—0,7 *м* является вполне достаточной шириной для производства очистных работ, особенно при крутых углах падения, что свойственно жильным месторождениям. Однако неправильное залегание жил, наличие выклиниваний и раздувов на

Таблица 5

Фактическое разубоживание руды по Парагачайскому руднику за 7 месяцев 1959 г.

№ блока	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь			Июль		
	ширина очистного пространства, *м*	мощность жилы, *м*	разубоживание, %	ширина очистного пространства, *м*	мощность жилы, *м*	разубоживание, %	ширина очистного пространства, *м*	мощность жилы, *м*	разубоживание, %	ширина очистного пространства, *м*	мощность жилы, *м*	разубоживание, %	ширина очистного пространства, *м*	мощность жилы, *м*	разубоживание, %	ширина очистного пространства, *м*	мощность жилы, *м*	разубоживание, %	ширина очистного пространства, *м*	мощность жилы, *м*	разубоживание, %
Жила „Главная"																					
24	1,2	0,25	79,3	1,7	0,59	65,2	1,9	1,5	21,2	1,7	1,3	23,5	1,9	1,75	8,0	2,1	1,92	8,5	1,5	0,79	47,4
25	1,2	0,46	61,6	1,6	0,50	68,7	1,1	0,53	51,8	1,3	0,79	39,3	1,3	0,82	36,8	1,4	0,69	50,7	1,3	0,94	21,7
Жила „Новая"																					
2	1,4	0,61	66,2	1,0	0,72	28,4	1,2	0,42	61,3												
14	1,15	0,7	40,6	1,4	0,58	58,5	1,3	0,96	26,2	1,2	0,84	49,2	1,2	0,25	79,1	2,1	1,27	39,5	2,1	0,20	90,5
1	1,3	0,52	59,8	1,3	0,72	44,7															
Целик между КРС и ХВ	1,7	1,14	32,9	1,3	1,09	16,3	1,1	0,34	68,9	1,3	0,12	47,3									
13				1,2	0,67	44,2	1,1	0,74	32,8	2,4	0,37	66,4	1,2	0,11	90,9						
12				1,8	0,74	58,8	1,1	1,05	39,5	2,0	1,13	38,6	1,9	1,11	67,0						
4							2,1	1,05	41,7	1,2	0,92	31,0									
15							1,8			1,2	0,37	43,4	1,3	0,39	70,0	1,4	0,82	41,3	1,4	0,54	87,8
16													1,2	0,39	77,2	1,3	0,89	31,3	1,3	0,96	26,1
16*а* восточная часть																1,1	0,63	42,7	0,9	0,76	15,6
16*а* магазин																1,1	0,63	42,9	0,9	0,11	65,6

коротких расстояниях, частых сбросов, слабость боковых пород, а также применение шпуров большого диаметра, тяжелых зарядов ВВ, и т. д.—все это в совокупности способствует увеличению объема отбитой горной массы в 2—3 раза и, вместе с тем, уменьшению содержания металла в добытом полезном ископаемом.

Это вызывает перегруженность фабрики ненужной пустой породой, преждевременный выход оборудования из строя, уменьшает производительность по выходу концентрата, увеличивает потери металла в хвостах фабрики, удорожает процесс обогащения и себестоимость концентрата, не говоря о том, что происходит излишний расход материальных и денежных средств на выпуске, погрузке и откатке, а также на транспортировке разубоженной рудной массы.

Таблица 6

Ширина очистного пространства при отработке блока № 16 *а*

Диаметр шпуров, *мм*	Средняя мощность жилы в блоке, *м*	Ширина очистного пространства, *м*	Коэффициент разубоживания руды	Разубоживание руды, %
42—46	0,39	1,23	3,15	68,3
36—42	0,51	1,10	2,16	53,6
28—36	0,57	0,90	1,58	36,7

Для уменьшения разубоживания руды и потерь, прежде всего, необходимо стремиться к уменьшению ширины очистного пространства. Эффективным средством борьбы с завышенной шириной очистного пространства при разработке маломощных жил с валовой отбойкой является применение шпуров уменьшенного диаметра.

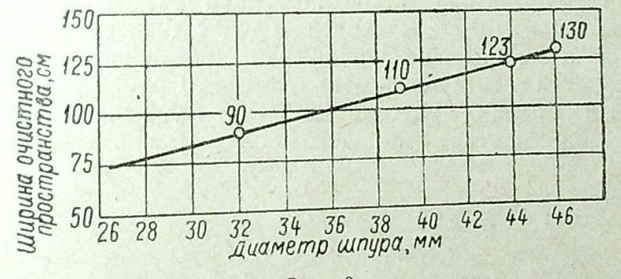


Рис. 3

Зависимость ширины очистного пространства от диаметра шпура

Помимо повышения скорости бурения и производительности труда бурильщика применение шпуров уменьшенного диаметра способствует значительному уменьшению ширины очистного пространства и снижению разубоживания руды и потерь (табл. 6).

Во время опытных работ в очистном блоке № 16 *а* в июле (при применении шпуров диаметром 28—36 *мм*) была получена минимальная ширина очистного пространства по руднику за 1959 г. (см. табл. 5).

При применении шпуров диаметром 28—30 *мм* значительная часть блока была отработана с шириной очистного пространства 0,6 *м* и менее.

Зависимость ширины очистного пространства от диаметра шпуров приведена на рис. 3. С уменьшением диаметра шпура с 46 до 28 *мм* ширина очистного пространства уменьшилась на 40%.

Сделаем примерный расчет экономии, обусловленной уменьшением ширины очистного пространства с 1,3 до 0,9 *м*.

По данным геологического опробования, средняя мощность жил Парагачайского месторождения равна 0,65 *м*.

При ширине очистного пространства 1,3 *м*, объем пустой породы, отбиваемой вместе с жилой, равен объему жильной массы, т. е. общий объем подаваемого на фабрику полезного ископаемого увеличивается в 2 раза. Другими словами, на каждые 100 *т* жильной массы подается на фабрику 100 *т* пустых пород. При этом содержание молибдена в перерабатываемой руде составляет 0,35%.

При уменьшении ширины очистного пространства с 1,3 до 0,9 *м* количество пустой породы, отбиваемой с 100 *т* жильной массы, составляет 38,5 *т*, и содержание металла в перерабатываемой руде увеличится до 0,5%, т. е. на 43% (без учета потерь при добыче). Таким образом, в результате уменьшения ширины очистного пространства на каждые 100 *т* жильной массы будет перерабатываться 38,5 *т* пустых пород Уменьшение объема горной массы с 200 до 138,5 *т* с более высоким содержанием дает следующие преимущества.

1. Производительность фабрики по перерабатываемой руде увеличивается на 30,7%, так как вместо 61,5 *т* пустой породы фабрика перерабатывает руду.

2. Уменьшаются расходы на обогащение и увеличивается процентный выход и качество концентрата, так как обработка более богатого материала с содержанием 0,5% молибдена (вместо 0,35%) дешевле, а процент извлечения концентрата больше.

3. Увеличение производительности фабрики на 30,7% за счет уменьшения количества пустой породы означает экономию расходов на обогащение 30,7 *т* породы в каждых 100 *т* рудной массы, подаваемой на фабрику. Иначе говоря, 30,7 *т* пустой породы, которые шли на обогащение в каждых 100 *т* рудной массы, будут заменены рудой с содержанием 0,5% молибдена и дадут добавочно $30{,}7 \times 0{,}005 \times 0{,}89 = 0{,}137$ *т* молибдена в концентрате (извлечение равно 89,0%).

При стоимости обогащения 1 *т* руды в 80 руб. и годовой производительности фабрики условно 30 000 *т*, годовая экономия из-за уменьшения переработки излишнего количества пустой породы составит:

$$\frac{30{,}7 \times 80 \times 30\,000}{100} = 740\,000 \text{ руб.}$$

4. Производительность предприятия по концентрату увеличивается на 43% и соответственно снижается себестоимость конечной продукции—концентрата.

Из вышеизложенного видно, что при разработке маломощных жил с валовой отбойкой для получения минимальной стоимости конечной продукции, целесообразно ширину очистного забоя принимать минимальную, допустимую по условиям безопасности труда. Такой шириной забоя является 0,6 *м* на крутом и 0,8 *м* при пологом залегании рудного тела. Она удовлетворяет требованиям правил безопасности и обеспечивает наибольшую экономичность разработки месторождений.

Получение такой ширины очистного пространства возможно при применении шпуров малого диаметра.

На величину ширины очистного пространства большое влияние оказывают естественные нарушения в залегании боковых пород, а

также нарушение боков, вызванные применением тяжелых зарядов. Важное значение при этом имеет время отработки блока и время и размеры площади незакрепленного пространства. В практике рудника имеются случаи, когда блоки с запасами руды в 1500—2000 *т* отрабатываются в течение 1,5—2 лет, в результате чего происходит отслоение пород высячего бока или же обрушение руды.

Отработку блоков можно вести без всяких осложнений благодаря большой интенсивности путем применения шпуров уменьшенного диаметра и зарядов соответствующей величины.

Выводы и предложения. Результаты проведенных опытных работ по применению шпуров уменьшенного диаметра при разработке жил Парагачайского месторождения дают основание сделать следующие выводы и предложения:

1. Увеличивается скорость бурения, а следовательно, и производительность бурильщика.

2. Уменьшается расход аммонита, твердых сплавов, буровой стали, жатого воздуха и других материалов на одну тонну руды.

с 3. Уменьшаются вредные действия взрыва на боковые породы, что способствует уменьшению ширины очистного пространства, а следовательно, разубоживания и связанных с ним потерь руды.

4. Расстояние между шпурами и коэффициент использования шпуров остаются почти без изменения.

5. Ширину очистного пространства при разработке маломощных участков жил с крепкими боковыми породами можно довести до 0,6 *м*.

6. Применение шпуров уменьшенного диаметра, в конечном счете, дает экономический эффект.

7. Для успешного внедрения шпуров уменьшенного диаметра необходимо организовать массовое изготовление буровых коронок диаметром 28—32 *мм*, а также патронов ВВ диаметром 25—27 *мм*

Ш. Н. Мәммәдов, һ. һ. Мухтаров

Дамартипли јатагларын ишләнилмәсиндә филизин кичик диаметрли лағымларла сәмәрәли гопарылмасы

ХҮЛАСӘ

Дамартипли јатагларын ишләнилмәсиндә филизин гопарылмасы ән чәтин вә баһа баша кәлән әмәлијјатлардан биридир. Лағымларын газылмасы бу әмәлијјатын ән чәтин сащәси һесаб едилир. Мүхтәлиф диаметрли лағымлардан һансынын даһа сәмәрәли олмасыны мүәјјән етмәк үчүн Парағачај мә'дәниндә тәчрүбә иши апарылмышдыр. Јатаг галынлығы 0,2—0,8 *м*, бәрклик әмсалы проф. М. М. Протодјаконовун тәснифаты үзрә 10—12, јан сүхурлар орта бәркликдә олан кварслы дамардан ибарәтдир. Тәчрүбә ишини апараркән лағымларын газылмасы ТП-4 типли газыма чәкичи илә апарылмышдыр. Лағымлар сыра илә дамарын јатымына паралел истигамәтдә бир-бириндән 0,6—0,7 *м* мәсафәдә, сыхылмыш һаванын орта һесабла 5 *ат* тәзјиги алтында газылмышдыр. Матгаблар 22 вә 25 *мм*-лик газыма поладындан һазырланмышдыр. Мүхтәлиф диаметрли лағымларын газылмасы диаметри 46; 44; 40; 36 *мм* олан тачлар вә 36; 34; 32; 30; 28 *мм* олан гајнаг башлыгларла апарылмышдыр. Лағымлар 1,1—1,3 *м* дәринлијиндә газылмышдыр.

Тәчрүбәни апараркән, газмачынын иши хронометрә едилмишдир.

Тәчрүбә дөврүндә 633,8 *м* үмуми дәринликдә 516 лағым газылмышдыр.

Газмачынын нөвбә әрзиндә сәрф етдији үмуми вахт вә лағымларын газылмасына сәрф олунан халис вахт хронометраж нәзарәти илә мүәјјән едилмишдир. Газмачынын нөвбәлик иш мүддәтинин хронометражына едилмишдир. Газмачынын газылмасына сәрф олан халис вахтдан жыны апараркән, лағымларын башга матгабларын дәјишдирилмәсинә, газмачынын бир лағымдан башга лағыма кечмәсинә, матгабын лағымын ичәрисиндә илишмәсинә вә с. әмәлијјатлара сәрф едилмиш вахт да мүәјјән едилмишдир.

Апарылмыш тәчрүбә нәтичәсиндә лағымын диаметринин газыма сүр'әтинә, газмачынын әмәк мәһсулдарлығына, тәмизләмә саһәсинин енинә, филизин кејфијјәтинә, филиз истеһсалы заманы ишләдилән материалларын сәрфинә олан тә'сири мүәјјән едилмишдир.

Кичик диаметрли лағымын истифадә едилмәси газыма сүр'әтинин хејли артмасына сәбәб олур. Белә ки, мә'дән шәраитиндә истифадә едилән 44—46 *мм* диаметрли лағымларын газыма сүр'әтини 100% һесаб етмиш олсаг, 36 *мм* диаметрли лағымларын халис газыма сүр'әти 146%, 28 *мм* диаметрли лағымларынкы исә 255%-ә гәдәр артыр.

Тәчрүбә көстәрмишдир ки, орта чәкили чәкичләрлә 1,2—2,5 *м* дәринликдә олан лағымларын газылмасы үчүн матгаблары 25 *мм* диаметрли газыма поладындан һазырламаға һеч дә еһтијач јохдур, бу һалларда, хүсусән 28—32 *мм* диаметрли лағымлардан истифадә едилән заман матгаблары 22 *мм* диаметрли газыма поладындан да һазырламаг олар. Бу һалда лағымларын газылма сүр'әти 5—10% артыр вә газыма поладына гәнаәт едилир.

Газмачынын иш күнүнүн хронометражы көстәрмишдир ки, лағымын диаметри азалдыгча, газмачынын әмәк мәһсулдарлығы артыр, анчаг бу артма газыма сүр'әтинин артма дәрәчәсиндән аз олур. Белә ки, лағымын диаметри 46 *мм*-дән 28 *мм*-ә гәдәр азалдыгда, газыма сүр'әти 2,5 дәфә артдығы һалда, газмачынын әмәк мәһсулдарлығы 1,7 дәфә артыр. Анчаг газмачынын әмәк мәһсулдарлығы кубометр һесабилә нәзәрә чарпачаг дәрәчәдә дәјишмәмишдир, бу да тәчрүбә мүддәтиндә ишләмә саһәсинин кетдикчә азалмасы илә изаһ едилир.

Кичик диаметрли лағымларын истифадәси чохлу мигдарда партлајычы маддәјә гәнаәт етмәјә сәбәб олур, бу һалда кичик диаметрли лағымларын филизгопарма габилијјәти мә'дән шәраитиндә ишләдилән бөјүк диаметрли лағымларынкындан һеч дә аз олмур.

Кичик диаметрли лағымларын истифадәси газыма сүр'әтинин вә газмачынын әмәк мәһсулдарлығынын артмасына сәбәб олдуғу кими, тәмизләмә саһәси енинин азалмасына, филиз иткисинин азалмасына вә филизин кејфијјәтинин јахшылашмасына да имкан јарадыр. Белә ки, 42—46 *мм* диаметрли лағымларла ишләдикдә тәмизләмә саһәсинин ени 1,2—1,3 *м* олдуғу һалда, 28—36 *мм* диаметрли лағымларла ишләдикдә тәмизләмә саһәсинин енини 0,7—0,9 *м*-ә гәдәр азалтмаг мүмкүн олмушдур.

Мөһкәм јан сүхурлара малик олан јатағын ишләнилмәсиндә кичик диаметрли лагымлардан истифадә едилдикдә тәмизләмә саһәсинин енини 0,6 *м*-ә гәдәр азалтмаг олар. Кичик диаметрли лағымларын истифадәси нәтичәсиндә бөјүк гәнаәт әлдә етмәк мүмкүндүр.

Кичик диаметрли лағымлардан кениш мигјасда истифадә етмәк үчүн 28—32 *мм* диаметрли газыма тачларынын вә 25—27 *мм* диаметрли партлајычы маддә патронларынын һазырланмасыны тәшкил етмәк лазымдыр.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

М. А. ТОПЧУБАШОВ, Ф. И. ХАСМӘММӘДОВ, З. Һ. НӘСИБОВ

ТИПИК АТМОСФЕР НЕФТАЈЫРМА ГУРҒУЛАРЫ БОРУЛУ СОБАЛАРЫНЫН ТЕМПЕРАТУР РЕЖИМИНИН АВТОМАТИК ТӘНЗИМ ЕДИЛМӘСИ

Истәр мөвчуд олан, истәрсә дә јенидән лајиһә олунан вә һазырда һәјата кечирилмәкдә олан нефтајырма гурғулары сырасында атмосфер вә вакуум гурғулары, онларда апарылан просесләр вә һасил етдикләри мәһсулун кејфијјәт вә мигдарына көрә әсас јерләрдән бирини тутур.

Һазырда ишләјән атмосфер вә вакуум гурғуларынын техноложи апаратларынын автоматлашдырылмасы вәзијјәти һәмин апаратларын гисмән автоматлашдырылмасындан ибарәтдир.

Гисмән автоматлашдырмада һәмин апаратларын режим параметрләринин гаршылыглы әлагәси вә бүтүн гурғу үчүн характер олан әсас параметрләрә (мәсәлән, борулу собанын чыхышында вә ја калонун киришиндәки температур вә с.) көрә просесин автоматик идарә едилмәси (ја'ни комплекс) нәзәрдә тутулмур.

Буна көрә дә типик атмосфер вә вакуум гурғусунун комплекс автоматлашдырылмасынын илк нөвбәдә һәлл едиләчәк мәсәләси, һәмин гурғуларын апаратларынын бир автоматлашдырма објекти кими өјрәнилмәсиндән ибарәтдир.

Јухарыда гејд етдијимиз мәсәләләрдән бири дә борулу собадан чыхан хаммал температурунун тәнзим едилмәсидир.

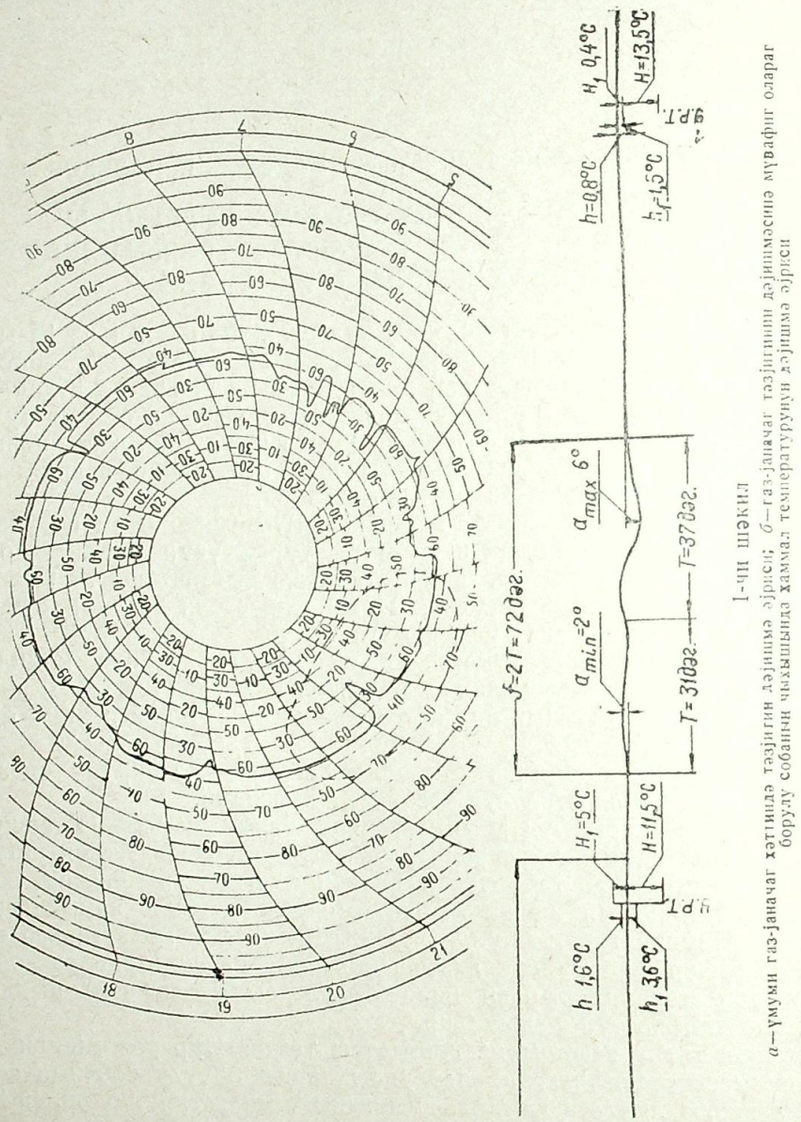
Борулу собаларын иш режимләри бир тәрәфдән собаја верилән гыздырылмыш хаммалын параметрләри (тәзјиги, сәрфи, температуру, өзлүлүјү вә с.) дикәр тәрәфдән јаначағын вә һаванын мигдары, собадан чыхан газларын параметрләри вә собадан чыхан хаммал параметрләри (температуру, өзлүлүјү, тәзјиги вә с.) илә характеризә олунур. Атмосфер гурғусундан алынан мәһсулун кејфијјәтинә вә нөвүнә тә'сир едән әсас амилләрдән бири борулу собанын чыхышындакы хаммалын температур режимидир.

Һазырда типик нефтајырма гурғулары температур режиминин тәнзим едилмәси ректификасија калонуна ишләјән борулу собанын истәр чыхышындакы, истәрсә дә ашырымындакы температурун верилән һәдләрдә сахланылмасындан ибарәт олан ики үсулла апарылыр.

Мөвчуд олан атмосфер вә вакуум борулу собаларын иш режимининин идарә олунмасы онларда сәрф олунан газ јаначағы верилишинин әллә, оператор тәрәфиндән апарылмасы илә характеризә олунур.

Белә бир һалда борулу собанын чыхышындакы хаммалы температурунун әллә тәнзим едилмәси газ јаначаг хәттиндә гојулмуш үмуми сијиртмәнин вә ја ајры-ајры форсункалара аид олан сијиртмәләрин ачылыб бағланмасындан ибарәтдир.

Мә'лум олдуғу кими борулу собанын чыхышындакы хаммалын температуру (бу температур атмосфер гурғулары собаларында 320+340°C вә вакуум гурғулары собаларында исә 420±:440°C һәдләриндә дәјишир) борулу собаја верилән хаммалын температурундан, сәрфиндән, нөвүндән, газ јаначағынын кејфијјәт вә тәзјигиндән вә с. асылы



1-чи шәкил

а—үмуми газ-јаначаг тәзјигин дәјишмә әјриси; *б*—газ-јаначаг тәзјигинин дәјишмәсинә мүвафиг олараг борулу собанын чыхышында хаммал температурунун дәјишмә әјриси

оларағ дәјишә биләр. Бу сәбәбдән дә операторун иши бу саһәдә чох кәркиндир. Газ јаначағынын тәзјиги тәхминән сабит көрүндүкдә, оператор суткада 420+440°C температур шәраитиндә 50+100° әмәлијјат вә 320+340°C температур шәраитиндә исә 50÷60 әмәлијјат апарыр. Бу әмәлијјатларын бөјүк әксәријјәти биринчи нөвбәјә дүшүр.

Борулу собанын чыхышындакы хаммал температурунун әл илә тәнзим едилмәсиндә чох вахт там јанма кетмир вә газ јаначағына

ғәнаәт едилмир; бунлардан башга собанын һәр тәрәфи бәрабәр дәрәчәдә гызмыр, чүнки форсункалара аид олан сиjиртмәләрин һамысы ејни дәрәчәдә ачыг вә ја бағлы олмур. Көстәрилән бу һал там пробилмәз (бу һал ики ахынлы борулу собалар үчүн јол верилә лидир).

Јухарыда гејд едилдији кими, үмуми гурғудан алынан мәһсулун кејфијјәти вә нөвү борулу собада кедән просесдән чох-чох асылыдыр.

Буна көрә дә нефтајырма просесләринин комплекс автоматлашдырылмасында илк нөвбәдә һәлл едиләчәк мәсәләләрдән бири дә борулу собанын иш (истилик) режиминин автоматлашдырылмасыдыр.

Апарылан мүшаһидә вә тәдгигатлардан мә'лум олмушдур ки, борулу собанын ашырымындакы вә ја чыхышындакы температур газ-јаначаг хәттиндәки тәзјигин дәјишмәсинә гаршы чох һәссас олуб, бунун азалмасы илә азалыр вә артмасы илә артыр (шәкил 1*а* вә *б*).

Типик борулу собанын (орта күчлү) ашырым вә чыхыш нөгтәләриндәки температурун автоматик тәнзим едилмәси

Сталин адына БНЗ илә сых әмәкдашлыг шәраитиндә әл үсулу илә тәнзим просеси типик гурғуларда өјрәнилмишдир. Бу өјрәнмә күндәлик мүшаһидәләрдән вә автоматлашдырмаја гәдәр олан статик материалларын тәһлил едилмәсиндән ибарәтдир. Әлдә едилән мә'луматларын тәһлил олунмасы истәр објектин статик характеристикаларынын вә истәрсә дә харичи тә'сирләр нәтичәсиндә баш верән кечид просесләринин өјрәнилмәси истигамәтиндә апарылмышдыр.

Автоматлашдырылачаг објектә—борулу собаја тәтбиг олунан харичи тә'сирләри ашағыдакы нөвләрә ајырмаг олар:

1. Сехә кәлән үмуми газ-јаначаг хәттиндә тәзјигин дәјишмәси илә (мәнбә вә ишләдичиләрдән асылы оларағ) характеризә олунан.

2. Газ-јаначаг пајлајычы шәбәкәјә гошулмуш паралел ишләјән хәтләрин ачылмасы вә гошулмасы илә әлагәдар олан.

3. Борулу собалара хаммал вуран насосларын мәһсулдарлығынын оператор тәрәфиндән дәјишдирилмәси илә әлагәдар олан.

4. Борулу собаја верилән хаммалын кејфијјәтини характеризә едән кәмијјәтләрин (хүсуси чәкисинин, өзлүлүјүнүн, фраксија тәркибинин вә с.) дәјишмәси илә әлагәдар олан.

5. Гурғудан алынан мәһсулун чешидинин дәјишмәсинә көрә, бир технолоҗи режимдән дикәринә кечирилмәси илә әлагәдар олан.

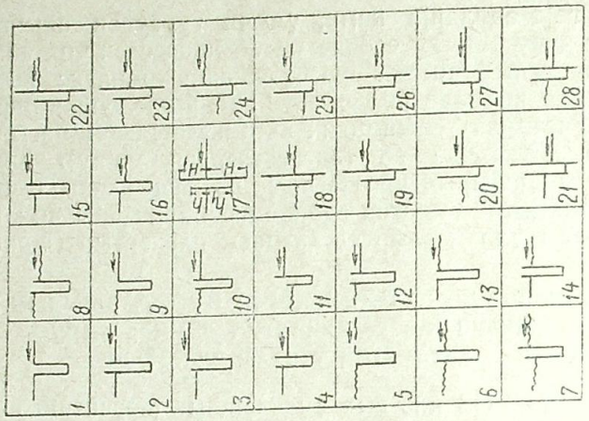
Бу көстәрилән тә'сирләрдән башга бир дә тәнзимедичи апаратура вә објект тәрәфиндән баш верән периодик тә'сирләр дә вардыр.

Тәнзим апаратурасы (мәс. изодром типли ЕПП-09) тәрәфиндән баш верән тә'сирләр мүнтәзәм сурәтдә апарылан тәчрүбәләр нәтичәсиндә мүәјјәнләшдирилмиш вә 2-чи шәкилдә көстәрилән сајда нөвләрә ајрылмышдыр.

Типик борулу собанын кечид режими, она истәр јаначаг верилән тәрәфдән, истәр хаммалын дахил олдуғу тәрәфдән вә истәрсә дә тәнзим апаратурасы тәрәфиндән мүхтәлиф үсулларла верилән импулслар нәтичәсиндә чыхышдакы температур режиминин дәјишмәси просеси нәзәрдә тутулур.

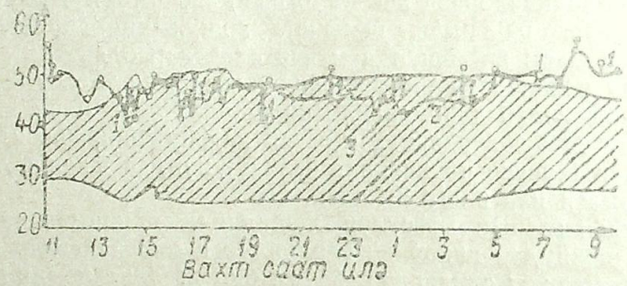
Әл илә тәнзимләмәдә операторун тәнзимләнән просесә вахтында диггәт јетирмәси, тәнзимләмә вәрдиши, оператор отағы илә објект арасында мәсафә вә с. амилләр просесин кејфијјәтинә әһәмијјәтли тә'сир едән сәбәбләрдәндир. Буна мүвафиг тәнзиметмә мүддәти орта

һесабла 0,5÷1 *дәг* олдуғу һалда, објектдән шитә гәдәр вә әксинә олан мәсафәни кетмәк үчүн исә орта һесабла 3÷4 *дәг* вахт тәләб едилир. Бурада операторун әлавә нәзарәт нөгтәләриндә вә с. әлавә ләнкимәси (1÷2 *дәг*) дә нәзәрә алынарса үмуми кечикмә мүддәти 4÷6 *дәг* олур.



2-чи шәкил
Тәнзимләјичи ЕПП-09 типли чиһаз автоматик олараг ишчи чәрәјанының јсхладыгда ән чох раст кәлән тәканларын типләри

Бу мүддәтә просесин вә ја објектин өз кечикмә мүддәти дә ($\tau_{\text{објект}}$ = =2÷3 *дәг*) әлавә едиләрсә, әл илә тәнзимләмә просесинин үмуми кечикмә мүддәти $\tau_{\text{үм}}$=6÷9 *дәг* олур.

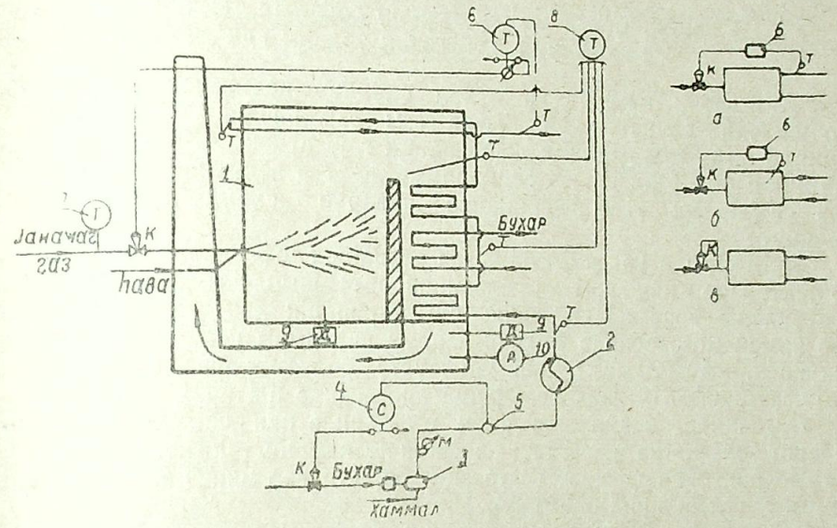


3-чү шәкил
1—ЕПП-09-ун автоматик олараг ишчи чәрәјанының јсхладығы нөгтәләр; *2*—чыхышда көрә собанын чыхышындакы хаммал температурунун тәнзим едилмәси; *3*—ашырыма көрә собанын чыхышындакы хаммал температурунун тәнзим едилмәси

Собанын ашырымына көрә тәнзимләмәдә (бах шәкил 4 *б*) собанын чыхышындакы хаммал температурунун сабитләшдирилмәси газ-јанаҹаг мигдарыны дәјишмәклә вә ашырымдакы температуру мүәјјән һәдләрдә (750÷800°C) сахламагла мүмкүн олур. Бу нөв тәнзим просеси бир тәрәфдән ашырымын характер нөгтәләриндә температурун кениш һәдләрдә пулсасијасы илә, дикәр тәрәфдән газ-јанаҹаг сәрфинин кениш һәдләрдә (25÷50%) дәјишмәси илә әлагәдардыр (3-чү шәкил). Бунунла әлагәдар олараг собанын чыхышындакы хаммалын температуру да пулсасија едир. Бу пулсасијанын амплитуду (10÷15)°C, тезлији исә 40 *пулс/саат* олур.

Беләликлә, типик атмосфер собасынын ашырымындакы характер нөгтәнин температуруна көрә верилән јанаҹағын тәнзими чыхышдакы сахламаға имкан вермәсинә бахмајараг газ јанаҹағынын сәрфи вә ашырымдакы температур чох кениш һәдләрдә (20÷25)% дәјишир. Бу исә борулу собада температурун најланмасы вә истилик көркинлијинин гејри-нормал шәраитдә олмасы үзүндән конвексија вә бухар гыздырычы гурулушу боруларынын јанараг сырадан чыхмасы илә нәтичәләнә биләр.

Бу көстәриләнләри нәзәрә алараг, јухарыда характеризә едилән ачыг тәнзим системини (ашырыма көрә тәнзимдә) бүтүн һалларда тәтбиг етмәк олмаз.



4-чү шәкил
Борулу собанын иш режиминин автоматик тәнзим едилмәси схеми

Собанын чыхышына көрә тәнзимләмәдә (бах шәкил 4 *а*) исә собанын чыхышындакы хаммал температурунун сабитләшдирилмәси газ-јанаҹаг мигдарыны дәјишмәклә вә собанын чыхышындакы температуру мүәјјән һәдләрдә (мәсәлән, мүәјјән нөв хаммал үчүн 320÷325°C) сахламагла мүмкүн олур. Бу нөв тәнзим системиндә собанын ашырымынын характер нөгтәләриндә температурун кениш һәдләрдә дәјишмәси баш вермир.

Тәнзим системинә 04-ЕПП-09 типли чиһаз дахил етдикдә системдә јухарыда көстәрилән тип тәканларын периодик олараг (һәр 2 саат 40 дәгигәдән бир) тәкрар олунмасына бахмајараг систем јенә дә чох дајаныглы вә кејфијјәтли ишләмишдир. Бә'зи һалларда тәнзим системи ики нөв тәкана (04-ЕПП-09 вә газ-јанаҹағы тәзјигинин, хаммал сәрфинин дәјишмәси вә с. тәрәфдән јаранан тәканлара) мә'руз галдыгда белә тәнзим едилән параметр өз әввәлки гијмәтиндән јалныз ±1, ±2°C (бах шәкил 1 *б*) дәјишмиш олур ки, бу да бурахылан һәдд дахилиндәдир. Бүтүн бунлар бу нөв тәнзим системинин чох кејфијјәтли вә јарарлы олдуғуну исбат едир.

Типик собанын чыхышында хаммал температурунун јухарыда гејд олунан һәр ики үсулла тәнзим едилмәсинин арашдырылмасындан ашағыдакы үмуми нәтичәләри чыхармаг олар:

1. Типик собанын температур режиминин тәнзим едилмәсиндә собанын чыхышына көрә тәнзим үсулу собанын ашырымына көрә тәнзим үсулундан даһа әлверишлидир.

2. Типик собаја автоматик тәнзим системинин бир елементи кими бахараг она тә'сир едән типик тәканлар мүәјјән едилмиш вә бу тәканлар шәраитиндә чыхыша көрә тәнзимләмәдә тәнзим системи өзүнү дајаныглы бир систем кими апармыш вә тәнзиметмә просеси кејфијјәтчә тәләбаты тамамилә өдәмишдир.

3. Әлдә едилмиш нәтичәләр вә бунларын узун мүддәт типик собаларда истеһсалат шәраитиндә сынагдан кечирилмәси системин бир сыра завод објектләриндә тәтбигини төвсијјә етмәјә имкан вермишдир[1].

Типик бөјүк күчлү борулу собанын температур режиминин автоматик тәнзим едилмәси

Автоматик нәзарәт вә тәнзим схеминә кечмәздән әввәл тәнзим објектинин өзүндә, онун јаначаг газы верилишинин принсипиал схеминдә апардығымыз әсас дәјишиклији гејд етмәк лазымдыр. Бу дәјишиклик бир тәрәфли вә гејри-симметрик газ верилишини икитәрәфли вә симметрик газ верилишинә чевирмәк схеми илә характеризә олунур.

Икитәрәфли вә симметрик газ верилиши схеминдә (5-чи шәкил) објектин һәр ики јары һиссәләринин чыхышындакы хаммалын температурлары арасындакы гејри симметриклији (20°÷40°С) минимума кәтирмәк мәсәләсиндә форсункаларын пајлајычы коллектору ики сексијаја ајрылмышдыр. Бунлардан түстү борусу тәрәфдә 3 вә гаршылыглы тәрәфдә 4 форсунка јанма просесиндә иштирак едир.

Беләликлә, техноложи схем е'тибарилә ики симметрик һиссәдән ибарәт олуб, газ верилиши вә јанма просеси нөгтеји-нәзәриндән гејри симметрик олан нәзарәт вә тәнзим објекти һәр ики нөгтеји-нәзәрдән симметрикләшдирилмиш олур.

Беләликлә, тәдгиг олунан типик објект (борулу соба агрегаты) техноложи вә енеркетик чәһәтдән бир-бирилә сых гаршылыглы әлагәдә олан пајланмыш параметрли вә ејни бир хаммал насосундан бәсләнән ики паралел дөврәдән ибарәтдир. Һәмин паралел дөврәләрдән һәр бири өз техноложи вә енеркетик кириш-ләри вә чыхышлары, биринин о биринә олан пајланмыш харичи тә'сири илә характеризә олунур.

Симметрикләшдирилмиш објект бир-бирилә сых әлагәдә олан јанма просеси вә ајры-ајры ики тәнзиметмә системи илә әлагәдардыр.

Симметрикләшдирмәнин нәтичәсиндә јанма апаратларынын (типик форсункаларын) гејри симметрик ишләмәсинә бахмајараг, паралел дөврләрин чыхышларындакы параметрләрин, хүсусән температурларын гејри симметриклији хејли азалдылмыш вә гаршылыглы әлагәдар ики тәнзим системинин јарадылмасы үчүн шәраит әлдә едилмишдир. Бу шәраитдән истифадә едәрәк ишләнилмиш вә јени тип чиһазлардан истифадә едилмиш нәзарәт вә тәнзим системи дә симметрик

[1] Ишин бу мәрһәләсиндә, борулу собанын јохланыша һазырланмасында лабораторијанын кичик елми ишчиси Ә. Әбилов иштирак етмишдир.

ола билмишдир. Објектин автоматик идарә едилмәсинин принсипиал схеми 5-чи шәкилдә көстәрилмишдир.

Бу схем өзүнүјүндә бир-бирилә гаршылыглы әлагәдар олан ики автоматик тәнзим системинин алынмасы илә характеризә олунур.

Типик борулу собада үмуми һал үчүн ики ахында температур режиминин тәнзим едилмәси мәсәләси һәр бир ахында ајрыча гојулмуш ичраедичи клапана тә'сир етмәклә ашырымдакы температурун мејли вә мејлин төрәмәси нәзәрә алынараг јеринә јетирилир.

Тәнзимләмә објекти хаммалын вә јаначағын верилмәси чәһәтдән ашағыдакыларла характеризә олунур.

а) собаја ики ахынлы верилән хаммалын сәрфинин автоматик сабитләшдирилмәси илә;

б) собаја верилән газ јаначағынын ики ичраедичи клапандан кечәрәк ики сексијаја ајрылмыш коллектора верилмәси илә.

Борулу собанын чыхышына көрә тәнзимләмә објекти схеми һәр ахына көрә ајрылыгда температурун нәзарәти вә тәнзим едилмәсилә вә собадан чыхан хаммалын колоннаја дахил олдуғу јердә температурунун нәзарәт едилмәсилә характеризә олунур.

Тәнзимләмә ганунуна ашырымда температурдан алынан импулсун (һәр ахын үчүн ајрыча олараг) дахил едилмәси үчүн пропорсионал типли тәнзимләјичи потенсиометрдән истифадә едилмишдир.

Типик гурғунун иш режиминин өјрәнилмәси көстәрмишдир ки, собадан чыхан хаммал кејфијјәтинин јахшылашмасы һәр ахынын ајрылыгда тәнзимләнмәсиндән чох асылыдыр.

Јухарыда көстәрилән мәсәләнин һәлл едилмәсиндә АУС вә МАУС-лардан истифадә едилмишдир.

Бир собаја верилән јаначағын үмуми сәрфинин нәзарәт едилмәсиндә БИ-16 типли блок интегратордан истифадә едилмишдир.

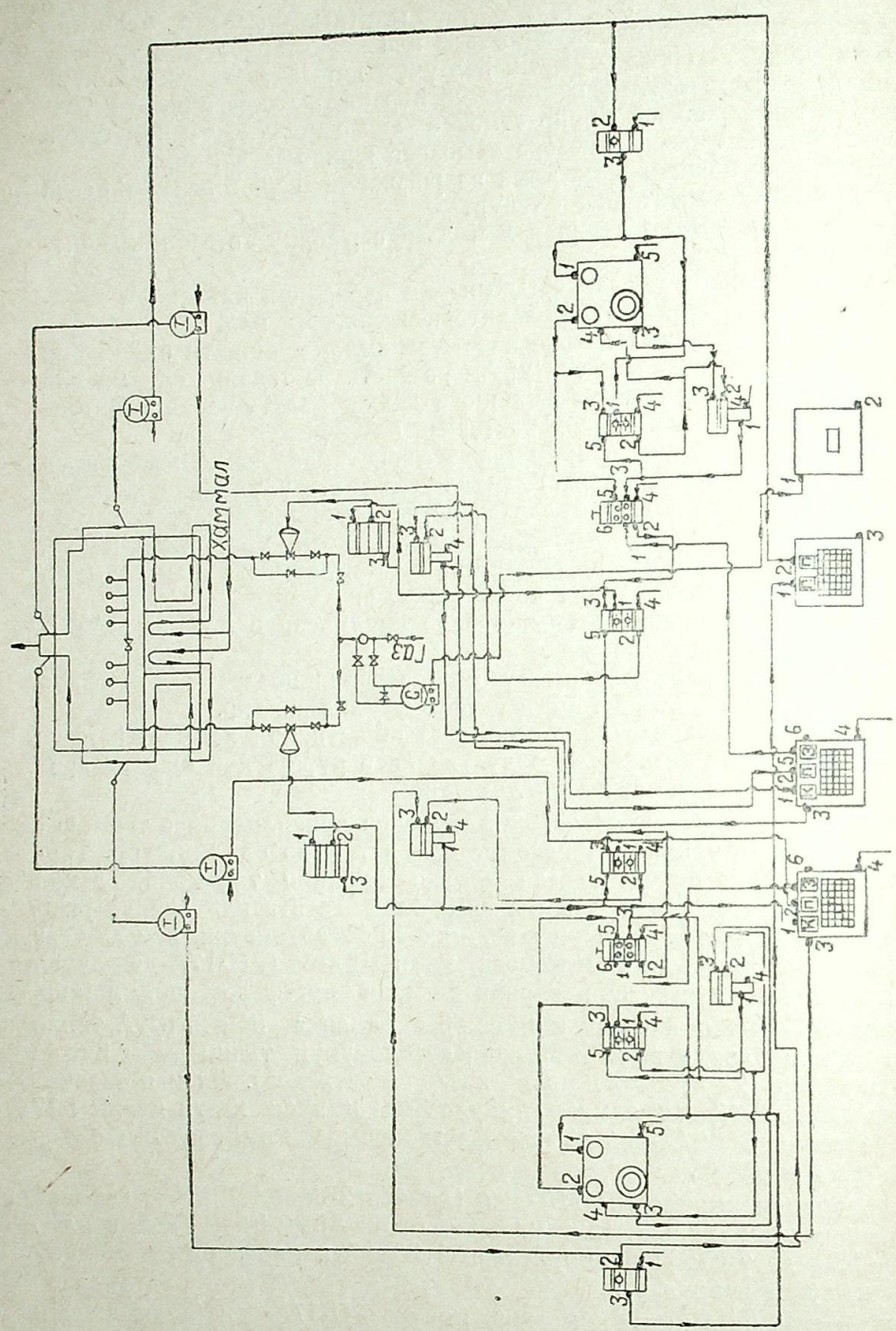
Гејд етмәк лазымдыр ки, тәнзимләмә објекти һәм хаммал, һәм дә газ-јаначаға көрә ики ахынлы олдуғуна көрә бураја ики ејни нәзарәт вә тәнзимләмә схеми тәтбиг едилмишдир.

Температур импулсунун тәзјиг импулсуна чеврилмәсиндә термочүт вә пропорсионал типли потенсиометрдән истифадә едилмишдир. Тәнзимләмә ганунуна бу импулсдан алынан биринчи төрәмәнин дахил едилмәси БП-27 А типли габагламычы блок васитәсилә јеринә јетирилмишдир. Објектин истилик режиминин һәм автоматик, һәм дә узаг мәсафәдән әл илә тәнзим едилмәси үчүн БД-18 (РП-17А-да дахил олмагла) типли дистансион верићи блокдан истифадә едилмишдир.

Блок БД-18-дән алынан импулс ејни заманда һәм 5РБ-9А типли тәнзимләјичи блокун вә 2РБ-25А әлавә блокунун тапшырычы һиссәсинә верилир (2—3; 2—5 импулс хәтти васитәсилә). Әл илә тәнзимләмәдә исә БД-18-дән алынан импулс 3—3 импулс хәтти илә РП-17 А-ја верилир. БП-27А-дан алынан фактики чыхыш импулсу 5РБ-9А-ја (камера 1) верилир.

Идарәедичи импулс РП-17А-дан (камера 2-дән) 2РБ-25 А (камера 3)-дан кечәрәк икинчи тәнзимләјичи блока—5РБ-9А-ја дахил олур (2РБ—25А-да үч кириш импулслары 1, 3 вә 5 камераларында тапшырычы импулса чеврилир).

Бу блокда ишләнмиш ахырынчы импулс РП-17А-дан (дәјиштиричи реле) вә ПР-14-дән (аралыг реле) кечәрәк ичраедичи клапана верилир. Ичраедичи клапана кедән тәнзимләјичи импулс, ејни заманда, ЗРЛ-29В типли икинчи чиһазын өлчү елементинә верилир. Бундан ЗРЛ-29В типли икинчи чиһазын өлчү елементинә верилир. Бундан мәгсәд узаг мәсафәдән, јә'ни оператор отағындан ичраедичи клапанын вәзијјәтинә нәзарәт етмәкдир. Бу икинчи чиһаза, ејни заманда, тән-



5-чи шәкил

Борулу собанын температур режимини автоматик тәнзим едилмәси схеми.

зимләнән параметрин вериҹидә чевриләп фактики гиҹмәтини характеризә едән импулс да дахил олур.

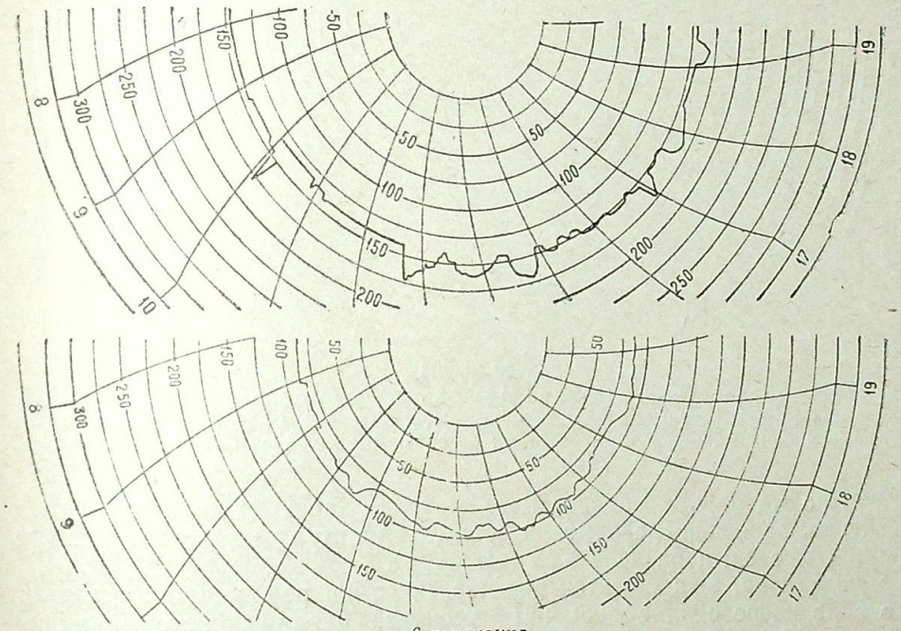
Тәдгиг едилән типик објектин јаначагла вә хаммалла тә'мин олунмасы шәраити ејни олан ики һалдан биринҹидә идарәетмә просеси әл илә, о биринҹидә исә јени автоматик тәнзим системи илә апарылмасыны нәзәрә аларағ мүвафиг тәнзим просесләрини мүгаҹисә едәк.

Гејд етмәк лазымдыр ки, тәнзим објекти өз физики хассәләри е'тибарилә физики даҹаныглыдыр (өз-өзүнә тәнзимләмә хассәсинә вә бөјүк аккумулјасија габилиҹјәтинә маликдир).

Буну нәзәрә аларағ һәр ики тәнзиметмә үсулуну бир-бирилә мүгаҹисә етдикдә, мүвафиг тәнзим просесләрини јалныз кејфиҹјәт характеристикалары нөгтеји-нәзәриндән мүгаҹисә етмәк мәгсәдәујғун вә кифајәтдир.

Әввәлчә, һәр ики параллел дөврәнин әллә идарә едилмәси просесинин (мәсәлән, чыхышындакы температурун мүәјјән һәдләрдә сахланмасыны) кејфиј.әтини характер иш режими үчүн нәзәрдән кечирәк.

Истәр I вә истәрсә дә II паралел дөврәләрә аид олан тәнзим просесинин кедишини көстәрән әјриләрдән (шәкил 6 *а* вә *б*) ашағыдакы нәтиҹәләри чыхармаг олур.



6-чы шәкил

Әл илә тәнзимләмәдә борулу собанын чыхышында хаммал температурунун дәјишмә әјриси (204 №-ли гурғу, 11 декабр 1959-чу ил)

а—собанын чәнуб јарымһиссәсиндә; *б*—собанын шимал јарымһиссәсиндә.

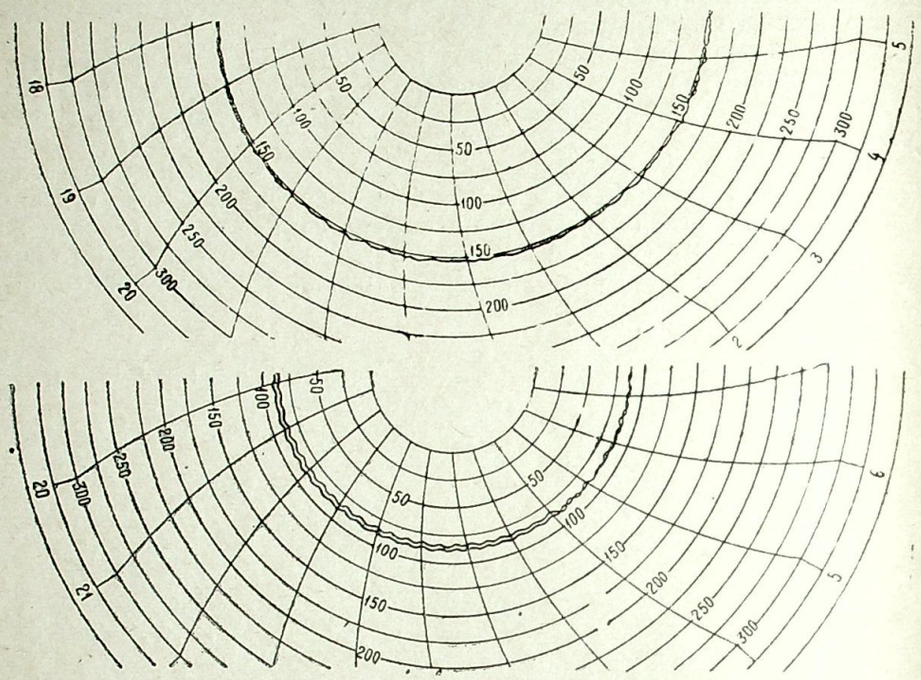
1) објектин паралел дөврәләринин чыхышындакы температурларын тәканлар нәтиҹәсиндә верилмиш гиҹмәтә нисбәтән дәјишмәси, демәк олар ки, арасы кәсилмәдән вә јол верилмәз һәдләрдә (верилмиш гиҹмәтә нәзәрән 12—14%) давам едир;

2) һәмин дәјишмә чох вахт периодик вә бә'зән исә кәскин вә апериодик олур;

3) бу дәјишмәләрин периоду узун мүддәтли заман фасиләси илә характеризә олунур (30—150 *дәг*).

Инди һәмин објектин ејни шәраитиндә харичи тәканлар нәтичәсиндә автоматик тәнзим системиндә баш верән тәнзим просесинин кејфијјәт хүсусијјәтләрини характер һал үчүн мүәјјән едәк.

1) објектин паралел дөврәләринин чыхышындакы температурун верилмиш гиҹмәтә нисбәтән меҗли бурахыла билән һәдләрдә давам едир (шәкил 7 *а* вә *б*).



7-чи шәкил

Автоматик тәнзимләмәдә (АУС вә МАУС-ларла) борулу собанын чыхышында хаммал температурунун дәјишмә әјриси (204 №-ли гурғу, 14 декабр 1959-чу ил)
а—собанын чәнуб јарымһиссәсиндә; *б*—собанын шимал јарымһиссәсиндә.

2) һәмин меҗил арасыкәсилмәз, периодик характер дашыјыр.

3) бу периодик дәјишмәнин икигат амплитуду вә периоду сабит олур (мәсәлән; периоду $T=1$ *саат* олур).

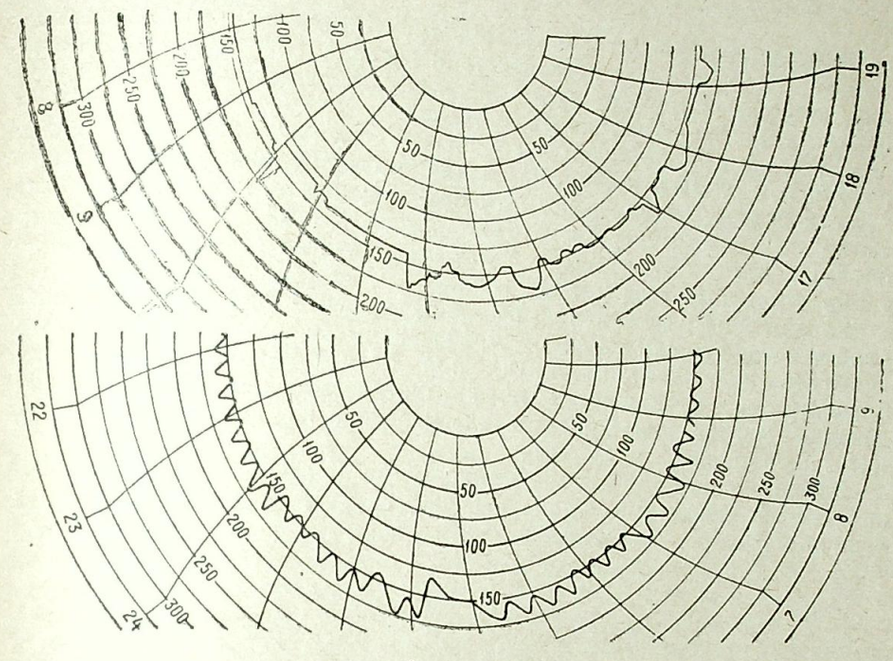
Беләликлә, ејни објектин ејни шәраитдә иш режиминин автоматик вә әллә идарә едилмәсинин мүгајисәсиндән биринчи системин икинчиҗә нисбәтән гат-гат јүксәк кејфијјәтли олдуғу ајдын көрүнүр.

Јени тәнзим системи (АУС вә МАУС апаратларындан истифадә едилмиш) илә идарә олунан објектдә давам едән тәнзим просесинин дајаныглыг вә кејфијјәтини көһнә тәнзим системи (04 типли тивматик тәнзимчиси олан ЕПД-32-дән истифадә едилмиш) илә ишләјән ејни типли објектдә апарылан тәнзим просеси илә мүгајисә етдикдә ашағыдакы нәтичәләри әлдә етмиш оларыг.

1. Јени системдә давам едән тәнзим просесинин статик хәтасы 1—1,5% (24 саат әрзиндә) олдуғу һалда (бах шәкил 7 *а*, *б*), көһнә системдә давам едән просесин хәтасы 2—3% (24 саатда) олур (шәкил *а б.*)

2. Јени вә көһнә систем шәраитиндә кедән тәнзим просесиндә температурун дәјишмәси һәр ики һалда рәгси характер дашыјыр.

Бу рәгси просесин икигат амплитуду, ја'ни температурун дәјишмә диапазону I һалда орта һесабла 2—3% һәдләриндә, II һалда исә орта һесабла 6—10% һәдләриндә олур. Һәр ики тәнзим просесинин рәгс периодлары (T) гиҹмәтчә бир-бириндә чох јахындыр. Бу исә, јухарыда гејд едилдиҗи кими, мүгајисә олунан мүвафиг објектләрин ејни динамик хүсусијјәтләрә малик олмасыны тәсдиг едир.



8-чи шәкил

Автоматик тәнзимләмәдә (04-ЕПД-32 илә) борулу собанын чыхышында хаммал температурунун дәјишмә әјриси (203 №-ли гурғу, 10 декабр 1959-чу ил).
а—собанын чәнуб јарымһиссәсиндә; *б*—собанын шимал јарымһиссәсиндә

3. Јени системдә көһнә системә нәзәрән даһа дәрин вә кәскин характерли тәкан шәраитиндә кедән кечид просеси динамик хәтасы е'тибарилә рәгси тәнзим просесинин амплитуду һәдләриндә, кечид просесинин мүддәти (2—3) T олдуғу һалда, көһнә тәнзим системиндә мүвафиг кәмиҗјәтләр (динамик хәта вә кечид просесинин мүддәти) 2—3 дәфә чох олур.

Беләликлә, истәр јени системдә вә истәрсә дә көһнә системдә давам едән тәнзим просесләри реал харичи тәканлар шәраитиндә дајаныглы олдуғу һалда, кејфијјәт нөгтеји-нәзәриндән јени системдә кедән кечид просеси гат-гат кејфијјәтли олур.

Технолоҗи гурғуда апарылан ректификасија просеси нәтичәсиндә алынан мәһсулларын кејфијјәтинә һәмин кечид просеси кејфијјәтинин һәлледичи тә'сири олдуғуна көрә јени системин тәтбиг едилмәси лазым вә вачибдир[2].

---

[2] Ишин икинчи мәрһәләсинин јохланыш апарылмасы һиссәсиндә лабораторијанын аспиранты Ә. Һ. Әбилов кичик елми ишчиләри Ә. Әзизов, З. Лүтфуллазадә вә Р. Гәмбәрли гисмән иштирак етмишләр.

М. А. Топчибашев, Ф. И. Хасмамедов, З. Г. Насибов

Автоматическое регулирование температурного режима типовой трубчатой печи с взаимо-связанными цепями, содержащими распределенные параметры

РЕЗЮМЕ

В резюмируемой статье излагаются результаты проведенных в порядке содружества с производством экспериментальных исследований на типовых трубчатых атмосферных установках Бакинского нефтеперерабатывающего завода им. Сталина.

Изучение статических и динамических режимов при характерных возмущающих воздействиях позволило выявить динамические переходные характеристики работы типовых трубчатых печей. Использование этих характеристик на базе разработанных на действующих объектах дало возможность перейти на автоматическое регулирование температуры сырья на выходе печи.

Характерной особенностью разработанных и осуществленных схем является то, что они отвечают требованиям не разомкнутых систем регулирования, которые до сих пор осуществлялись и имеют ряд недостатков, а замкнутых систем автоматического регулирования, создающих благоприятные условия для перехода на комплексную автоматизацию типовой установки.

В системе использована новейшая контрольная и регулирующая аппаратура. Созданная система успешно прошла длительное промышленное испытание и принята к внедрению.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН ХӘБӘРЛӘРИ
Физика-рijазијjат вә техника елмләри серијасы, 1960, № 2.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Серия физико-математических и технических наук, 1960, № 2

Т. М. АЛИКИШИБЕКОВА

ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ИСТОЩЕННЫЕ НЕФТЕНОСНЫЕ ПЛАСТЫ МЕТОДОМ СОЗДАНИЯ ФРОНТА ГОРЕНИЯ В НИХ

Общая характеристика задачи и проведения исследований. В настоящее время большое значение приобретает проблема улучшения экономических показателей добычи и эффективности использования нефтеносных площадей.

Применяемые методы воздействия на нефтяной пласт не обеспечивают полного использования запасов нефтяных залежей, коэффициент нефтеотдачи остается еще довольно низким.

Данные ряда исследователей как советских, так и зарубежных показывают, что применение даже вторичных методов разработки обеспечивает добычу в среднем лишь 30—40% нефти, вследствие чего в недрах истощенных пластов остаются огромные запасы нефти. Сюда следует отнести и те месторождения, которые с самого своего открытия, ввиду малой их продуктивности, не разрабатывались.

Неполное извлечение нефти из недр обусловливается в основном действием поверхностно-молекулярных сил, сил сцепления нефти с породой, фазовой проницаемости и т. д.

Таким образом, для решения этой важной проблемы необходимо использование факторов, которые оказали бы радикальное действие на весь пластовый комплекс в целом.

Современная наука выдвигает ряд методов искусственного воздействия на пласт, среди которых значительный интерес представляет метод теплового воздействия, метод приложения тепла к залежи.

Перспективность применения тепловой энергии для вторичной добычи нефти из истощенных месторождений предопределяется тем, что тепло значительно снижает вязкость нефти, обеспечивает ее большую подвижность.

Методы термического воздействия на пласт находятся в ранней стадии разработки. Работы по изучению отдельных вопросов и первые опыты по тепловому воздействию были начаты в Советском Союзе. После первого периода, связанного с принципиальным освоением процесса, эта проблема продолжает развиваться как у нас, так и за рубежом—в Америке и других странах. Об этом свидельствуют появившиеся в печати материалы. Так. Дж. Мак Нил и Т. Нельсон отмечают: „Создание фронта горения в пласте является новым многообещающим методом добычи нефти, применяя который можно извлекать большую часть содержащейся в пласте нефти за сравнительно короткое время. С энономической точки зрения метод, по-видимому,

уже представляет интерес применительно к промысловым условиям, существующим в настоящее время в ряде районов США.

Дальнейшее развитие метода будет способствовать более широкому его применению. В результате добыча нефти за счет применения термических методов будет составлять существенную долю общей добычи и во многих областях США [4].

Не касаясь истории вопроса развития термических методов, следует отметить, что в нефтедобыче тепловую энергию можно применять в различных вариантах и в различном оформлении самого процесса воздействия.

При применении термического фактора в добыче нефти можно выделить два направления: прогрев забоя эксплуатационных скважин; тепловое воздействие на пласт в целом.

В свою очередь тепловое воздействие на пласт в целом может быть осуществлено следующими вариантами: а) созданием фронта горения в пласте; б) нагнетанием в пласт нагретого теплоносителя (воды, пара, газа); в) созданием в пласте токопроводящих каналов, служащих нагревательными элементами.

Прогрев призабойной зоны не решает проблемы полного извлечения нефти из пласта, так как радиус действия его небольшой, и остаточная нефть пласта не подвергается влиянию такого прогрева. Для решения задачи полного извлечения нефти наиболее перспективен и представляет значительный интерес вариант с созданием фронта горения в пласте. Метод создания в пласте перемещающейся тепловой волны, т. е. высокотемпературной зоны за счет частичного сжигания нефти непосредственно в пласте, является наиболее экономичным, ибо при удачном осуществлении не требует затрат топлива с поверхности, а также исключаются тепловые потери в стволе скважины (происходящие при поверхностном нагреве теплоносителя, подводимого в забой).

Вместе с тем надо отметить, что для осуществления проблемы создания фронта горения в пласте и применения его в добыче необходимо разрешение целого ряда задач, связанных с исследованием условий и механизма горения в пористой среде в зависимости от качественных и количественных характеристик нефтепластовых компонентов. Нужно изучить тепловые закономерности, т. е. условия теплопередачи в пористой среде, определить гидродинамические закономерности при движении жидкости и газов в пористой среде и др.

В связи с уменьшением в Азербайджане ввода новых нефтеносных площадей является целесообразным и даже необходимым применение новых методов добычи нефти с целью использования огромных запасов так называемой неизвлекаемой нефти на уже разведанных месторождениях.

В этой связи нами были начаты исследования с целью изучения возможности применения теплового фактора в добыче нефти методом частичного сжигания нефти в пласте применительно к разведанным месторождениям Азербайджана.

Сложность изучаемой проблемы заключается в необходимости сочетания химических, тепловых и гидродинамических факторов в процессе исследований и анализа явлений. Последнее послужило основанием для проведения исследований в два этапа: первый—лабораторные—исследования, второй—исследование процесса на опытных стендах модели пласта в земле.

В данной статье излагаются результаты первого этапа, намеченных нами исследований.

Были проведены две серии опытов. Первая имела целью выявить экспериментально основные факторы, обусловливающие создание передвижного фронта горения в слое естественных нефтяных песков. Вторая серия опытов была организована для определения влияния основных переменных величин процесса: скорости воздуха, качественных характеристик нефтяного песка на ход процесса горения и на нефтеотдачу.

Экспериментальная часть. Для проведения исследований была спроектирована и изготовлена укрупненная экспериментальная установка, схема которой дана в ранее опубликованной статье [1].

Главной частью установки была металлическая труба диаметром 40 *см* и длиной 140 *см*. Труба размещалась в горизонтальном направлении и была оборудована с одной стороны приспособлением для подачи воздуха и для электрического зажигания нефтяного песка, а с другой—аппаратурой для улавливания и измерения газов и жидкости.

За продвижением фронта горения наблюдения велись с помощью термопар, расположенных вдоль центральной оси трубы на расстоянии 20 *см* друг от друга.

Для создания очага горения служила специально изготовленная электропечь мощностью 9 *квт*, расположенная на дутьевом конце модели, и силитовые трубки, введенные в слой непосредственно у устья дутья. В процессе проведения опытов регулировался расход подаваемого воздуха и замерялся выход газа и жидкости. Периодически производился их анализ.

Опыты проводились на естественных нефтяных песках, взятых из свиты КС в районе Кирмаку.

Кирмакинская нефтеносная порода представляет собой многокомпонентную систему, состоящую в основном из минеральной основы—песчаника и мелкозернистой глины (твердая фаза), нефти и воды (жидкая фаза), определенным образом связанным между собой.

Нефть, содержащаяся в порах песка, относится к числу тяжелых нефтей с удельным весом 0,94—0,98, высокосмолистых и сильноокисленных.

Среднее содержание нефти в породе КС-7—14% по весу породы. Водонасыщенность по отдельным прослоям КС колеблется в широких пределах: от 2 до 9%.

Труба заполнялась нефтяным песком в количестве 200—210 *кг*, который уплотнялся до пределов возможности в лабораторных условиях. После загрузки и подготовки установки опыт начинался с прогрева начального участка нефтепесчаного слоя до температуры 270—300° С.

Указанный выше оптимальный режим температуры нагрева песка при котором происходит воспламенение нефти, был установлен опытным путем.

При достижении температуры нефтяного песка в месте прогрева порядка 270—300° С начинали подачу воздуха в установленном для каждого опыта количестве.

При воспламенении нефти температура начального участка резко возрастала до 400—500° С, что указывало на начало процесса горения (последнее контролировалось также путем анализа газов).

После того как наличие горения было установлено, электронагреватель выключался и производилось наблюдение за ходом процесса при тщательном контроле скорости воздуха, давления и температуры.

При достижении фронтом горения другого конца трубы опыт прекращался.

В результате проведенных замеров определялись: скорость продвижения фронта горения, расход воздуха, давление, развиваемые температуры, степень полноты сгорания, количество полученных жидких и газообразных продуктов и их анализ.

В различных опытах менялся характер электрических, тепловых, дутьевых показателей процесса, а также свойства нефтеносного песка.

Обсуждение экспериментальных данных. В результате проведенных экспериментальных исследований в лабораторных условиях были установлены некоторые закономерности процесса горения нефти в естественных нефтяных песках, в частности, характер тепловой волны, механизм вытеснения нефти, влияния на процесс горения показателей нефтеносных песков и т. п.

Основные результаты опытов представлены в таблице.[1]

Данные опытов

Загружено, *кг*	Нефтенасыщенность, %	Скорость продвижения фронта горения, *см/м*	Максим. температура, °С	Количество дутья, *л/мин*	Давление, *атм*	Выход жидкой нефти, %	Примечания
209	9,4	0,14	885	58	2,6	—	Фронт горения не доведен до конца модели
205	9,0	0,17	733	60	2,2	—	То же
206	9,5	0,13	994	54	2,7	—	То же
210	8,9	0,44	722	66	2,4	41,7	Фронт горения доведен до конца
203	9,6	0,32	828	49	1,9	54,9	То же
210	10,8	0,56	564	64	1,4	63,7	То же
212	11,5	0,31	691	40	2,4	38,0	То же
208	12,0	0,47	610	62	1,5	53,1	То же

Характер тепловой волны. Важной характеристикой, раскрывающей сущность процесса развития фронта горения в нефтяных песках является температура.

На рис. 1, 2 представлены графики изменения температуры во времени, а также изменение температур по длине модели для различных моментов времени.

Анализ опытных кривых показывает, что в нефтяном песке распространялась поддерживаемая устойчивым горением тепловая волна, которая продвигалась по направлению дутьевого потока, сохраняя в среднем температуру порядка 700—800° С. Температура перед и за высокотемпературной зоной была значительно ниже.

[1] В таблице приведены усредненные значения параметров.

Наивысшая температура фронта горения, достигнутая в наших опытах, была порядка 1070° С.

Из приведенных кривых видно, что максимальная температура достигнутая на различных участках трубы, поддерживалась непродолжительное время, что указывает на незначительную ширину огневой зоны.

Как видно из рис. 1, кривые в период воспламенения имеют резкий перегиб, характеризующий переход от медленного возрастания температуры к быстрому росту в момент развития очага горения. Пологий же характер кривых свидетельствуют в медленном процессе охлаждения.

Следует отметить, что в ряде опытов наблюдалось явление прососка фронта горения, что приводило к неравномерному контуру выгорания породы. Ход таких кривых приведен на рис. 3.

Другим важным параметром, связанным с температурным режимом горения нефти, является значение скорости продвижения фронта горения.

На рис. 4 представлен график зависимости скорости продвижения очага горения от скорости дутья (построенный на опытных данных), где отчетливо выявляется влияние скорости дутья на продвижение огневой зоны.

Как видно из рис. 4, в пределах исследованных скоростей дутья с повышением скорости дутья скорость продвижения фронта горения увеличивается. Наивысшая скорость, полученная в опытах, была порядка 0,56 *см/мин* (при $Q=64$ *л/мин*, $P=1{,}5$ *атм*).

По лабораторным данным, скорость продвижения очага горения по потоку дутья в исследованных природных нефтяных песках при средней скорости дутья 60—70 *л/мин* и $P=1{,}5$—3 *атм* колебалась в пределах 0,2—0,5 *см/мин*.

О механизме горения нефти в пористой среде и ее вытеснения. Процесс горения нефти в пористой среде представляет собой сложный физико-химический процесс.

Сложность процесса состоит в том, что тепловой режим процесса неразрывно связан с протеканием химических реакций, различных гидродинамических факторов, а также с изменением структуры самой нефти, где имеет место крекинг, разложение и перегонка сырой нефти.

В результате проведенных опытов, одной из задач которых было выявление специфических особенностей, характерных для горения нефти в естественных нефтяных песках, в условиях, обусловливающих подземную обработку пласта, было установлено, что горение нефти в породе можно разделить на две стадии: 1) подготовка топлива, включая его подсушку, испарение легких фракций, образование коксовой оболочки вокруг песчинок; 2) реагирование коксового остатка с кислородом дутья.

Как показали опыты, в сложном процессе горения основным звеном является горение кокса, образующегося на поверхности песчинок. Это следует из того, что: 1) горение коксового остатка является наиболее длительной стадией процесса, в результате чего оно лимитирует весь процесс горения в целом; 2) горение кокса является основным источником тепловыделения.

Основным отличием процесса горения нефти в песчаной среде является то, что в качестве горючей фазы в процессе участвует нефтяной песок в состоянии естественного его залегания.

При наличии неподвижной горючей фазы зоны горения по мере протекания процесса перемещаются.

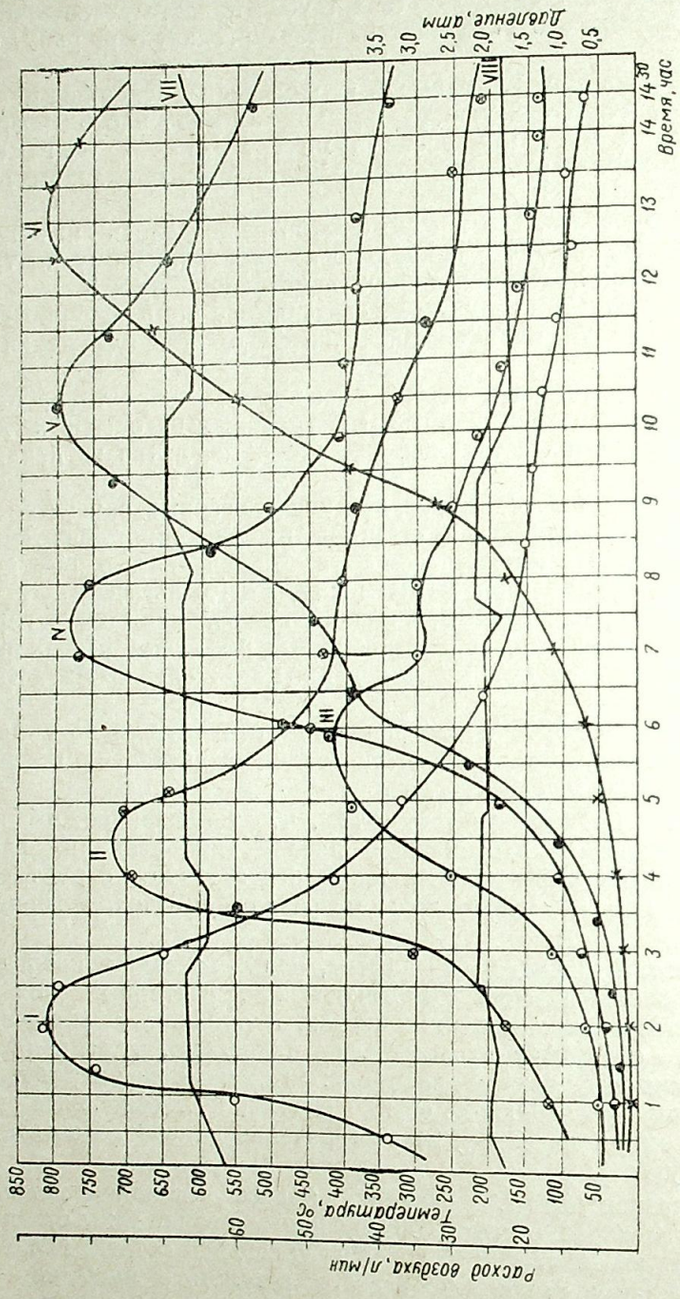


Рис. 1

Основные показатели процесса во времени: I, II, III, IV, V, VI—номера термопар; VII, VIII—параметры дутья.

Путем непосредственного наблюдения за нефтепесчаной набивкой в различных стадиях процесса было установлено наличие одновременно четырех переходящих одна в другую зон, расположенных

вдоль трубы,—выгоревший песок, зона горения, зона ококсованного песка, зона насыщенного нефтяного песка.

Образование этих зон объясняется тем, что по мере продвижения фронта горения легкие фракции нефти испаряются и уходят в холодную часть пористой среды, где конденсируются. Тяжелые фракции под воздействием температуры частично испаряются, а частично разлагаются с образованием кокса, который сгорает при дальнейшем увеличении температуры.

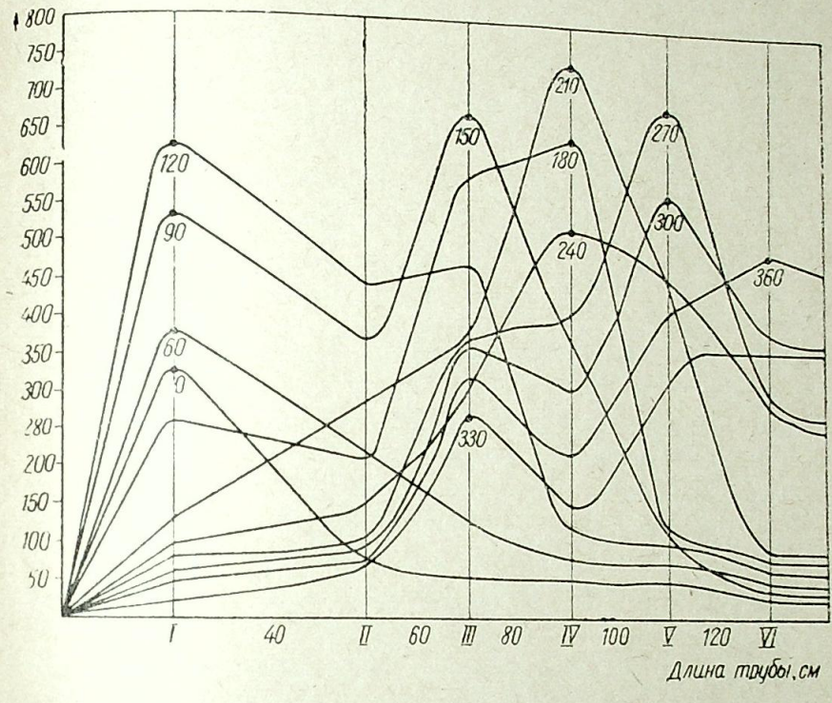


Рис. 2

I, II, III, IV, V, VI—номера термопар; 30, 60, 90—время от начала опыта, *мин.*

Исходя из отмеченных выше соображений можно сделать вывод, что устойчивое горение нефти в породе в основном зависит от количества отложившегося кокса, которое, в свою очередь, зависит от качества вытесненной нефти.

В проведенных опытах было установлено, что в среднем своем значении расход нефти в качестве топлива составляет 17—21% по весу.

Надо отметить, что полученные нами данные с незначительным расхождением подтверждают результаты опытов других исследователей, проведенных в этой области [3, 4].

О механизме вытеснения нефти. При продвижении фронта горения в нефтяном песке происходят различные, но тесно связанные друг с другом и одновременно проявляющиеся процессы, действующие на механизм вытеснения нефти. Основным процессом, создающим условие для механизма вытеснения нефти, является горение нефти.

В результате сгорания тяжелых остатков нефти в виде кокса выделяется тепловая энергия, которая передается нефти за счет теплопроводности через песчаник и излучения от частицы к частице.

Одновременно с этим горение вызывает побочные факторы, действующие на режим вытеснения нефти.

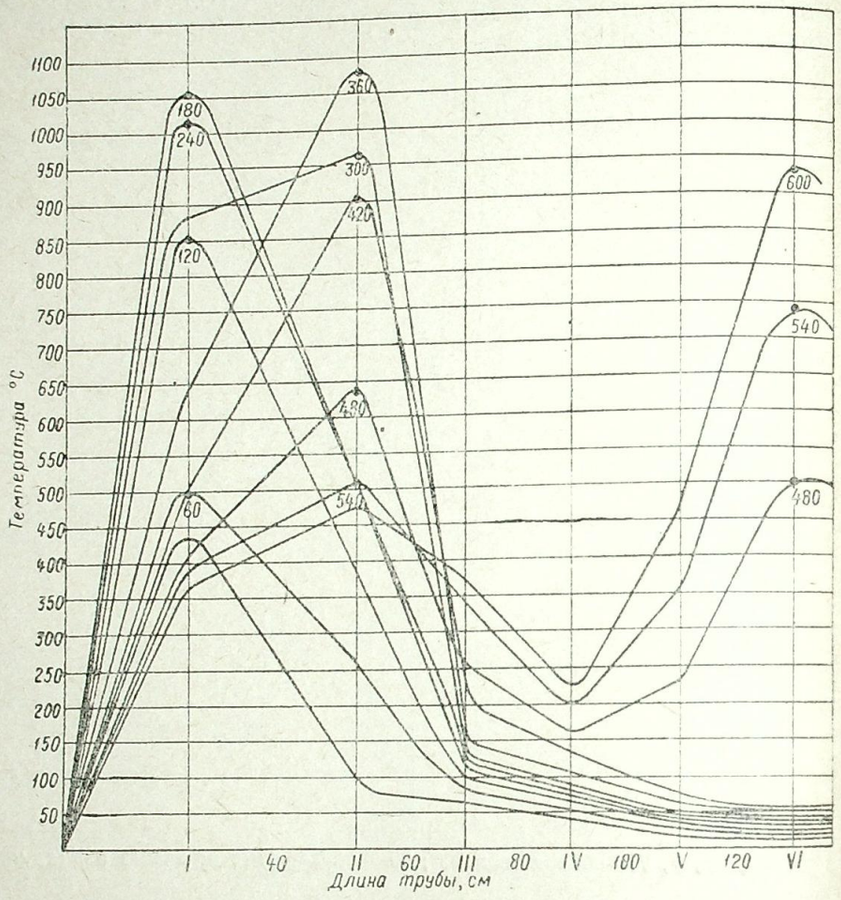


Рис. 3

I, II, III, IV, V, VI—номера термопар; 30, 60, 90—время от начала опыта. *мин.*

К числу таких факторов относятся:

Вытеснение паром. Одним из продуктов сгорания нефти на поверхности песчинок является углеводородный пар. Этот пар вместе с паром, образовавшимся за счет испарения воды, содержащейся в породе (в зоне горения), проходя дальше по слою, имеющему низкую температуру, конденсируется, выделяя при этом большое количество скрытой теплоты испарения.

Выделившееся тепло уменьшает вязкость нефти и увеличивает эффективность ее вытеснения.

Вытеснение жидкостью. Высокая температура фронта горения вызывает разложение нефти и ее крекирование, в результате чего образуются легкие парообразные и газообразные углеводороды, которые, смешиваясь с нагретой нефтью, увеличивают ее подвижность.

Вытеснение газом. Продвижение нефти происходит под влиянием нагнетаемого воздуха, смешанного с газообразными продуктами. Одновременно с этим газообразные продукты горения переносят тепло к нефти и частично растворяются в ней, уменьшая ее вязкость.

Таким образом, при движении очага горения по потоку окислителя тепловой баланс процесса горения будет определяться следующим

$$Q_т = (Q_{пор.} - Q'_{пор.}) + Q_{пр.\,сг.} + Q_{пот.} - Q_{окисл.},$$

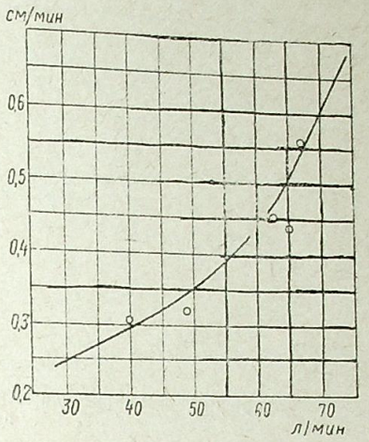


Рис. 4

Зависимость продвижения фронта горения от скорости дутья

где $Q'_{пор.}$—количество тепла, переданное в единицу времени продуктами сгорания нефтеносной породе;

$Q_{окисл.}$—количество тепла, воспринятое в единицу времени потоком окислителя от нагретой породы;

$Q_т$—химическое тепло нефти, выделяющееся в единицу времени при сгорании:

$Q_{пор.}$—расход тепла в единицу времени на нагрев породы от начальной температуры $t_{пл.}$ до средней действительной температуры горения;

$Q_{пр.\,сг.}$—количество тепла, которое выносят в единицу времени продукты сгорания из очага горения;

$Q_{пот.}$—потери тепла в единицу времени в окружающее очаг горения пространство.

Составление, решение и анализ уравнения, учитывающего все виды теплопередачи, встречают затруднение преимущественно математического характера.

В общем виде это уравнение для нестационарного режима при одномерном распространении тепла (вдоль координаты x) имеет следующий вид.

$$-C\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial x},$$

где C—объемная теплоемкость вещества;

T—температура;

t—время;

q—общий тепловой поток, равный сумме трех потоков $q = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$, обусловленных теплопроводностью, конвекцией и излучением.

Влияние на процесс горения водонасыщенности и нефтенасыщенности нефтяного песка. С целью выявления влияния водонасыщенности нефтяного песка на процесс горения были произведены

опыты, где использовались нефтяные пески с содержанием влаги от 2,5 до 9,2%.

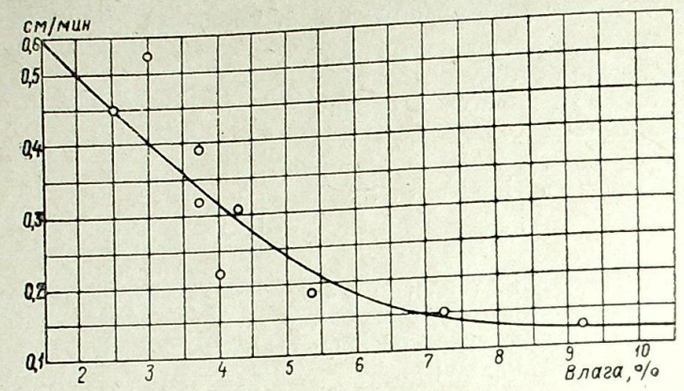


Рис. 5
Зависимость скорости продвижения фронта горения от содержания влаги в породе

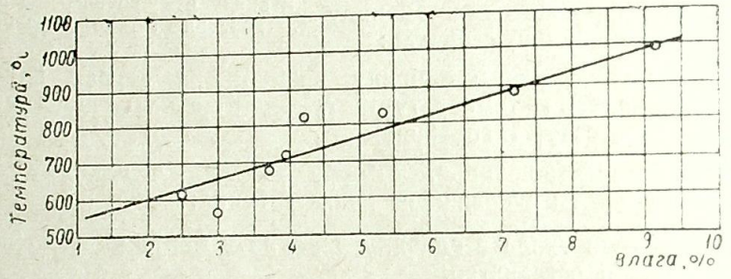


Рис. 6
Изменение максимума температур в зависимости от содержания влаги в породе

На рис. 5, 6 показан характер изменения фронта горения, а также скорости его перемещения в зависимости от содержания влаги в породе.

Как видно из рис. 5 и 6, с увеличением влаги в породе скорость продвижения фронта горения уменьшается, а температура увеличивается.

Представляет интерес тот факт, что максимальная температура горения в опыте с более высоким содержанием влаги в породе выше, чем в опытах с менее влажным песком. Казалось бы, в породе с мокрым нефтяным песком воздух, поступающий в очаг горения, разбавляется водяными парами, а кроме того, на испарение влага расходуется тепло, в то время как в опытах с более сухим песком этих расходов нет. Непосредственный замер температур дает прямо противоположную картину. Это явление еще раз подчеркивает сложность и своеобразие теплового режима горения нефтяного песка.

Одно из возможных объяснений этого явления состоит в следующем: Как показали проведенные опыты, применение сильно влажного песка снижает скорость продвижения фронта горения, а последнее приводит, с одной стороны, почти к полному выгоранию тяжелых остатков—кокса, отложившихся на песчинках, а, с другой стороны, уменьшает расходование тепла, а, следовательно, и уменьшает теплоотвод вдоль слоя.

В свою очередь снижение теплоотвода, значительно превышающее эффект, связанный с расходом тепла на испарение влаги и нагрев водяных паров, приводит к увеличению температуры горения.

Для выяснения влияния на процесс горения количества содержащейся в породе нефти были поставлены опыты с нефтяным песком с содержанием нефти от 12 до 6% по весу.

Как показали опыты, с увеличением количества нефти в породе увеличивалась скорость перемещения очага горения.

В породе с содержанием нефти ниже 7% получить устойчивый очаг горения не удалось. Однако для полного суждения о влиянии нефтенасыщенности песка на процесс горения необходима постановка специальных опытов.

Продукты процесса. Основными продуктами процесса являлись жидкая нефть и газ. Полученные газы по существу были обычными газами неполного сгорания с содержанием небольшого количества легких углеводородов.

Газ имел следующий состав: CO_2—5—6%, CO—4—7%, O_2—9—10%, H_2—2%.

Нефтеотдача в виде жидкой нефти составляла в среднем 50—55% от ее первоначального содержания.

При оценке полученных результатов следует учесть, что нефть, содержащаяся в кирмакинских песках, относится к типу сильноокисленных и по существу представляет собой асфальтообразную массу.

Полученная нефть по сравнению с нефтью, первоначально насыщающей породу, имела меньший удельный вес—0,823 и меньшую вязкость.

Выводы

1. Проведенные эксперименты показали возможность создания и продвижения в естественных (кирмакинских) нефтяных песках тепловой волны, поддерживаемой горением.

2. За счет нагнетания воздуха в нефтяные пески и сжигания части нефти непосредственно в слое создается энергия, необходимая для движения нефти по пласту; при этом эффективность нефтеотдачи составляет 50% от первоначального содержания нефти в породе.

3. Установлены значения температур, необходимые для непрерывного продвижения фронта горения, некоторые параметры механизма горения нефти в песчаной массе, а также влияние на процесс горения нефте- и водонасыщенности породы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аликишибекова Т. М. Экспериментальное исследование процесса теплового воздействия на пласт. „Изв. АН Азерб. ССР", 1959, № 4.
2. Чудновский А. Ф Теплообмен в дисперсных средах. Гостехиздат, 1954.
3. Шейнман А. Б., Белова Г. М. Экспериментальное изучение зависимости нефтеотдачи от термического фактора. Труды Ин-та нефти, т. 5, Изд-во АН СССР, 1955.
4. Mc. Niel J. and Nelson T. Thermal methods provide 3 ways to improve oil recovery. „Oil and Gas", 1959, vol. 57, № 3.

Т. М. Әликишибәјова

Күчдән дүшмүш нефт лајларына онларын дахилиндә јанғы очағы јаратмагла алынан истилик васитәсилә тә'сир едилмәси

ХҮЛАСӘ

Мәгаләдә лајда, онун нефтвермә габилиҗҗәтини артырмаг үчүн һәрәкәт едән јанғы очағы јаратмағын мүмкүн олмасыны мүәјјән етмәк үчүн апарылмыш тәдгигатларын биринчи һиссәсинин нәтичәләри шәрһ едилир.

Лабораторија шәраитиндә апарылмыш тәчрүбәләр васитәсилә нефтин мәсамәли мүһитдә јанмасынын бә'зи ганунлары мүәјјән едилмишдир.

Апарылмыш тәдгигат тәбии нефтли гум мүһитиндә (Гырмаку јатағында) јанма васитәсилә истилик далғасы јаратмағын вә һәрәкәт етдирмәјин мүмкүн олдуғуну көстәрир.

Мүәјјән едилмишдир ки, һава вурулмасы вә нефтин бир һиссәсинин јанмасы һесабына лајда нефтин һәрәкәт етмәси үчүн тәләб едилән енержи алыныр вә нәтичәдә лајын нефтвермә габилиҗҗәти сүхурдакы нефтин илк мигдарынын 50%-нә чатыр.

Јанманын фасиләсиз олараг һәрәкәт етмәси үчүн лазым олан температурун гијмәти вә нефтин гум күтләсиндә јанма механизминин бә'зи параметрләри тә'јин едилмишдир.

Јанма просесинә сүхурдакы сујун вә нефтин мигдарынын тә'сири мүәјјән едилмишдир.

31 декабря 1959 года состоялось избрание академиков и членов-корреспондентов Академии наук Азербайджанской ССР.

Избранными оказались крупнейшие ученые нашей республики, обогатившие науку своими ценными исследованиями.

По отделению физико-математических и технических наук академиком избран доктор технических наук, заслуженный деятель науки, профессор Кулиев Сафтар Мехти оглы.

Членами-корреспондентами избраны: доктор технических наук, профессор Джуварлы Чингиз Мехти оглы, доктор технических наук, профессор Мамедов Ширали Насирзаде, доктор физико-математических наук, профессор Ибрагимов Ибрагим Ибиш оглы.

Академик Академии наук Азербайджанской ССР, проф С. М. Кулиев известен ученым и нефтяникам Советского Союза как крупный специалист в области бурения нефтяных и газовых скважин. Своими научными исследованиями С. М. Кулиев оказывает большую помощь развитию нефтяной промышленности. Свою научную работу С. М. Кулиев проводит в тесной связи и содружестве с передовиками нефтяной промышленности.

В течение тридцати лет он ведет научно-педагогическую работу в Азербайджанском институте нефти и химии. Его перу принадлежит свыше 70 опубликованных научных работ, в том числе и учебники для вузов. Под руководством С. М. Кулиева более 20 аспирантов успешно защитили кандидатские диссертации и 14 готовятся к защите.

Член-корреспондент Академии наук Азербайджанской ССР проф. Ч. М. Джуварлы является видным ученым-энергетиком, ведущим важные исследования в области техники высоких напряжений. Ч. М. Джуварлы—автор 48 опубликованных работ, посвященных вопросам техники высоких напряжений—электрической изоляции в энергосистемах, дуговых перенапряжений, интенсификации различных технологических процессов в нефтяной промышленности.

Под руководством и при участии проф. Ч. М. Джуварлы в Энергетическом институте Академии наук Азербайджанской ССР разрабатываются вопросы повышения устойчивости работы электрических систем, увеличения пропускной способности длинных линий электропередач, исследования перенапряжений в электрических системах, координации изоляции в линиях электропередачи и подстанциях, работающих в условиях загрязнения.

Член-корреспондент Академии наук Азербайджанской ССР, проф. Ш. Н. Мамедов является крупным ученым в области разработки и разведки месторождений полезных ископаемых. Ш. Н. Мамедов—автор 35 научных работ, посвященных актуальным вопросам горнодобывающей промышленности: монографий, учебников и учебных пособий. Труды проф. Ш. Н. Мамедова способствовали решению многих теоретических и практических задач горнодобывающей промышленности—этой важнейшей отрасли народного хозяйства республики.

Проф. Ш. Н. Мамедов вел большую научно-педагогическую работу в Азгосуниверситете им. С. М. Кирова. Под его руководством 3 аспиранта успешно защитили кандидатские диссертации и 5 готовятся к защите.

Член-корреспондент Академии наук Азербайджанской ССР, проф. И. И. Ибрагимов—видный ученый-математик, ведущий исследования в области конструктивной теории функций.

Результаты работ проф. И. И. Ибрагимова являются важным вкладом в современную теорию функций и нашли отражение в его учебниках и монографиях. Им опубликовано 39 работ.

К последним весьма ценным результатам проф. И. И. Ибрагимова можно отнести изучение экстремальных свойств целых функций, тригонометрических полиномов и алгебраических многочленов.

Проф. И. И. Ибрагимов вел большую научно-педагогическую работу в Азербайджанском педагогическом институте им. В. И. Ленина. Под его руководством защищено 15 кандидатских диссертаций.

1959-чу ил декабрын 31-дә Азәрбајҹан ССР Елмләр Академијасына јени академикләри вә мүхбир үзвләр сечкиси кечирилмишдир.

Республикамызын, өз гијмәтли тәдгигатлары илә елми сәнкинләшдирән көркәмли алимләриндән бир групу академик вә мүхбир үзв сечилмишләр.

Академијанын Физика-Ријазијјат вә Техника Елмләри шө'бәси үзрә академикликә техника елмләри доктору, әмәкдар елм хадими, профессор Гулијев Сәфтәр Мећди оғлу сечилмишдир.

Мүхбир үзвлүјә техника елмләри доктору, профессор Чуварлы Чинкиз Мећди оғлу, техника елмләри доктору, профессор Мәммәдов Ширәли Нәсирзадә, физика-ријазијјат елмләри доктору, профессор Ибраһимов Ибраһим Ибиш оғлу сечилмишләр.

Азәрбајҹан ССР Елмләр Академијасынын академики, профессор С. М. Гулијев нефт вә газ гујуларынын газылмасы саһәсиндә көркәмли мүтәхәссисдир. О, өз елми тәдгигатлары илә нефт сәнајесинин инкишафына бөјүк көмәк көстәрир. С. М. Гулијев јолдаш өз елми ишиндә нефт сәнајесинин габагчыл ишчиләри илә сых әлагә сахлајыр.

Профессор С. М. Гулијев отуз илдир ки, Азәрбајҹан Нефт вә Кимја Институтунда елми-педагожи иш апарыр. Онун 70-дән чох елми әсәри, о чүмләдән дә али мәктәбләр үчүн 2 дәрслији чап олунмушдур. С. М. Гулијевин рәһбәрлији алтында 20-дән чох аспирант мүвәффәгијјәтлә намизәдлик диссертасијасы мүдафиә етмиш вә 14 аспирант мүдафиәјә һазырлашыр.

Азәрбајҹан ССР Елмләр Академијасынын мүхбир үзвү, профессор Ч. М. Чуварлы јүксәк көркинликләр техникасы саһәсиндә мүһүм тәдгигат ишләри апаран көркәмли енеркетика алимидир. О, јүксәк көркинликләр техникасы мәсәләләринә—енержи системләриндә електрик изолјасијасына, нефт сәнајесиндә мүхтәлиф техноложи просесләрин интенсивләшдирилмәсинә вә с. һәср едилмиш 48 мәтбу әсәрин мүәллифидир.

Профессор Ч. М. Чуварлынын рәһбәрлији алтында вә онун билаваситә иштиракы илә Азәрбајҹан ССР Елмләр Академијасынын Енеркетика Институтунда електрик системләри ишинин давамлылығынын артырылмасы, узун електрикөтүрүчү хәтләрин чәрәјан бурахма габилијјәтинин јүксәлдилмәси, електрик системләриндә ифрат көркинлијин тәдгиги, зибилләнмә шәрантиндә ишләјән јарымстансијаларда вә електрикөтүрүчү хәтләрдә изолјасијанын әлагәләндирилмәси мәсәләләри ишләниб һазырланыр.

Азәрбајҹан ССР Елмләр Академијасынын мүхбир үзвү, профессор Ш. Н. Мәммәдов фајдалы газынты јатагларынын кәшфијјаты вә ишләнмәси саһәсиндә чалышан көркәмли алимдир. О, дағ-мә'дән сәнајесинин актуал мәсәләләринә һәср олунмуш 35 елми әсәрин—монографија, дәрслик вә тәдрис вәсаитинин мүәллифидир. Профессор Ш. Н. Мәммәдовун әсәрләри дағ-мә'дән сәнајесинин—республикамызда халг тәсәррүфатынын бу мүһүм саһәсинин бир чох нәзәри вә әмәли мәсәләләринин һәлинә көмәк етмишдир.

Профессор Ш. Н. Мәммәдов С. М. Киров адына Азәрбајҹан Дөвләт Университетиндә бөјүк елми-педагожи иш апармышдыр. Онун рәһбәрлији алтында 3 аспирант мүвәффәгијјәтлә намизәдлик диссертасијасы мүдафиә етмиш вә 5 аспирант мүдафиәјә һазырлашыр.

Азәрбајҹан ССР Елмләр Академијасынын мүхбир үзвү, профессор И. И. Ибраһимов функсијаларын конструктив нәзәријјәси саһәсиндә тәдгигат апаран көркәмли ријазијјатчы алимдир.

Профессор И. И. Ибраһимовун апардығы тәдгигат ишләринин нәтичәләри мүасир функсијалар нәзәријјәсинә гијмәтли бир һәдијјә олуб, мүәллифин монографија'ары вә дәрсликләриндә өз әксини тапмышдыр. Индијә гәдәр онун 39 әсәри чап олунмушдур.

Тригонометрик полиномларын, чәбри чохһәдлиләрин вә там функсијаларын екстремал хассәләринин өјрәнилмәси профессор И. И. Ибраһимовун сон заманлар апардығы елми-тәдгигат ишләринин гијмәтли нәтичәләридир.

Профессор И. И. Ибраһимов В. И. Ленин адына Азәрбајҹан Дөвләт Педагожи Институтунда бөјүк елми-педагожи иш апармышдыр. Онун рәһбәрлији алтында 15 намизәдлик диссертасијасы мүвәффәгијјәтлә мүдафиә едилмишдир.

Ә. М. Мәммәдов

МҮНДӘРИЧАТ

Ә. С. Чәфәров. *n*-һармоник функсијаларын бә'зи хассәләри һаггында . 3
Ә. Ш. Һәбибзадә. Бир үмумиләшмиш һилберт мәсәләси һаггында 19
С. А. Сәмәдова. Гејри-хәтти ади диференсиал тәнликләр системинин дөврү лимит режиминин варлығы 27
Ө. Х. М. Әлијев. Сүрүшмәјә мүгавимәт көстәрмәјән еластики јарымфәзанын сәрбәст сәтһиндән бирөлчүлү сферик далғаларын ин'икасы 35
Һ. Б. Абдуллајев, Г. М. Әлијев, В. Б. Антонов, Ә. А. Башшалијев, А. З. Гулијев, Ј. Н. Нәсиров. Тәбии галенитин вә халкопиритин истилик вә електрик хассәләринин тәдгиги 49
Б. Д. Әлијев, Һ. Б. Абдуллајев, Г. М. Әлијев. Селенин електрик хассәсинә бисмут ашгарларынын тә'сири 57
Н. Нәсиров. Һидроген вә метан газларынын азот 4-оксидилә јанмасында бә'зи мәсәләләр 65
Ә. Х. Хәлилов, Ф. К. Исајев. Поликристаллик CdS јарымкечиричисинин фотоелектрик һәссаслығынын спектрал пајланмасынын конденсатор методу илә тәдгиги 75
Ә. Х. Хәлилов, С. З. Рзајева. Молекуллараралы гаршылыглы тә'сирин карбоһидрокенләрин комбинасијалы сәпилмә хәтләринин интенсивлијинә тә'сири 79
Ч. М. Чуварлы, М. И. Әбдүррәһманов. Шәбәкәнин номинал көркинлији вә конфигурасијасынын јерләбирләшдиричи арасыкәсилән гөвсләрдән әмәлә кәлән ифрат көркинликләрә тә'сири 85
Ч. М. Чуварлы, М. М. Чәфәрова. Изоляторларын үзәриндәки шеһ дамлаларынын бухарланма заманына тач һадисәсинин тә'сири 95
А. С. Әлизадә. Азәрбајҹан ССР-дә гасырға һадисәләринин комплекс тәдгигинин тәшкили 101
Ф. Һ. Һүсејнов, Т. Н. Һачыјев. Енержисистем јүкүнүн статик вә динамик характеристикалары 107
М. Ә. Бағыров, Г. В. Вечхајзер. Нефтвермәни артырмаг мәгсәдилә нефт лајына електротермики тә'сир 123
О. С. Мәммәдјаров. Нисбәтән узун електрик верилиш хәтләринин кечирмә габилијјәтинин артырылмасы һаггында 133
Ш. Н. Мәммәдов, Һ. Һ. Мухтаров. Дамартипли јатагларын ишләнилмәсиндә филизин кичик диаметрли дағымларла сәмәрәли гопарылмасы 141
М. А. Топчубашов, Ф. И. Хасмәммәдов, З. Һ. Нәсибов. Типик атмосфер нефтајырма гурғулары борулу собаларынын температур режиминин автоматик тәнзим едилмәси 155
Т. М. Әликишибәјова. Күчдән дүшмүш нефт лајларына онларын дахилиндә јанғы очағы јаратмагла алынан истилик васитәсилә тә'сир едилмәси 167
Хроника 179

СОДЕРЖАНИЕ

А. С. Джафаров. О некоторых свойствах n-гармонических функций . 3

А. Ш. Габибзаде. Обобщенная задача Гильберта 19

С. А. Самедова. Существование периодического предельного режима нелинейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений 27

О. Х. М. Алиев. Отражение одномерных сферических волн от свободной поверхности упругого полупространства, не сопротивляющегося сдвигу . . . 35

Г. Б. Абдуллаев, Г. М. Алиев, В. Б. Антонов, А. А. Башшалиев, А. З. Кулиев, Я. Н. Насиров. Исследование тепловых и электрических свойств природного галенита и халкопирита 49

Б. Д. Алиев, Г. Б. Абдуллаев, Г. М. Алиев. Электрические свойства селена с примесью висмута 57

Я. Н. Насиров. О некоторых вопросах горения смесей водорода и метана с двуокисью азота 65

А. Х. Халилов, Ф. К. Исаев. Исследование спектрального распределения фотоэлектрической чувствительности поликристаллического полупроводника конденсаторным методом 75

А. Х. Халилов, С. З. Рзаева. Влияние межмолекулярного взаимодействия на интенсивность линий комбинационного рассеяния света углеводородов 79

Ч. М. Джуварлы, М. И. Абдуррахманов. Влияние номинального напряжения и конфигурации сети на перенапряжения от перемежающихся заземляющих дуг в сети с изолированной нейтралью 85

Ч. М. Джуварлы, М. М. Джафарова. Влияние короны на время испарения капель росы на поверхности изоляторов 95

А. С. Ализаде. Постановка комплексного исследования грозовых процессов в Азербайджанской ССР 101

Ф. Г. Гуейнов, Т. Н. Гаджиев. Статические и динамические характеристики нагрузки энергосистем 107

М. А. Багиров, Г. В. Вечхайзер. Электротермическое воздействие на нефтяные пласты в целях интенсификации нефтеотдачи 123

О. С. Мамедъяров. О повышении пропускной способности протяженных линий передач 133

Ш. Н. Мамедов, Г. Г. Мухтаров. Эффективная отбойка руды шпурами уменьшенного диаметра при разработке жильных месторождений . . 141

М. А. Топчибашев, Ф. И. Хасмамедов, З. Г. Насибов. Автоматическое регулирование температурного режима типовой трубчатой печи с взаимосвязанными цепями, содержащими распределенные параметры . . 155

Т. М. Аликишибекова. Тепловое воздействие на истощенные нефтеносные пласты методом создания фронта горения в них 167

Хроника 179

Чапа имзаланмыш 13/VI 1960-чы ил. Кағыз форматы 70×108 1/16. Кағыз вәрәги 5,75.
Чап вәрәги 15,75. Нәс.-нәшријјат вәрәги 14,5. ФГ 13204.
Сифариш 142. Тиражы 780.

Азәрбајчан ССР Мәдәнијјәт Назирлијинин «Гызыл Шәрг» мәтбәәси.
Бакы, Һәзи Асланов күчәси, 80.

Азәрбајҹан ССР
Елмләр Академијасынын ашағыдакы
журналларына 1960-ҹы ил үчүн
АБУНӘ ГӘБУЛУ ДАВАМ ЕДИР

„АЗӘРБАЈҸАН КИМЈА ЖУРНАЛЫ“

Илдә 6 нөмрә чыхыр.
Һәр нөмрәнин гијмәти 8 манатдыр.

**„АЗӘРБАЈҸАН ССР
ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН
МӘ'РУЗӘЛӘРИ“**

Илдә 12 нөмрә чыхыр.
Һәр нөмрәнин гијмәти 4 манатдыр.

**„АЗӘРБАЈҸАН ССР
ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН
ХӘБӘРЛӘРИ“**

«Азәрбајҹан ССР
Елмләр Академијасынын Хәбәрләри»
ашағыдакы серијалар үзрә чыхыр:

1. Кеолокија-ҹоғрафија елмләри серијасы.
2. Физика-ријазијјат вә техника елмләри серијасы.
3. Биолокија вә тибб елмләри серијасы.
4. Ичтимаи елмләр серијасы.

Һәр серија илдә 6 нөмрә чыхыр.
Һәр серијанын иллик абунә гијмәти 48 манатдыр.
Һәр нөмрәнин гијмәти 8 манатдыр.

Абунә „Сојузпечат“ вә бүтүн почта шө'бәләри тәрәфиндән гәбул олунур.

*Азәрбајҹан ССР
Елмләр Академијасы Нәшријјаты*