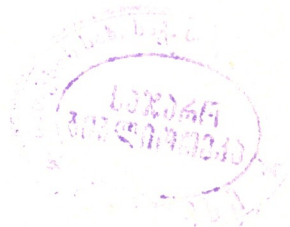


საქართველოს სსრ  
მეცნიერებათა აკადემიის  
მ ო ლ ბ ე

ტომი XIV

ქიკიტაძე, ქართული გაგონება

1953



საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა

თბილისი

6242.

O. შიკუა

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი

კოში-რიმანის განზოგადებულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნების  
ერთი თვისების შესახებ

1. კოში-რიმანის განზოგადებულ განტოლებათა სისტემას ჩვენ ვუწოდებთ შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემას:

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} + au + bv = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + cu + dv = 0, \quad (1)$$

სადაც  $a, b, c, d$  — ნამდვილი  $x$  და  $y$  არგუმენტების ნამდვილი უწყვეტი ფუნქციებია  $z = x + iy$  სიბრტყის რაიმე  $T$  არეში.

ტ. კარელმანის შედეგებზე დაყრდნობით [1], შრომაში [2] მე დამტკიცებ შემდეგი თეორემა:

თუ ნამდვილი  $x$  და  $y$  არგუმენტების ნამდვილი  $u(x, y)$  და  $v(x, y)$  ფუნქციების წყვილი წარმოადგენს (1) განტოლებათა სისტემის  $T$  არეში რეგულარულ ამოხსნას, მაშინ ფუნქცია

$$\varphi(z) = U(z) \exp \left[ -\frac{i}{\pi} \iint_T \frac{A(t) U(t) + B(t) \overline{U(t)}}{U(t)(t-z)} dT \right] \quad (2)$$

ჰოლომორფულია  $T$  არეში.

აქ

$$U = u + iv, \quad \overline{U} = u - iv, \quad (3)$$

$$A = \frac{i}{4} (a - d + ic + ib), \quad B = \frac{i}{4} (a + d + ic - ib). \quad (4)$$

იგულისხმება, რომ  $T$  არე სასრულია.

ამ თეორემას ფუნდამენტალური მნიშვნელობა აქვს იმ ფუნქციების თეორიისათვის, რომელნიც (1) განტოლებათა სისტემას აკმაყოფილებენ. ფუნქციათა ამ კლასზე (2) ფორმულის დახმარებით ადვილად ზოგადდება ერთი კომპლექსური არგუმენტის ანალიზურ ფუნქციათა რიგი ძირითადი თვისებები (იხ. [2]).

ქვემოთ მოცემული იქნება (2) ფორმულის ახალი დამტკიცება. ეს დამტკიცება არ იყენებს კარელმანის შედეგებს. პირიქით, უკანასკნელნი მიიღებინ როგორც უბრალო შედეგი (2) ფორმულიდან.



2. (1) განტოლებათა სისტემა ჩვენ შეგვიძლია ჩავწეროთ ერთი კომპლექსური განტოლების სახით:

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{z}} + AU + B\bar{U} = 0, \tag{5}$$

სადაც  $\frac{\partial U}{\partial \bar{z}}$  აღნიშნავს კომპლექსურ გაწარმოებას დ. პომპეიუს აზრით [2, 3].

$T$  არეში უწყვეტ ფუნქციათა კლასს, რომელთათვისაც, პომპეიუს აზრით, წარმოებული არსებობს და უწყვეტია  $T$  არეში, ჩვენ აღვნიშნავთ  $C_{\bar{z}}(T)$ -თი. ძნელი არაა დამტკიცდეს, რომ თუ  $U \in C^1(T)$ , მაშინ  $U \in C_{\bar{z}}(T)$ , ამასთან

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{z}} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial x} + i \frac{\partial U}{\partial y} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{i}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right). \tag{6}$$

ამავე დროს, როგორც ირკვევა,  $C_{\bar{z}}(T)$  კლასი  $C^1(T)$  კლასზე უფრო ფართოა [2].

[2]-ში მიღებული განმარტების თანახმად, ნამდვილ  $u(x, y)$  და  $v(x, y)$  ფუნქციებს ვუწოდებთ (1) სისტემის  $T$  არეში რეგულარულ ამოხსნას, თუ კომპლექსური ფუნქცია  $U = u + iv$  წარმოადგენს (5) განტოლების  $C_{\bar{z}}(T)$  კლასის ამოხსნას.

3. **ლემა.** ვთქვათ, (1) განტოლებათა სისტემის კოეფიციენტები უწყვეტია  $z_0$  წერტილის რაიმე მახლობლობის შიგნით. თუ ამ მახლობლობის შიგნით რეგულარული  $U(z)$  ამოხსნა (1) სისტემისა ისპობა  $z_0$  წერტილზე, მაშინ  $U(z)$  მონოგენურია ამ წერტილზე, ე. ი. არსებობს წარმოებული

$$\frac{dU}{dz_0} = \lim_{z \rightarrow z_0} \frac{U(z) - U(z_0)}{z - z_0} = \lim_{z \rightarrow z_0} \frac{U(z)}{z - z_0}.$$

დამტკიცება. ვთქვათ,  $\Gamma$  არის წრე  $|z - z_0| < \rho$ , ხოლო  $\gamma$  — წრეწირი  $|z - z_0| = \rho$ . ავარჩიოთ  $\rho$  იმდენად მცირე, რომ  $\Gamma + \gamma$ -ზე დაცული იქნენ ლემის პირობები. მაშინ  $U(z)$  შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით (იხ. [2], § 2):

$$U(z) = \Phi(z) - \frac{1}{\pi} \iint_{\Gamma} \frac{A(t) U(t) + B(t) \bar{U}(t)}{t - z} dT, \tag{7}$$

სადაც

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{U(t) dt}{t - z}. \tag{8}$$

(7) ფორმულის შემწეობით ადვილად მტკიცდება უტოლობა (იხ. [2], § 2):

$$|U(z_1) - U(z_2)| \leq M |z_1 - z_2| \lg \frac{\rho}{|z_1 - z_2|}, \tag{9}$$

სადაც  $\chi_1$  და  $\chi_2$  ნებისმიერი წერტილებია წრის  $|\chi - \chi_0| \equiv \rho' < \rho$ ,  $M$ -დადებითი მუდმივი. (7) ტოლობიდან მივიღებთ აგრეთვე:

$$\frac{U(\chi) - U(\chi_0)}{\chi - \chi_0} = \frac{\Phi(\chi) - \Phi(\chi_0)}{\chi - \chi_0} + V(\chi), \quad (10)$$

სადაც

$$V(\chi) = -\frac{1}{\pi} \iint_{\Gamma} \frac{A(t)U(t) + B(t)\overline{U(t)}}{(t-\chi)(t-\chi_0)} dT. \quad (11)$$

რადგან  $U(\chi_0) = 0$ , (9) უტოლობის ძალით ადვილად დავამტკიცებთ, რომ  $V(\chi)$  ფუნქცია უწყვეტია (მთელ სიბრტყეზე), ამიტომ (10)-დან ვღებულობთ:

$$\frac{dU}{d\chi} = \lim_{\chi \rightarrow \chi_0} \frac{U(\chi) - U(\chi_0)}{\chi - \chi_0} = \Phi'(\chi_0) + V(\chi_0),$$

რის დამტკიცებაც იყო საჭირო.

4. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ამ შრომის მთავარ მიზანს შეადგენს იმ თეორემის დამტკიცება, რომელიც ჩამოყალიბებული იყო შრომის დასაწყისში. ჩვენ ვიგულისხმებთ, რომ  $T$  სასრული არეა, შემოსაზღვრული სასრული რიცხვი ჟორდანის მრუდეებით.

ვთქვათ  $F$  სიმრავლეა ჩაკეტილი  $T + L$  არის იმ წერტილებისა, სადაც  $U(\chi)$  ისპობა. ცხადია,  $F$  ჩაკეტილი სიმრავლეა. რადგან პირობის თანახმად  $U(\chi)$  იგივეურად არ ისპობა, ღია სიმრავლე  $G = T - F$ , ცხადია, არაა ცარიელი. დავუშვათ

$$\chi(\chi) = \begin{cases} A(\chi) + B(\chi) \frac{U(\chi)}{U(\chi)}, & \text{როცა } \chi \in G \\ A(\chi) + B(\chi), & \text{როცა } \chi \in F. \end{cases} \quad (12)$$

ცხადია,  $\chi(\chi)$  უწყვეტია  $F$  და  $G$  სიმრავლეებზე ცალ-ცალკე. გარდა ამისა იგი შემოსაზღვრულია  $T$ -ში, რადგან

$$|\chi(\chi)| \equiv |A(\chi)| + |B(\chi)|, \text{ როცა } \chi \in T.$$

მაშასადამე,  $\chi(\chi)$  ინტეგრებადია  $T$ -ში. დავუშვათ

$$\omega(\chi) = \frac{1}{\pi} \iint_{\Gamma} \frac{\chi(t) dT}{t - \chi}. \quad (13)$$

ფუნქცია  $\omega(\chi)$  უწყვეტია მთელ  $\chi = x + iy$  სიბრტყეზე, ჰოლომორფულია  $T + L$ -ის გარეთ და ისპობა უსასრულობაში. ვთქვათ,  $F^*$  სიმრავლეა შიგა წერტილების  $F$  სიმრავლისა, მაშინ სიმრავლე  $G^* = G + F^*$  ღიაა და ეკუთვნის  $T$  არეს. თუ ვისარგებლებთ [2] შრომის შედეგებით (იხ. § 2), ადვილად დავამტკიცებთ, რომ

$$\frac{\partial \omega(\chi)}{\partial \bar{\chi}} = -\chi(\chi), \text{ როცა } \chi \in G^*. \quad (13a)$$

მაშასადამე,  $\omega(\chi)$  ეკუთვნის  $C_{\chi}(G^*)$  კლასს. რადგან  $U(\chi)$  ეკუთვნის  $C_{\chi}(T)$  კლასს, ფუნქცია

$$\varphi(\chi) = U(\chi) e^{\omega(\chi)} \quad (14)$$

ნიეკუთვნება  $C_{\chi}(G^*)$  კლასს (იხ. [2], § 2).

თუ ვისარგებლებთ ახლა  $C_{\chi}$  კლასის ფუნქციების ნამრავლისა და მაჩვენებლიანი ფუნქციის გაწარმოების წესებით ([2], § 2), აგრეთვე მხედველობაში მივიღებთ (13a), (12) და (5) ტოლობებს, გვექნება

$$\frac{\partial \varphi(\chi)}{\partial \chi} = e^{\omega(\chi)} \left[ \frac{\partial U}{\partial \chi} + \chi(\chi) U \right] = 0, \text{ როცა } \chi \in G^*. \quad (15)$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ  $\varphi(\chi)$  ჰოლომორფულია ღია  $G^*$  სიმრავლეზე, ე. ი.  $G^*$  სიმრავლის წერტილებზე ფუნქცია  $\varphi(\chi)$  წარმოებადია.

ვთქვათ,  $g^*$  დამატებაა  $G^*$  სიმრავლისა  $T$  არემდე:  $T = G^* + g^*$ . ცხადია,  $g^* \in F$  და არ შეიცავს  $L$ -ის წერტილებს. მაშასადამე,  $U(\chi) = 0$ , როცა  $\chi \in g^*$ . ვთქვათ,  $\chi_0$  რაიმე წერტილია  $g^*$  სიმრავლისა. მაშინ  $U(\chi_0) = 0$  და

$$\frac{\varphi(\chi) - \varphi(\chi_0)}{\chi - \chi_0} = \frac{U(\chi) e^{\omega(\chi)} - U(\chi_0) e^{\omega(\chi_0)}}{\chi - \chi_0} = \frac{U(\chi) - U(\chi_0)}{\chi - \chi_0} e^{\omega(\chi)}.$$

აქედან, თანახმად ლემისა, მაშინვე გამომდინარეობს არსებობა წარმოებულისა

$$\varphi'(\chi) = \frac{dU}{d\chi_0} e^{\omega(\chi_0)}$$

$g^*$  სიმრავლის ყოველ წერტილზე.

ამრიგად, (14) ტოლობით მოცემული ფუნქცია  $\varphi(\chi)$  ცალსახა, უწყვეტი და წარმოებადია  $T$  არეში. მაშასადამე,  $\varphi(\chi)$  ჰოლომორფულია  $T$ -ში. მაგრამ (14)-დან ჩანს, რომ  $U(\chi)$  ფუნქციის ნულები ემთხვევა  $T$ -ში ჰოლომორფული  $\varphi(\chi)$  ფუნქციის ნულებს. მაშასადამე,  $U(\chi)$  ფუნქციის ნულების სიმრავლეს არ შეიძლება ჰქონდეს ზღვრული წერტილი  $T$  არეს შიგნით<sup>1</sup>; მაშინ (ბრტყელი) ზომა  $F$  სიმრავლისა, ცხადია, ტოლია ნულისა და (14) ფორმულა, (13) და (12)-ის ძალით, დაემთხვევა (2) ფორმულას, რაც უნდა დაგვემტკიცებინა.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია

ა. რაზმაძის სახელობის

თბილისის მათემატიკის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 19.9.1953)

<sup>1</sup> ესაა სწორედ კარლემანის ძირითადი თეორემა [1] (იხ. აგრეთვე [4]).

დამოწმებული ლიტერატურა

1. T. Carleman. Sur les systèmes linéaires aux dérivées partielles du premier ordre à deux variables, *Comptes Rendus, Paris*, 197 (1933), 471—474.
2. И. Н. Векуа. Система дифференциальных уравнений первого порядка эллиптического типа и граничные задачи с применением к теории оболочек. *Мат. Сб.* 3 (73):2 (1952), 217—314.
3. D. Pompeiu. Sur une classe de fonctions d'une variable complexe. *Rend. di Palermo*, 33 (1912), 108—113.
4. А. Д. Мышкис. Единственность решения задачи Коши. *Усп. Мат. Наук*, т. III, в. 2 (1946), 3—46.

მ. ბაბუა

ბესელის პირველი გვარის ფუნქციების მნიშვნელობათა  
 გამოთვლისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა შ. მიქელაძემ 20.9.1953)

წინამდებარე შენიშვნაში ჩვენ ვუთითებთ კვადრატურების ფორმულების პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობაზე ბესელის პირველი გვარის ფუნქციის მნიშვნელობათა გამოსათვლელად.

ბესელის ფუნქციების წარმოდგენა სონინისა და შლეფლის მიხედვით ([1], გვ. 195) ნებისმიერად ფიქსირებული დადებითი  $R$  რიცხვისათვის გვაძლევს:

$$\begin{aligned}
 J_\nu(\zeta) &= \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{2}\zeta\right)^\nu \int_{-\infty}^{(0+)} \exp\left\{t - \frac{\zeta^2}{4t} - (\nu+1)\lg t\right\} dt \\
 &= I^R(\nu, \zeta) + I_1^R(\nu, \zeta) + I_2^R(\nu, \zeta),
 \end{aligned} \quad (1)$$

სადაც

$$\begin{aligned}
 I^R(\nu, \zeta) &= \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{2}\zeta\right)^\nu \int_{-\pi}^{\pi} \exp\left\{t - \frac{\zeta^2}{4t} - (\nu+1)\lg t\right\} dt, \\
 t &= Re^{i\varphi}, \quad -\pi \leq \varphi \leq \pi,
 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 I_1^R(\nu, \zeta) &= \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{2}\zeta\right)^\nu \int_{\infty}^R \exp\left\{t - \frac{\zeta^2}{4t} - (\nu+1)\lg t\right\} dt, \\
 t &= -r, \quad r \geq R, \quad \lg t = \lg r - i\pi,
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 I_2^R(\nu, \zeta) &= \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{2}\zeta\right)^\nu \int_R^{\infty} \exp\left\{t - \frac{\zeta^2}{4t} - (\nu+1)\lg t\right\} dt, \\
 t &= -r, \quad r \geq R, \quad \lg t = \lg r + i\pi.
 \end{aligned} \quad (4)$$

თუ შევკრებთ (3) და (4) ტოლობებს, მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
 I_3^R(\nu, \zeta) &= I_1^R(\nu, \zeta) + I_2^R(\nu, \zeta) \\
 &= \frac{1}{2\pi i} \left(\frac{1}{2}\zeta\right)^\nu \int_R^{\infty} (e^{i\pi\nu} - e^{-i\pi\nu}) \exp\left\{-r + \frac{\zeta^2}{4r} - (\nu+1)\lg r\right\} dr.
 \end{aligned} \quad (5)$$



ვთქვათ,  $\xi, \eta, a$  და  $b$  შესაბამისად  $\nu$  და  $\chi$  კომპლექსური რიცხვების ნამდვილი და წარმოსახვითი ნაწილებია:  $\nu = \xi + i\eta, \chi = a + ib$ . შევაფასოთ  $I_3^R(\nu, \chi)$  (5) ფორმულის მიხედვით, როცა  $R > 1$ . შევჩერდეთ ჯერ შემთხვევაზე:  $\xi + 1 \equiv 0$ . თუ გავითვალისწინებთ

$$|\exp\{-(\nu + 1) \lg r\}| = r^{-(\xi+1)} \equiv R^{-(\xi+1)},$$

$$\left| \exp \frac{\chi^2}{4r} \right| = \exp \frac{a^2 - b^2}{4r} \equiv \exp C, \quad C = \begin{cases} \frac{a^2 - b^2}{4R}, & a^2 - b^2 > 0, \\ 0, & a^2 - b^2 \leq 0 \end{cases}$$

უტოლობებს, მივიღებთ:

$$|I_3^R(\nu, \chi)| \equiv K \exp \left\{ \xi \lg \frac{|\chi|}{2} + C - \eta \arg \chi - (\xi + 1) \lg R - R \right\}, \quad (6)$$

სადაც

$$K = \frac{1}{2\pi} |e^{i\pi\nu} - e^{-i\pi\nu}| = \frac{1}{2\pi} \sqrt{e^{2\pi\eta} + e^{-2\pi\eta} - 2 \cos 2\pi\xi}. \quad (7)$$

ახლა განვიხილოთ ის შემთხვევა, როცა  $\xi + 1 < 0$ . აღვნიშნოთ  $m$  და  $\alpha$ -თი  $-(\xi + 1)$  რიცხვის მთელი და წილადური ნაწილები; მაშინ

$$|I_3^R(\nu, \chi)| \equiv K \exp \left\{ \xi \lg \frac{|\chi|}{2} + C - \eta \arg \chi \right\} \int_R^\infty e^{-r} r^{m+\alpha} dr,$$

სადაც  $K$ -ს იძლევა ფორმულა (7). რადგან

$$\int_R^\infty e^{-r} r^{m+\alpha} dr \equiv P(R, \xi) e^{-R},$$

სადაც

$$P(R, \xi) = R^{m+\alpha} + (m + \alpha) R^{m+\alpha-1} + \dots + (m + \alpha)(m + \alpha - 1) \dots \alpha,$$

საბოლოოდ შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$|I_3^R(\nu, \chi)| \equiv KP(R, \xi) \exp \left\{ \xi \lg \frac{|\chi|}{2} + C - \eta \arg \chi - R \right\}. \quad (8)$$

ამრიგად, თუ  $R \rightarrow \infty$ , მაშინ (1), (5), (6) და (8)-ის თანახმად

$$\lim_{R \rightarrow \infty} |J_\nu(\chi) - I^R(\nu, \chi)| = 0$$

თანაბრად  $\chi$  და  $\nu$ -ს მიმართ. აქედან ჩანს, რომ ბესელის  $J_\nu(\chi)$  ფუნქციის მნიშვნელობათა გამოთვლა ნებისმიერი სიზუსტით შესაძლებელია  $R$ -ის სათანადო შერჩევით. გამოთვლები დაიყვანება (2) ინტეგრალის მოძებნაზე სათანადოდ შერჩეული კვადრატურის ფორმულის მეშვეობით.

კერძოდ, განვიხილოთ შემთხვევა ბესელის ფუნქციის მნიშვნელობათა გამოთვლისა სიმპსონის ფორმულით:



$$\int_{x_0}^{x_{2m}} y(t) dt = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + \dots + 4y_{2m-1} + y_{2m}) + R_m. \quad (9)$$

სადაც

$$h = \frac{x_{2m} - x_0}{2m}, \quad y_j = y(x_0 + jh) \quad (j = 0, 1, 2, \dots, 2m),$$

ხოლო

$$R_m = \frac{-my^{(IV)}(\tau)h^5}{90} \quad (x_0 < \tau < x_{2m}). \quad (10)$$

შევაფასოთ  $R_m$  მივიღოთ სიმარტივისათვის, რომ  $\chi$  ნამდვილია. განვიხილოთ დამხმარე ფუნქციები:

$$f(\varphi, \chi, \nu, R) = \left( R - \frac{\chi^2}{4R} \right) \cos \varphi + \eta \varphi + i \left[ \left( R + \frac{\chi^2}{4R} \right) \sin \varphi - \xi \varphi \right]$$

$$F(\varphi, \chi, \nu, R) = \frac{R^{-\nu}}{2\pi} \left( \frac{1}{2} \chi \right)^\nu \exp f(\varphi, \chi, \nu, R)$$

და მათი წარმოებულები

$$f'_\varphi = - \left( R - \frac{\chi^2}{4R} \right) \sin \varphi + \eta + i \left[ \left( R + \frac{\chi^2}{4R} \right) \cos \varphi - \xi \right],$$

$$f''_\varphi = - \left( R - \frac{\chi^2}{4R} \right) \cos \varphi - i \left( R + \frac{\chi^2}{4R} \right) \sin \varphi,$$

$$f'''_\varphi = \left( R - \frac{\chi^2}{4R} \right) \sin \varphi - i \left( R + \frac{\chi^2}{4R} \right) \cos \varphi,$$

$$f^{(IV)}_\varphi = \left( R - \frac{\chi^2}{4R} \right) \cos \varphi + i \left( R + \frac{\chi^2}{4R} \right) \sin \varphi,$$

$$F^{(IV)}_\varphi = \frac{R^{-\nu}}{2\pi} \left( \frac{1}{2} \chi \right)^\nu (f^{(IV)} + 4f'f''' + 6f'^2f'' + 3f''^2 + f'^4) \exp f.$$

ადვილი შესამოწმებელია, რომ  $j = 2, 3, 4$  მნიშვნელობათათვის  $-\pi \equiv \varphi \equiv \pi$  შუალედში ადვილი აქვს უტოლობებს:

$$|f'| \equiv 2R + |\nu|, \quad |f^{(j)}| \equiv 2R \quad \left( R - \frac{\chi^2}{4R} \equiv 0 \right),$$

$$|f'| \equiv \frac{\chi^2}{4R} + |\nu|, \quad |f^{(j)}| \equiv \frac{\chi^2}{2R} \quad \left( R - \frac{\chi^2}{4R} < 0 \right).$$

ახლა თუ გამოვიყენებთ უკანასკნელ უტოლებებს და შევაფასებთ  $F^{(IV)}_\varphi$ , ადვილად დავრწმუნდებით შემდეგი თანათარღობების მართებულებაში:

$$|R_m| \equiv \frac{mh^5}{\pi \cdot 180} K_1(R, \nu) \exp \left\{ R - \frac{\chi^2}{4R} + \xi \lg \frac{\chi}{2R} + 2\pi |\eta| \right\} \left( R \equiv \frac{\chi^2}{4R} \right), \quad (11)$$

$$|R_m| \cong \frac{mh^5}{\pi \cdot 180} K_2(R, \zeta, \nu) \exp \left\{ \frac{\zeta^2}{4R} - R + \xi \lg \frac{\zeta}{2R} + 2\pi|\eta| \right\} \left( R < \frac{\zeta^2}{4R} \right), \quad (12)$$

სადაც

$$K_1(R, \nu) = 2R + 8R(2R + |\nu|) + 12R(2R + |\nu|)^2 + 12R^2 + (2R + |\nu|)^4,$$

$$K_2(R, \zeta, \nu) = \frac{\zeta^2}{2R} + \frac{2\zeta^2}{R} \left( \frac{\zeta^2}{2R} + |\nu| \right) + \frac{3\zeta^2}{R} \left( \frac{\zeta^2}{2R} + |\nu| \right)^2 + \frac{3\zeta^4}{4R^2} + \left( \frac{\zeta^4}{2R} + |\nu| \right)^4.$$

ზემოთ მიღებული (6), (8), (11) და (12) უტოლობების დახმარებით აღვიღად შევამჩნევთ, რომ არსებობს  $\zeta$  და  $\nu$ -ს მნიშვნელობანი, რომელთათვისაც  $h$  და  $R$ -ის სათანადო შერჩევით მოხერხდება  $J_\nu(\zeta)$ -ის მნიშვნელობათა გამოთვლა წინასწარ დანიშნული სიზუსტით. მაგალითად, თუ  $\zeta = 5$ ,  $R = 10$ ,  $h = 10^{-3}$  და  $\nu$  არ გამოდის (8,10) შუალედიდან, (6) უტოლობის დახმარებით ვპოულობთ:

$$|J_\nu(5) - I^{10}(\nu, 5)| \cong \frac{1}{3} \exp \left\{ 10 \lg \frac{5}{2} + \frac{5}{9} - 9 \lg 10 - 10 \right\} < 10^{-6},$$

სადაც

$$I^{10}(\nu, 5) =$$

$$= \int_0^1 \cos \left[ \frac{85}{8} \sin \pi(2t-1) - \xi \pi(2t-1) \right] \exp \left\{ \frac{85}{8} \cos \pi(2t-1) - \xi \lg 4 \right\} dt. \quad (13)$$

თანახმად (11)-ისა,  $I^{10}(\nu, 5)$ -ის ( $8 \leq \nu \leq 10$ ) აბსოლუტური ცდომილების რიცხვითი მნიშვნელობა  $10^{-6}$  არ აღემატება, თუ სიმპსონის ფორმულით სარგებლობისას (13)-ის ინტეგრალქვეშა ფუნქციის მნიშვნელობებს გამოვთვლით შვიდი სწორი ათწილადი ნიშნით. ამრიგად, საბოლოო შედეგს ჩვენ მივიღებთ ექვსი სწორი ნიშნით მაინც.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია

ა. რაზმაძის სახელობის

თბილისის მათემატიკის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 20.9.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Г. Н. Ватсон. Теория бesselевых функций, ч. I, Москва, 1949.

დრეკადობის თეორია

3. მივზომი

სხვადასხვა დრეკადი მასალისაგან შემდგენილი გაჭიმული  
პრიზმული ძელის წყვილძალით ღუნვის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიკოსმა ნ. მუსხელიშვილმა 9.7.1953)

ელიფსური კვეთის მქონე ერთგვაროვანი გაჭიმული ძელის წყვილძალით ღუნვის ამოცანა შესწავლილ იქნა პ. რიზის მიერ [1]. იგივე ამოცანა ნებისმიერი კვეთის მქონე ძელისათვის ამოხსნა ა. რუხაძემ [2].

შედგენილი პრიზმული გაჭიმული ძელის წყვილძალით ღუნვის ამოცანა იმ შემთხვევისათვის, როცა შემადგენელი მასალების პუასონის კოეფიციენტები ერთნაირია, ამოხსნილი იყო ა. გორგიძის მიერ [3].

შრომაში „სხვადასხვა დრეკადი მასალისაგან შედგენილი გაჭიმული პრიზმული ძელის წყვილძალით გრების საკითხისათვის“<sup>(1)</sup> ჩვენ მიერ შესწავლილია სხვადასხვა დრეკადი მასალისაგან შედგენილი პრიზმული ძელის გაჭიმვისა და წყვილძალით გრების ურთიერთგავლენა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც შემადგენელი მასალების დრეკადობის მოდულულები და პუასონის კოეფიციენტები სხვადასხვაა.

წინამდებარე შრომაში შესწავლილია წყვილძალით ღუნვისა და გაჭიმვის ურთიერთგავლენა იმავე ზოგად შემთხვევაში.

დაეუშვათ, რომ არადეფორმირებულ ძელი შედგება პარალელური მთლიანი ღეროებისაგან, რომლებიც ერთმანეთს არ ეხებიან და გარემოცული არიან დრეკადი გარემოთი; აღნიშნული დრეკადი არე შემოსაზღვრულია ცილინდრული ზედაპირით, რომლის მსახველები ღეროების პარალელურია.

აღნიშნოთ  $S$ -ით არადეფორმირებულ ძელის განიკვეთი, რომელიც შედგება ჩადგმული ღეროების შესაბამისი  $S_1, S_2, \dots, S_m$  არეებისა და შემოსაზღვრული მასალის შესაბამისი  $S_0$  არისაგან.

$S_1, S_2, \dots, S_m$  არეების საზღვრები, შესაბამისად, აღნიშნოთ  $L_1, L_2, \dots, L_m$ -ით; მაშინ  $S_0$  არის საზღვარი შედგენილი იქნება  $L_1, L_2, \dots, L_m$  შეკრული კონტურებისა და მათ მომცველ  $L_{m+1}$  კონტურისაგან.

კოორდინატთა სათავე მოვათავსოთ „ქვედა“ (დამაგრებული) ფუძის ინერციის განზოგადებულ ცენტრში [4].  $Ox, Oy$  ღერძები მივმართოთ ამავე ფუძის ინერციის განზოგადებული ღერძების გასწვრივ,  $Oz$  ღერძი კი—გვერდითი ზედაპირის მსახველების პარალელურად.

(<sup>1</sup> მოხსენდა (1952 წ.) საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის პროფესორ-მასწავლებელთა მე-14 სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციას (იბეჭდება ამავე ინსტიტუტის შრომებში).

$\lambda_j$  და  $\mu_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) იყოს ჩადგმული ღეროების შესაბამისი ლამეს მუდმივები,  $E_j$ —ღრეკადობის მოდულები და  $\sigma_j$ —პუასონის კოეფიციენტები;  $\lambda_0$ ,  $\mu_0$ ,  $E_0$  და  $\sigma_0$  შემომსახვრელი მასალის შესაბამისი მუდმივებია.

ვთქვათ, ძელის გვერდითი ზედაპირი თავისუფალია გარე ძალებისაგან, გადაადგილების  $u$ ,  $v$ ,  $w$  მდგენელები უწყვეტია გამყოფ ზედაპირებზე გადასვლის დროს, დეფორმირებული ძელის  $\zeta = l$  „ზედა“ (თავისუფალ) ფუძეზე მოქმედი ძალები დაიყვანება გამჭიმავ  $F_\zeta$  ძალაზე, რომელიც  $O_\zeta$  ღერძის გასწვრივ არის მიმართული, და მლუნავ წყვილძალაზე, რომლის  $M_\eta$  მომენტი  $O_\eta$  ღერძის გასწვრივაა მიმართული. სხვადასხვა მასალის გამყოფი ზედაპირების ელემენტებზე მოქმედი ძალები სიდიდით ტოლია, მიმართულებით კი—მობირდაპირე.

დასმული ამოცანის ამოხსნა გადაადგილების ვექტორის კომპონენტებში ვეძებთ შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} u &= -\alpha \sigma_j \xi + \frac{\beta}{2} [\zeta^2 + \sigma_j (\zeta^2 - \eta^2)] + \alpha \beta u_1 + \alpha u^{(1)} + \beta u^{(2)}, \\ v &= -\alpha \sigma_j \eta + \beta \sigma_j \zeta \eta + \alpha \beta v_1 + \alpha v^{(1)} + \beta v^{(2)}, \\ w &= \alpha \zeta - \beta \zeta \zeta + \alpha \beta w_1, \end{aligned} \quad (1)$$

სადაც  $u_1$ ,  $v_1$ ,  $w_1$  საძიებელი ფუნქციებია,  $\alpha$  და  $\beta$  განსასაზღვრელი მუდმივებია;  $u^{(k)}$  და  $v^{(k)}$  ( $k = 1, 2$ ) შემდეგი ბრტყელი ამოცანების ამოხსნებია: ისინი სხეულის მიერ დაკავებულ არეში აკმაყოფილებენ წონასწორობის ერთგვაროვან განტოლებებს, ერთგვაროვან სასაზღვრო პირობებს და  $L_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) კონტურებზე გადასვლისას აქვთ შემდეგი სახის წყვეტა:

$$\begin{aligned} u_j^{(1)} - u_0^{(1)} &= (\sigma_j - \sigma_0) \xi, & v_j^{(1)} - v_0^{(1)} &= (\sigma_j - \sigma_0) \eta, \\ u_j^{(2)} - u_0^{(2)} &= -\frac{1}{2} (\sigma_j - \sigma_0) (\zeta^2 - \eta^2), & v_j^{(2)} - v_0^{(2)} &= -(\sigma_j - \sigma_0) \zeta \eta. \end{aligned} \quad (2)$$

როგორც დ. შერმანმა [5] აჩვენა, ასეთ ამოცანებს ყოველთვის აქვს ამოხსნა.

რადგანაც ჩვენ განვიხილავთ წყვილძალით ღუნვის გავლენას ძელის გაჭიმვაზე, ამიტომ გამოთვლებში მეორე რიგის წევრებიდან შევინარჩუნებთ მხოლოდ მათ, რომლებიც აწ ნამრავლს შეიცავენ.

თუ გამოვთვლით ნ. ზვოლინსკისა და პ. რიზის [6] ფორმულებით ძაბვის ტენზორის კომპონენტებს, მიღებულ გამოსახვებს ჩავსვამთ წონასწორობის განტოლებებში და სასაზღვრო პირობებში, მაშინ  $u_1$ ,  $v_1$  და  $w_1$  გადაადგილებათა შესაბამისი  $\tau_{11}$ ,  $\tau_{22}$ , ...,  $\tau_{23}$  დამატებითი ძაბვების განსაზღვრისათვის მივიღებთ წონასწორობის შემდეგ განტოლებებს:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tau_{11}}{\partial \xi} + \frac{\partial \tau_{12}}{\partial \eta} + \frac{\partial \tau_{13}}{\partial \zeta} + \frac{\partial R}{\partial \zeta} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{12}}{\partial \xi} + \frac{\partial \tau_{22}}{\partial \eta} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial \zeta} + \frac{\partial R}{\partial \eta} &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \tau_{13}}{\partial \xi} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial \eta} + \frac{\partial \tau_{33}}{\partial \zeta} - (\lambda_j + \mu_j) \zeta \frac{\partial \theta^{(1)}}{\partial \xi} = 0, \quad (3)$$

სადაც

$$R = \frac{\lambda_j (\lambda_j + 3 \mu_j)}{2 (\lambda_j + 2 \mu_j)} P^{(1)} + \frac{(\lambda_j + \mu_j) (\lambda_j + 2 \mu_j)}{2 \mu_j} (P^{(1)} P^{(2)} - \theta^{(1)} \theta^{(2)}) + 3 \mu_j \frac{\partial v^{(1)}}{\partial \xi} \frac{\partial v^{(2)}}{\partial \xi} + \mu_j u^{(1)} + \mu_j (1 + \sigma_j) \xi + \frac{\lambda_j}{2} \int_0^{\xi} \theta^{(1)} d\xi;$$

ამასთან

$$P^{(k)} = \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \eta} - \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \xi}, \quad \theta^{(k)} = \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \xi} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta}, \quad (k = 1, 2).$$

თუ გამოვიყენებთ დეფორმირებულსა და არადეფორმირებული ზედაპირების ნორმალების მიმართულების კოსინუსებს შორის დამოკიდებულებას (იხ. [2]), მაშინ სასაზღვრო პირობები თავისუფალ გვერდით ზედაპირზე და გამყოფ ზედაპირებზე შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\begin{aligned} & [\tau_{11} \cos(n, \xi) + \tau_{12} \cos(n, \eta)]_j - [\tau_{11} \cos(n, \xi) + \tau_{12} \cos(n, \eta)]_0 \\ &= \{(A + B) \cos(n, \xi) + (C + D) \cos(n, \eta)\}_j - \{(A + B) \cos(n, \xi) \\ &\quad + (C + D) \cos(n, \eta)\}_0, \\ & [\tau_{12} \cos(n, \xi) + \tau_{22} \cos(n, \eta)]_j - [\tau_{12} \cos(n, \xi) + \tau_{22} \cos(n, \eta)]_0 \\ &= \{(E - C) \cos(n, \xi) + (A - B) \cos(n, \eta)\}_j - \{(E - C) \cos(n, \xi) \\ &\quad + (A - B) \cos(n, \eta)\}_0, \end{aligned} \quad (4)$$

$$[\tau_{13} \cos(n, \xi) + \tau_{23} \cos(n, \eta)]_j - [\tau_{13} \cos(n, \xi) + \tau_{23} \cos(n, \eta)]_0 = -\zeta [G \cos(n, \xi) + H \cos(n, \eta)]_j + \zeta [G \cos(n, \xi) + H \cos(n, \eta)]_0,$$

სადაც

$$A = \sigma \eta (\lambda + \mu) P^{(1)} + 2 (\lambda + \mu) \theta^{(1)} \theta^{(2)} - \frac{\lambda + \mu}{2} P^{(1)} P^{(2)};$$

$$B = 2 \mu \left( \frac{\partial u^{(1)}}{\partial \xi} \frac{\partial u^{(2)}}{\partial \xi} - \frac{\partial v^{(1)}}{\partial \eta} \frac{\partial v^{(2)}}{\partial \eta} \right),$$

$$C = \sigma \eta (\lambda + \mu) \theta^{(1)} - \frac{\lambda - \mu}{2} (\theta^{(1)} P^{(2)} + \theta^{(2)} P^{(1)});$$

$$D = 2 \mu \left( \frac{\partial v^{(1)}}{\partial \xi} \theta^{(2)} + \frac{\partial v^{(2)}}{\partial \xi} \theta^{(1)} \right);$$

$$E = 2 \mu \left( \theta^{(1)} \frac{\partial u^{(2)}}{\partial \eta} + \theta^{(2)} \frac{\partial u^{(1)}}{\partial \eta} \right); \quad G = \mu \frac{\partial u^{(1)}}{\partial \xi} + \mu (1 + \sigma); \quad H = \mu \frac{\partial u^{(1)}}{\partial \eta};$$

სადაც  $j = 1, 2, \dots, m, m + 1$ , მასთან აქ მიღებულია, რომ როცა  $j = m + 1$ , მაშინ ფრჩხილებში მოთავსებული გამოსახულებანი ნულად იქცევა და (4)

ტოლობებიდან ვღებულობთ თავისუფალი გვერდითი ზედაპირისათვის სასაზღვრო პირობებს.

ამ განტოლებებს საჭიროა დავუმატოთ თავსებადობის შესაბამისი პირობები.

უქანასკნელი ამოცანის ამოსახსნელად მივიღოთ, რომ:

$$\begin{aligned} \tau_{11} &= -p\mu_j f - q\mu_j \psi - \mu_j \omega + \mu_j \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} - R, \\ \tau_{22} &= -p\mu_j f - q\mu_j \psi - \mu_j \omega + \mu_j \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} - R, \\ \tau_{33} &= 2\mu_j (pf + q\psi + \omega) + \mu_j \sigma_j \Delta F - 2\sigma_j R, \\ \tau_{12} &= -\mu_j \frac{\partial^2 F}{\partial \xi \partial \eta}, \\ \tau_{13} &= \zeta \left[ p\mu_j \frac{\partial f}{\partial \xi} + q\mu_j \frac{\partial \psi}{\partial \xi} + \mu_j \frac{\partial \omega}{\partial \xi} \right], \\ \tau_{23} &= \zeta \left[ p\mu_j \frac{\partial f}{\partial \eta} + q\mu_j \frac{\partial \psi}{\partial \eta} + \mu_j \frac{\partial \omega}{\partial \eta} \right], \end{aligned} \quad (5)$$

სადაც  $p$  და  $q$  მუდმივებია,  $f$ ,  $\psi$  და  $\omega$  კი ჰარმონიული ფუნქციებია  $S_j$  არეში. ადვილი შესამოწმებელია, რომ დამატებითი ძაბვის კომპონენტები (5) აკმაყოფილებენ (3), (4) და შესაბამის თავსებადობის პირობებს, თუ  $F$ ,  $f$ ,  $\psi$  და  $\omega$  ფუნქციები შემდეგნაირადაა განსაზღვრული:

$$\Delta f = 0, \quad (6.1)$$

$$\Delta \psi = 0, \quad (6.2)$$

$$\Delta \omega = \frac{\lambda_j + \mu_j}{\mu_j} \frac{\partial \theta^{(1)}}{\partial \xi}, \quad (6.3)$$

$$\mu_j \Delta \Delta F = \frac{1 - 2\sigma_j}{1 - \sigma_j} \Delta R + \frac{\lambda_j + \mu_j}{1 - \sigma_j} \frac{\partial \theta^{(1)}}{\partial \xi} \quad (6.4)$$

$S_j$  ( $j=0, 1, 2, \dots, m$ ) არეში.

$$p \frac{df}{dn} = - (1 + \sigma_0) \cos(n, \xi), \quad \frac{d\psi}{dn} = 0,$$

$$\frac{d\omega}{dn} = - \left[ \frac{\partial u^{(1)}}{\partial \xi} \cos(n, \xi) + \frac{\partial u^{(1)}}{\partial \eta} \cos(n, \eta) \right],$$

$$\begin{aligned} \mu_0 \frac{\partial F}{\partial \xi} &= - \int_0^s \{ (E - C)_0 \cos(n, \xi) + [p\mu_0 f + q\mu_0 \psi + \mu_0 \omega + R \\ &\quad + (A - B)_0] \cos(n, \eta) \} ds, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\mu_0 \frac{\partial F}{\partial \eta} = \int_0^s \{ [p\mu_0 f + q\mu_0 \psi + \mu_0 \omega + R + (A + B)_0] \cos(n, \xi) + (C + D)_0 \cos(n, \eta) \} ds.$$

თავისუფალ გვერდით ზედაპირზე,

$$\begin{aligned} p\mu_j \left( \frac{df}{dn} \right)_j - p\mu_0 \left( \frac{df}{dn} \right)_0 &= [ \quad ]_j - [ \quad ]_0, \\ q\mu_j \left( \frac{d\psi}{dn} \right)_j - q\mu_0 \left( \frac{d\psi}{dn} \right)_0 &= [ \quad ]_j - [ \quad ]_0, \\ \mu_j \left( \frac{d\omega}{dn} \right)_j - \mu_0 \left( \frac{d\omega}{dn} \right)_0 &= [ \quad ]_j - [ \quad ]_0, \\ \mu_j \left( \frac{\partial F}{\partial \xi} \right)_j - \mu_0 \left( \frac{\partial F}{\partial \xi} \right)_0 &= [ \quad ]_j - [ \quad ]_0, \\ \mu_j \left( \frac{\partial F}{\partial \eta} \right)_j - \mu_0 \left( \frac{\partial F}{\partial \eta} \right)_0 &= [ \quad ]_j - [ \quad ]_0 \end{aligned} \quad (8)$$

გამყოფ ზედაპირებზე (აქ კვადრატულ ფრჩხილებში იგულისხმება (7) ტოლობის მარჯვენა ნაწილში მოთავსებული გამოსახულებანი).

ძნელი არ არის იმის შემოწმება, რომ (6.1), (6.2), (6.3) განტოლებების ამოხსნის არსებობის პირობა დაცულია.

რაც შეეხება (6.4) განტოლებას, ასეთი ტიპის განტოლების ამოხსნის არსებობა დამტკიცებულია ს. მიხლინის მიერ [7].

(5) ძაბვის შესაბამისი გადაადგილების ვექტორის კომპონენტებისათვის მივიღებთ:

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{1}{2} \int_0^\xi \left[ -pf - q\psi + \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} - \sigma_j \Delta F - \frac{1 - 2\sigma_j}{\mu_j} R - \omega \right] d\xi, \\ v_1 &= \frac{1}{2} \int_0^\xi d\xi \int_0^\xi \left[ p \frac{\partial f}{\partial \eta} + q \frac{\partial \psi}{\partial \eta} - \frac{\partial^3 F}{\partial \eta^3} - 2 \frac{\partial^3 F}{\partial \xi^2 \partial \eta} + \sigma_j \Delta \frac{\partial F}{\partial \eta} + \frac{1 - 2\sigma_j}{\mu_j} \frac{\partial R}{\partial \eta} + \frac{\partial \omega}{\partial \eta} \right] d\xi, \end{aligned} \quad (9)$$

$$w_1 = \zeta [pf + q\psi + \omega].$$

თუ (9) გამოსახულებებს შევიტანთ (1) ტოლობაში, მაშინ მივიღებთ დასმული ამოცანის ამოხსნას.

ძაბვის ტენზორის კომპონენტები  $\zeta = l$  ზედაპირზე უნდა აკმაყოფილებდეს ცნობილ პირობებს, მაგრამ ეს პირობები არ კმაყოფილდება.

ეს პირობები რომ დაკმაყოფილდეს, საჭიროა მოძებნილ ამოხსნას დავუმატოთ სენ-ვენანის ისეთი წრფივი ამოცანის ამოხსნა, რომელიც გააბათილებს  $\zeta = 1$  ზედაპირზე ზედმეტ ძაბვებს.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ორი სხვადასხვა მასალისაგან (პუასონის განსხვავებული კოეფიციენტებით) შედგენილი ძელი, რომლის განივკვეთი წარმოადგენს ორი კონცენტრული  $L_1$  და  $L_2$  წრეხაზით შემოსაზღვრულ არეს; წრეხაზების რადიუსები იყოს  $R_1$  და  $R_2$ ,  $R_1 < R_2$ .

თუ ვისარგებლებთ დამხმარე ამოცანების ამოხსნებით, რომლებიც აქადნ. მუხს ხელი შევიღის მიერ იყო მოცემული [8], მაშინ აღნიშნული კვეთისათვის მივიღებთ:

$$f = \begin{cases} A'\xi + \frac{B'\xi}{\xi^2 - \eta^2} & (S_0 \text{ არეში}), \\ C'\xi & (S_1 \text{ არეში}), \end{cases}$$

$$\psi = \text{const} \quad (S_0 \text{ და } S_1 \text{ არეებში}),$$

$$\omega = \begin{cases} A_1\xi + \frac{B_1\xi}{\xi^2 + \eta^2} & (S_0 \text{ არეში}), \\ C_1\xi & (S_1 \text{ არეში}). \end{cases}$$

$$F_0 = \frac{1 - 2\sigma_0}{3^2 \mu_0 (1 - \sigma_0)} \left\{ D_1 \frac{\xi^3 - 3\xi\eta^2}{\xi^2 + \eta^2} - \frac{E_1\xi}{(\xi^2 + \eta^2)^2} \right\} + b_{-1}^{(1)} \ln(\xi^2 + \eta^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$+ a_1^{(1)}(\xi^2 + \eta^2) + \frac{[a_2^{(1)}(\xi^2 + \eta^2) + b_0^{(1)}(\xi^2 + \eta^2) - b_0^{(1)}]\xi}{\xi^2 + \eta^2}$$

$$+ \frac{[2(\xi^2 + \eta^2)a_{-1}^{(1)} + (\xi^2 + \eta^2)^2 b_1^{(1)} + 2(\xi^2 + \eta^2)^3 a_3^{(1)} - b_{-3}^{(1)}](\xi^2 - \eta^2)}{2(\xi^2 + \eta^2)^2}$$

$$+ \frac{[3(\xi^2 + \eta^2)a_{-2}^{(1)} + (\xi^2 + \eta^2)b_2^{(1)} + 3(\xi^2 + \eta^2)^4 a_4^{(1)} - b_{-4}^{(1)}](\xi^3 - 3\xi\eta^2)}{3(\xi^2 + \eta^2)^3}$$

$$+ \frac{[5(\xi^2 + \eta^2)a_{-4}^{(1)} + (\xi^2 + \eta^2)^5 b_4^{(1)} + 5(\xi^2 + \eta^2)^6 a_6^{(1)} - b_{-6}^{(1)}](\xi^5 - 10\xi^3\eta^2 + 5\xi\eta^4)}{5(\xi^2 + \eta^2)^5}$$

$$+ \frac{[7(\xi^2 + \eta^2)a_{-6}^{(1)} + (\xi^2 + \eta^2)^7 b_6^{(1)} + 7(\xi^2 + \eta^2)^8 a_8^{(1)} - b_{-8}^{(1)}](\xi^7 - 21\xi^5\eta^2 + 35\xi^3\eta^4 - 7\xi\eta^6)}{7(\xi^2 + \eta^2)^7}$$

( $S_0$  არეში).



$$\begin{aligned}
 F_1 = & a_0^{(2)} \xi + a_1^{(2)} (\xi^2 + \eta^2) + [a_2^{(2)} (\xi^2 + \eta^2) + b_0^{(2)}] \xi \\
 & + \frac{[2 a_3^{(2)} (\xi^2 + \eta^2) + b_1^{(2)}] (\xi^2 - \eta^2)}{2} + \frac{[3 a_4^{(2)} (\xi^2 + \eta^2) + b_2^{(2)}] (\xi^3 - 2 \xi \eta^2)}{3} \\
 & + \frac{[5 a_5^{(2)} (\xi^2 + \eta^2) + b_3^{(2)}] (\xi^5 - 10 \xi^3 \eta^2 + 5 \xi \eta^4)}{5} \\
 & + \frac{[7 a_6^{(2)} (\xi^2 + \eta^2) + b_4^{(2)}] (\xi^7 - 21 \xi^5 \eta^2 + 35 \xi^3 \eta^4 - 7 \xi \eta^6)}{7}
 \end{aligned}$$

( $S_1$  არეში),

სადაც  $A', B', C', A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, a_{\pm 6}^{(1)}, a_{\pm 4}^{(1)}, \dots, b_6^{(2)}$  სავსებით განსაზღვრული მუდმივებია.

ს. მ. კიროვის სახელობის

საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტი  
 თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 9.7.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. П. М. Риз. Изгиб растянутого призматического стержня. Прикладная математика и механика, т. III, в. 3, 1939.
2. А. К. Рухадзе. Некоторые обобщения задач Сен-Венана (Диссертация), 1947.
3. А. Я. Горгидзе. Изгиб парой сил растянутого призматического бруса, составленного из различных материалов. Сообщения АН Груз. ССР, т. IX, № 9—10, 1948.
4. А. К. Рухадзе. Задача изгиба поперечной силой упругих брусьев, составленных из различных материалов. Труды ГПИ, т. 19, 1949.
5. Д. И. Шерман. Статическая плоская задача теории упругости для изотропных неоднородных сред. Труды сейсмологического института АН СССР, № 86, 1938.
6. Н. В. Зволинский и П. М. Риз. О законе Гука для конечных смещений. Известия АН СССР. Отделение техн. наук, № 8—9, 1938.
7. С. Г. Михлин. Некоторые случаи плоской задачи теории упругости для неоднородной среды. Прикладная математика и механика, том II, вып. I, ОНТИ, Л.—М., 1934.
8. Н. И. Мухелишвили. Некоторые основные задачи математической теории упругости, М.—Л., 1949.

გეოგრაფია

მ. ნოღია

 დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეებრივი ვარიაციის  
 მიკროტეორიული განაწილების გამოკვლევის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ვ. კუპრაძემ 8.6.1953)

დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეებრივი ვარიაცია თანამედროვე მეცნიერების ერთ-ერთ ჯერ კიდევ ამოუხსნელ ამოცანას წარმოადგენს. ამავდროს დედამიწის მაგნიტური ველის ყველა ვარიაციიდან საუკუნეებრივი ვარიაცია, ჩვენი აზრით, ყველაზე ნაკლებადაა გამოკვლეული, რაც გამოწვეულია რიგი მიზეზებით.

I. საუკუნეებრივი ვარიაციის გეგმაშეწონილი გამოკვლევა, ეგრეთ წოდებულ საყრდენ პუნქტებზე ცოტად თუ ბევრად სისტემატურ დაკვირვებათა ჩატარების საფუძველზე, დაწყებულ იქნა საგრძნობლად დაგვიანებით, დაახლოებით მიმდინარე საუკუნის პირველ მეოთხედში, რის გამო მეცნიერებს არ გააჩნია საკმარისი მონაცემები საუკუნეებრივი ვარიაციის დროში განაწილების შესახებ [1].

II. მსოფლიო საყრდენი პუნქტები მეტისმეტად იშვიათია, რის გამო ამ პუნქტების ქსელი არასაკმარისად ასახავს საუკუნეებრივი ვარიაციის რეალურ განაწილებას დედამიწის ზედაპირზე.

III. განმეორებით დაკვირვებათა შორის შუალედები არასაკმარისად მოკლეა, რის გამო გამოირიცხულია საუკუნეებრივი ვარიაციის დიფერენცირების შესაძლებლობა არამცთუ თვეებისა და წელიწადის დროის მიხედვით, არამედ წლების მიხედვითაც.

IV. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენ დღემდე თითქმის არავითარი დაკვირვებითი მონაცემები არ გაგვაჩნია საუკუნეებრივი ვარიაციისათვის არქტიკასა და ანტარქტიკაში, რომლებსაც, როგორც ცნობილია, დედამიწის ზედაპირის საგრძნობი ნაწილი უკავიათ. ამასთან ისიც უნდა ვიქონიოთ მხედველობაში, რომ დედამიწის პოლარულ მიდამოებში მაგნიტური ველის ყველა სხვა ვარიაცია იჩენს საკმაოდ მკვეთრად გამოხატულ თავისებურებებს, რასაც, შეიძლება, ჰქონდეს ადგილი საუკუნეებრივი ვარიაციის მიმართაც.

V. განმეორებით დაკვირვებებისას, როგორც ცნობილია, ყოველთვის ვერ ხერხდება საყრდენი პუნქტის ზუსტად მონახვა, პირი, რომელიც აგვემგას ატარებს, ჩვეულებრივად კმაყოფილდება საყრდენი პუნქტის ცოტად თუ ბევრად ვრცელი აღწერით, რომლის მიხედვით ამ პუნქტის ზუსტად მონახვას იგივე პირიც ვერ ახერხებს განმეორებით დაკვირვებისათვის რამდენიმე წლის შემდეგ. სამწუხაროდ, სათანადო ნაგებობაც, რომელიც ზოგჯერ საგანგებოდ კეთდება საყრდენ პუნქტზე, ყოველთვის არ შევლის, რადგანაც ის დროთა ვითარებაში ხშირად ქრება. მეორე მხრით, ანომალურ უბნებზე, ჰორიზონტალ-



ლურ გრადიენტთა არსებობის გამო. ხელსაწყოს უმნიშვნელო გადაადგილებას შეიძლება გამოიწვიოს გაზომვათა შედეგების საგრძნობი დამახინჯებანი [2,3].

VI. ცნობილია, რომ არც სპეციალურ ლიტერატურაში, არც ინსტრუქციებში სავლელ მაგნიტური დაკვირვებისათვის აბსოლუტურად არსად არაფერი არ არის ნათქვამი მაგნიტურ აგეგმვათა წარმოებისას ვერტიკალური გრადიენტის მხედველობაში მიღების აუცილებლობის შესახებ. ამიტომ სავსებით ბუნებრივია, რომ წინათ ვერტიკალური გრადიენტის დამამახინჯებელი გავლენა არ მიიღებოდა მხედველობაში საყრდენ პუნქტებზე დაკვირვებათა წარმოებისას. მეორე მხრით, შრომებში, რომლებიც უკანასკნელ ხანებში გამოქვეყნებულია დედამიწის მაგნეტიზმის ინსტიტუტსა და საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში, ნაჩვენებია, რომ მაგნიტური ველის ვერტიკალური გრადიენტი მაგნიტურ ანომალიებზე შეიძლება ისეთი სიდიდის აღმოჩნდეს, რომელიც მხედველობაში მისაღებია მაგნიტურ გაზომვათა წარმოებისას, რა მიზნებისათვის გინდა წარმოებდეს ეს გაზომვები [3,4,5]. დამოწმებულ შრომებში მოყვანილია სავლელ გაზომვათა შედეგები, საიდანაც ჩანს, რომ ცალკეულ, უმეტესად არახელსაყრელ, შემთხვევებში ანომალიის დამამახინჯებელმა გავლენამ შეიძლება მიაღწიოს 35 გამამდე და კიდევ უფრო მეტ გამამდეც სანტიმეტრზე ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ მდგენელთათვის. თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ სავლელ მაგნიტური ხელსაწყობიერთისა და იმავე პირის მიერაც სხვადასხვა დროს და სხვადასხვა ადგილას სულაც არ დაიდგმის ერთსა და იმავე სიმაღლეებზე, მაშინ ადვილი წარმოსადგენია იმ დაუშვებელი შეცდომის სიდიდე, რომელიც წარმოიქმნება მაგნიტური ელემენტების განმეორებით განსაზღვრისას ანომალურ საყრდენ პუნქტზე. უნდა ვიფიქროთ, რომ ანომალური უბნები საკმაოდ გამოხატული ვერტიკალური გრადიენტით არც ისე იშვიათია დედამიწის კონტინენტებზე, რის გამო არსებული მსოფლიო რუკები იზოპორებისა მიჩნეულ უნდა იქნეს არასაკმარისად ზუსტად კონტინენტების შესაბამის ნაწილებში.

აღვნიშნოთ გაკვრით, რომ ვერტიკალური გრადიენტის გავლენა, როგორც ძნელი არ არის მივხვდეთ, სრულიად ქრება ზღვებსა და ოკეანეებზე, რომელთა ფსკერი დაშორებულია მრავალი ათეული და ასეული მეტრებით წყლის ზედაპირიდან, რომელზედაც ჩვეულებრივად წარმოებს სათანადო დაკვირვებები არამაგნიტური გემის შემწეობით.

VII. გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი მიზეზებისა, შეიძლება მოგვეყვანა სხვა მიზეზებიც. ასე, მაგ.: ა) ხელსაწყოთა არასაკმარისი სიზუსტე, ბ) საყრდენ პუნქტთა საგრძნობი რიცხვის გადაჭარბებული სიშორე მაგნიტური ობსერვატორიებიდან, გ) საყრდენი პუნქტების არაზუსტი ფიქსაცია ზღვებსა და ოკეანეებზე და ა. შ.

მიუხედავად ზემონაჩვენები ნაკლოვანებებისა, რომლებიც, უდავოდ, ცუდ გავლენას ახდენენ იზოპორთა თანადროული მსოფლიო რუკების ხარისხზე, უკანასკნელნი საკმარისად გამოსადეგი არიან ზოგიერთი გარკვეული ამოცანისათვის, რომელთაც საყურადღებო მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ასეთ ამოცანებს შეიძლება მივაკუთვნოთ საუკუნეებრივი ვარიაციის სიგრ-

ციტი განაწილების ზოგადი ხასიათი, ძველი მაგნიტური რუკების განახლება ახალ ეპოქაზე მიყვანის გზით და ა. შ.

უნდა აღინიშნოს მაინც, რომ მრავალი საკითხის შესწავლისათვის, რომლებსაც გეოფიზიკაში პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა აქვს, საჭიროა გაგვაჩნდეს გაცილებით უფრო სრული და ზუსტი მონაცემები დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეებრივი ვარიაციის შესახებ.

აქვე საჭიროდ მიგვაჩნია დავაზუსტოთ ზოგიერთი არსებული ცნება და შემოვიღოთ სათანადო ტერმინები.

ვუწოდოთ საყრდენ პუნქტთა არსებულ ქსელს, რომელთა შორის მანძილი 100—200 და მეტი კილომეტრია, საყრდენ პუნქტთა მაკროტერიტორიული ქსელი და, შესაბამისად ამისა, შეიძლება ვისარგებლოთ ტერმინებით: მაკროტერიტორიული საუკუნეებრივი ვარიაცია, მაკროტერიტორიული საუკუნეებრივი სვლა და ა. შ. მაშინ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც მანძილი საყრდენ პუნქტთა შორის 10, 20, 30 კილომეტრია, შეიძლება შემოვიღოთ ტერმინები: მიკროტერიტორიული ქსელი, მიკროტერიტორიული საუკუნეებრივი სვლა და ა. შ.

შემოვიღოთ აგრეთვე ტერმინი საშუალო საუკუნეებრივი ვარიაცია იმ შემთხვევებისათვის, როდესაც დროის შუალედი თანამიმდევრო დაკვირვებათა შორის 2, 3, 5 და უფრო მეტ წლებს უდრის. მაშინ ერთი წლის დროის შუალედისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ტერმინით ჭეშმარიტი საუკუნეებრივი ვარიაცია.

სავსებით ცხადია, რომ საყრდენ პუნქტთა არსებული მსოფლიო მაკროტერიტორიული ქსელის შენაცვლება სათანადო მიკროტერიტორიული ქსელით დიდ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. მართლაც, ამ მიზნისათვის მოგვიხდებოდა, როგორც ზემოთაა ნათქვამი, შეგვემცირებინა მანძილი საყრდენ პუნქტთა შორის 10-ჯერ საშუალოდ, რაც ნიშნავს საყრდენ პუნქტთა რიცხვის 100-ჯერ გადიდებას. პუნქტთა რიცხვის ამგვარი გადიდება გამოიწვევდა სავსე და კამერალურ სამუშაოთა პროპორციულად გადიდებას და მათთან დაკავშირებული ხარჯების სათანადოდ გადიდებასაც, რაც, შესაძლებელია, გვაიძულებდა კიდევაც უარი გვეთქვა ჯერჯერობით საუკუნეებრივი ვარიაციის შესწავლის ამგვარ გეგმაზე.

მეორე მხრით, ცხადია, რომ, თუ საყრდენ პუნქტთა მიკროტერიტორიული ქსელი ძნელი განსახორციელებელია დედამიწის მთელი ზედაპირისათვის, მისი განხორციელება არც ისე ძნელია მისი ცალკეული მცირე უბნებისათვის, რომლებიც ინტერესს წარმოადგენენ ზოგიერთი გეოფიზიკური მოვლენის თვალსაზრისით, მაგალითად, სეისმურ მოვლენათა თვალსაზრისით.

ამჟამად ამგვარი აგეგმვის განხორციელება გაცილებით უფრო ადვილია, რადგანაც, ზოგიერთ პირობებში, სავსე მაგნიტური სასწორები სავსებით გამოსადეგია დედამიწის მაგნიტური ველის  $Z$  ვერტიკალურ და  $H$  ჰორიზონტალურ მდგენელთა აბსოლუტურ მნიშვნელობათა განსაზღვრისათვის, ყველა აქედან გამომდინარე უპირატესობით როგორც დაკვირვებების

დროის სიმოკლისა და ხელსაწყობა პორტატიულობის, ისე გაზომვის მაღალი სიზუსტის მხრივ [5,6].

გამოკვლევათა მნიშვნელოვანი რიცხვის საფუძველზე, რომლებიც უკანასკნელ ხანებში ჩატარდა საქართველოს სს რესპუბლიკაში სხვადასხვა ორგანიზაციის მიერ, კიდევ ერთხელ უსათუოდ დამტკიცდა, რომ მაგნიტური სასწორები (მაგნიტომეტრი — 2), დამოწმებულ შრომებში ნათქვამის ზუსტი შესაბამისობით, საესვებით გამოსადეგია აბსოლუტურ მაგნიტურ განსაზღვრათა წარმოებისათვის. ამასთან აღსანიშნავია, რომ სავსე საშუაოზე გამოყენებული იყო თითქმის მხოლოდ საბჭოური წარმოების ხელსაწყობები.

გარდა ამისა, სავსე საშუალებმა, რომლებიც უკანასკნელ ხანებში ჩატარდა ჩვენი ინსტიტუტის მიერ, გვიჩვენა, რომ მაგნიტური სასწორების ნულ-პუნქტის უცვლელობა და ამით ზუსტი გაზომვების მიღება მთლიანად დამოკიდებულია ტრანსპორტირების ოპტიმალურ პირობებზე, რომელნიც გამოირიცხავენ ყოველგვარ ბიძგს და ლაყლყს, რაზედაც წინათაც იყო მითითებული ჩვენს შრომებში [6, 5].

მართალია, მაგნიტური სასწორის დახმარებით არ შეიძლება განისაზღვროს  $D$  მაგნიტური მიხრილობა, მაგრამ საუკუნეებრივი ვარიაციის მიკროტერიტორიული გამოკვლევისათვის ეს არც ისე მნიშვნელოვანია. კიდევ მეტი, მიკროტერიტორიული გამოკვლევის მიზნებისათვის დედამიწის ზედაპირის მნიშვნელოვანი ნაწილისათვის შეიძლება დაგვიკმაყოფილებულიყავით  $Z$  ვერტიკალური მდგენელის აბსოლუტური განსაზღვრით, ხოლო ეკვატორულ ზონაში —  $H$  ჰორიზონტალური მდგენელის აბსოლუტური განსაზღვრით.

მაგნიტური სასწორის აბსოლუტური ხელსაწყობის სახით გამოყენება საშუალებას იძლევა გადაწყვეტილ იქნეს აგრეთვე საკითხი განმეორებით დაკვირვებათა შორის დროის შუალედების შემცირების შესახებ, ე. ი. შევუდგეთ კემპარიტი საუკუნეებრივი ვარიაციის შესწავლას, განსაკუთრებით, თუ ვიკმარებთ  $Z$  ან  $H$  მდგენელების განსაზღვრებს, როგორც ამის შესახებ ზემოთ იყო ნათქვამი.

როგორც  $V$  და  $VI$  პუნქტებში იყო აღნიშნული, შეიძლება ფრიად დიდი ცთომილებები წარმოიშვას საუკუნეებრივი ვარიაციის ანომალურ უბნებზე შესწავლისას, რომლებსაც გააჩნიათ გაზომვისათვის მისაწვდომი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გრადიენტები. ეს გარემოება სრულიად დაუშვებელს ხდის ანომალურ უბნებზე საუკუნეებრივი ვარიაციის მიკროტერიტორიულ შესწავლას ძველი მეთოდებით.

ამგვარი ანომალური უბნების დაწვრილებით შესწავლამ გვიჩვენა, რომ მათი გავრცელების ფართზე ხერხდება ცალკეული ადგილების გამოვლინება, ფართით რამდენიმე ერთეულ და ათეულ კვადრატულ მეტრამდე, სადაც მაგნიტური ველი საესვებით მშვიდია [2, 7], როგორც ძნელი არაა დავინახოთ, ეს ადგილები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს საყრდენი პუნქტებისათვის. სანამ ასეთ გადაწყვეტილებას მივიღებდეთ, რა თქმა უნდა, საჭიროა საგულდაგულოდ გამოკვლეულ იქნეს მთელი ფართი საყრდენ პუნქტთან იმ მეთოდით, რომელიც მოცემულია ჩვენს შრომებში [2, 3, 4, 6, 7].



არამც და არამც არ უნდა ვიფიქროთ, რომ მკაფიოდ გამოხატულ ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურგრადიენტებიან ანომალურ უბანზე საუკუნეებრივი ვარიაციის შესწავლისათვის საყრდენი პუნქტის რაციონალური არჩევის საკითხი იმდენად მარტივია, რომ ის არ საჭიროებს შემდგომ გამოკვლევას.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია  
 გეოფიზიკის ინსტიტუტი,  
 თბილისი  
 (რედაქციას მოუვიდა 17.6.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Н. В. Розе, Н. Н. Трубятчинский, Б. М. Яновский. Земной магнетизм и магнитная разведка. ОНТИ ГТТИ. Л.—М., 1934.
2. М. З. Нодиа. Магнитная микросъемка в Ланчхутском и Озургетском районах. Тр. Тбил. геофиз. инст. Груз. фил. АН СССР, т. I, 1936.
3. М. З. Нодиа. Магнитная микросъемка в районах Степанавана, Ахтала и Сандари. Труды Тбил. геофиз. инст. Груз. фил. АН СССР, т. III, 1938.
4. М. З. Нодиа. Некоторые результаты измерения вертикального градиента аномального магнитного поля. Доклады науч.-иссл. инст. земного магнетизма. № 3, Москва—Ленинград, 1948.
5. М. З. Нодиа. Новые методы полевых измерений с помощью магнетных весов. Изд. АН Грузинской ССР, Тбилиси, 1951.
6. М. З. Нодиа. О некоторых возможностях производства абсолютных магнитных определений с помощью весов Шмидта. Известия АН СССР, серия геогр. и геофиз., т. IX, № 5—6, 1945.
7. მ. ზოდია. გურიის მაგნიტური ანომალია და ზოგიერთი მისი თავისებურება. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. II, № 5, 1941.

რ. ლალიძე და ბ. ფოცხვერიაშვილი

## 1,3- და 1,4-ბუტანდიოლის დიაცეტატების კონდენსაციით კმაჰცივიბი ბენზოლთან და ტოლუოლთან უწყლო ქლორირანი ალუმინის თანდასწრებით

(წარმოდგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა გ. ციციშვილმა 9.7.1953)

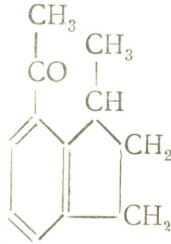
ჰიდრინდენი და მისი წარმოებულები ზოგიერთი ფიზიოლოგიურად აქტიური ნივთიერების სინთეზებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ. მაგრამ ლიტერატურაში აღწერილი მეთოდები ამ ნაერთების მიღებისა დიდი სირთულითა და მრავალსტადიურობით გამოირჩევა. ამ მხრივ უაღრესად დამახასიათებელია ლ. ფიშერის მიერ მოწოდებული მეთოდი მეთილბრომჰიდრინდენის მიღებისა, რომელიც წარმოდგენს გამოსავალ პროდუქტს მეთილბრომანტრენის სინთეზისათვის [1]. ამასთან დაკავშირებით ჰიდრინდენის ჰომოლოგების სინთეზის ახალი ეფექტური მეთოდების დამუშავებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. ი. ცუკერვანიკი და კ. იაციმირსკი [2] მიუთითებენ, რომ 1,3-ქლორბრომპროპანის ურთიერთქმედებისას ბენზოლთან უწყლო ქლორირანი ალუმინის თანდასწრებით შესაძლოა ადგილი ექნეს ჰიდრინდენის წარმოქმნას, მაგრამ ჰიდრინდენის გამოყოფა რეაქციის პროდუქტებიდან მათ ვერ მოახერხეს.

მეთილჰიდრინდენი და მისი წარმოებულები მიღებული არ ყოფილა აგრეთვე ბენზოლისა და ტოლუოლის ოქსიალკილირებისას 1,3-ბუტანდიოლით [3]. უნდა ვივარაუდოთ, რომ განსხვავებით მრავალატომიანი სპირტების რთული ეთერებისა, მათი შესაბამისი სპირტები (განსაკუთრებით აცეტილენური გლიკოლები) უწყლო ქლორირანი ალუმინის თანდასწრებისას უმრავლეს შემთხვევაში მცირედ გამოსადეგი იქნება ციკლიალკილირების მიზნებისათვის. მიუხედავად ამისა, უნდა აღვნიშნოთ, რომ ი. ლაბუნსკიმ და ი. ცუკერვანიკმა [4], აგრეთვე ი. ცუკერვანიკმა და ნ. ბოგდანოვამ [5] შეძლეს ფენოლის 2,5-ჰექსანდიოლით ციკლიალკილირების რეაქცია წარმატებით გავერცელებინათ ზოგიერთი სხვა დიოლისა და არომატული ნახშირწყალბადების მიმართ.

ერთ-ერთ წინათ გამოქვეყნებულ შრომაში [7] რ. ლალიძის მიერ ნაჩვენებია, რომ 1,3-ბუტანდიოლის დიაცეტატის კონდენსაციით ბენზოლთან კარგი გამოსავლით მიიღება 3-ფენილ-1-აცეტოქსიბუტანი და მცირე რაოდენობა კეტონისა, რომლის სტრუქტურული ფორმულა საორიენტაციოდ წარმოდგენილი იყო დიფენილური ალკანის ტიპის ნაერთის სახით.



მაგრამ რამდენადაც მოცემულ შემთხვევაში გამორიცხული არ იყო ციკლიალკილირების პროდუქტთა წარმოქმნის შესაძლებლობაც, ჩვენ გადავწყვიტეთ ამ რეაქციის განმეორება უფრო მკაცრ პირობებში. ამისათვის მორეაგირე ნივთიერებებს—დიაცეტატს, ბენზოლსა და უწყლო  $AlCl_3$ -ს—ვღებულობდით 1:3:2,25 მოლ. ფარდობებით და კონდენსაციას ვატარებდით უფრო მაღალ ტემპერატურაზე 12—14 საათის განმავლობაში. წინათ მიღებული პროდუქტების გარდა კონდენსატიდან გამოყოფილ იქნა 7—აცეტილ—1—მეთილ—ჰიდრინდენი.

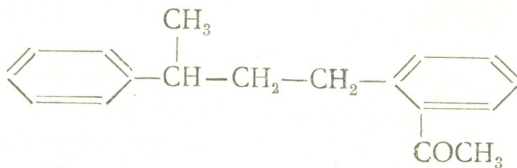


მისი კალიუმის პერმანგანატით დაჟანგვის შედეგად მიღებული მჟავას შერეული სინჯის ლლობის ტემპერატურის განსაზღვრამ სინთეზურ სუფთა ჰემიმელიტოლის მჟავასთან დებარესია არ მოგვცა.

ამალგამირებული თუთიით აღდგენის შედეგად აცეტილმეთილჰიდრინდენი გადაყვანილ იქნა შესაბამის ნახშირწყალბადში 1—მეთილ—7—ეთილ—ჰიდრინდენში. ამ გზით მიღებული ნაერთის დამუშავებამ ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადების დეჰიდრირების პირობებში Pd-ის კატალიზატორით ნახშირზე დაგვარწმუნა, რომ სინათლის სხივის გარდატეხის მაჩვენებლის რამდენადმე შესამჩნევ ცვლილებას აღვილი არ აქვს. კატალიზატიდან ვერ შევძელით აგრეთვე პიკრატების გამოყოფა.

ეს ფაქტები სრულ შესაბამისობაში იმყოფებიან ლიტერატურულ მონაცემებთან იმის შესახებ, რომ „წინააღმდეგ აზულენისა, იზოლირებული ხუთ-და შვიდწევრიანი რგოლები საერთოდ არ განიცდიან დეჰიდრირებას იმ შემთხვევაშიაც კი, როდესაც ისინი კონდენსირებული არიან ბენზოლის რგოლთან, როგორც, მაგალითად, ინდანში“ [8].

იმ დიაცეტატებისაგან განსხვავებით, რომლებშიაც მჟავური ნაშთები 1,4 მდგომარეობაში იმყოფებიან, მოცემულ შემთხვევაში აცეტომეთილჰიდრინდენთან ერთად აღვილი აქვს აგრეთვე დიფენილური ალკანის ტიპის ნაერთის წარმოქმნას. ამ უკანასკნელის დაჟანგვისა და კლემენსენის მიხედვით აღდგენის შედეგები საფუძველს გვაძლევს მას შემდეგი სტრუქტურული ფორმულა მივაკუთვნოთ:

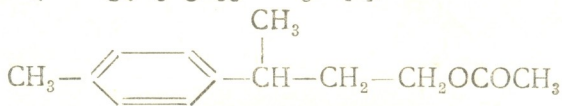


აცეტილის ჯგუფით ერთ-ერთ ორ შესაძლო ორთო მდგომარეობაში ბენზოლის ბირთვში.



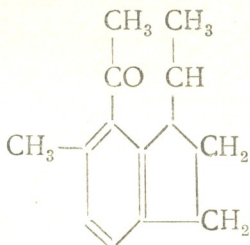
1,3—და 1,4—ბუტანდიოლის დიაცეტატების კონდენსაციათა რეაქციები ტოლოლოთან სრულიად ანალოგიურად მიმდინარეობს. რეაქციის პროდუქტებიდან გამოყოფილ და იდენტიფიცირებულ იქნა შემდეგი ნაერთები:

1) 3-P-ტოლილ-1-აცეტოქსიბუტანი (I). იგი იდენტურია 3-P-ტოლილბუტანოლ-1-ის ძმარმუჯავა ეთერისა, რომელიც მიღებული იყო ი. ცუკერვანიკის და ი. ტერენტიევას მიერ [3];

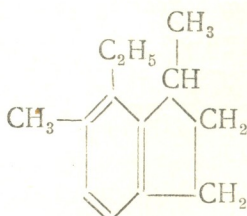


I

2) 7-აცეტილ-1,6-დიმეთილჰიდრინდენი (II) და ამ უკანასკნელის ალდგენის პროდუქტი 1,6-დიმეთილ-7-ეთილჰიდრინდენი (III). დაქანგვა (II)-სა კალიუმის პერმანგანატით იძლევა ბენზოლ-1,2,3,4-ტეტრაკარბონმუჯავას ლ. ტ. 241—242° (ლიტერატურული მონაცემებით ბენზოლ-1,2,3,4-ტეტრაკარბონმუჯავას აქვს ლ. ტ. 241° დაშლით). ისევე, როგორც წინა შემთხვევაში, (III)-ის დამუშავებისას ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადების დეჰიდრირების პირობებში სინათლის სხივის გარდატეხის მაჩვენებლის ცვლილება შემჩნეული არ ყოფილა;



II



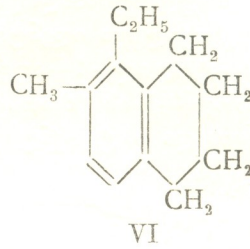
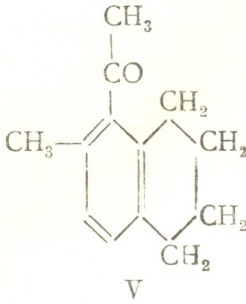
III

3) α-P-ტოლილ-δ-აცეტოქსიბუტანი (IV), რომლის დიქანგვის შედეგად კალიუმის პერმანგანატით მიღებულია ტერეფტალის მუჯავა;

4) 8-აცეტილ-7-მეთილტეტრალინი (V). ამ კეტონის ალდგენით მიღებული იყო შესაბამისი ნახშირწყალბადი (VI). კალიუმის პერმანგანატით (V)-ის დაქანგვის პროდუქტებიდან გამოყოფილ იქნა ბენზოლ-1,2,3,4-ტეტრაკარბონმუჯავა, რომელიც (II)-ის დაქანგვის პროდუქტებიდან წინათ გამოყოფილ მუჯავასთან დებრესიას არ იძლეოდა. (VI)-ის დეჰიდრირებით მიღებულია ნივთიერება დუდილის ტემპერატურით 105—107° 4 მმ წნევაზე, რომელიც პიკრინის მუჯავასთან იძლევა პიკრატს. დუდილის ტემპერატურის მიხედვით იგი საკმაოდ ახლოს უპასუხებს მეთილეთილნაფტალინს, მაგრამ, სამწუხაროდ, აღნიშნული ნახშირწყალბადისთვის ლიტერატურაში სხვა კონსტანტები ჩვენ ვერ ვნახეთ.



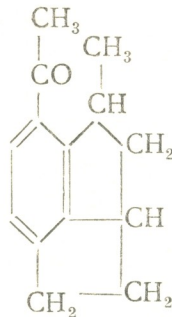
IV



გარდა 3-P-ტოლილ-1-აცეტოქსიბუტანისა, ყველა ზემოჩამოთვლილი ნაერთი პირველადაა მიღებული.

ჩვენ ჩავატარეთ აგრეთვე დაჟანგვა კალიუმის პერმანგანატით კეტონისა, რომელიც მიიღება 2,4,6-ჰექსანტრიოლის კონდენსაციით ბენზოლთან. დაჟანგვის პროდუქტებიდან გამოყოფილი მჟავა, ღლობის ტემპერატურით 226—234°, აღნიშნული კონსტანტით და ელემენტური შედგენილობით საკმაოდ ახლოს უპასუხებს ბენზოლ-1,2,4-ტრიკარბონმჟავას (ლიტერატურული მონაცემებით ბენზოლ-1,2,4-ტრიკარბონმჟავა ხასიათდება ღლობის ტემპერატურით 225—235°).

კეტონისაგან მიღებული ნახშირწყალბადის დეჰიდრირებისას Pd-ის კატალიზატორით ნახშირზე სინათლის სხივის გარდატეხის მაჩვენებლის ცვლილება შემჩნეული არ ყოფილა. კატალიზატიდან არ მოხერხდა აგრეთვე პიკრატების გამოყოფა. არსებული ფაქტების საფუძველზე C<sub>14</sub>H<sub>16</sub>O—კეტონისათვის ჩვენ ყველაზე უფრო სწორად მიგვაჩნია შემდეგი სტრუქტურული ფორმულა:



მ მ ს ჰ ე რ ი მ ე ნ ტ უ ლ ი ნ ა ჟ ი ლ ი

1. 1,3-ბუტანდიოლის დიაცეტატის კონდენსაცია ბენზოლთან

	მოლი	მ. ფ.
1,3-ბუტანდიოლის დიაცეტატი . . . . .	50 გ.	0,2873 1
ბენზოლი . . . . .	67,3 გ.	0,8628 3
უწყლო AlCl <sub>3</sub> . . . . .	86,22 გ.	0,6466 2,25

რეაქციას ვატარებდით წინათ აღწერილ პირობებში. კონდენსაციის ხანგრძლიობა 12—14 საათი. მაქსიმალური ტემპერატურა პროცესის ბოლოს 105—110°, კონდენსატის რაოდენობა 50,45 გ.

კონდენსატის ვაკუუმ გამოხდით მიღებულია შემდეგი ფრაქციები:

I—ფრაქ. დულ. ტ.	40—50°	3 მმ წნევე.	0,4 გ.	0,79%
II—ფრაქ. დულ. ტ.	84—86°	2 მმ წნევე.	25 გ.	49,5%
III—ფრაქ. დულ. ტ.	117—118°	1—2 მმ წნევე.	5,03 გ.	9,97%
IV—ფრაქ. დულ. ტ.	160—169°	2 მმ წნევე.	5,45 გ.	10,8%

პირველი ფრაქცია ჩვენ მიერ შესწავლილი არ ყოფილა. მეორე ფრაქცია თავისი თვისებებით უპასუხებს წინათ მიღებულ ნაერთს 3—ფენილ—1—აცეტოქსიბუტანს. მესამე ფრაქციიდან ორჯერადი გამოხდით მიღებულია მკრთალი—მოყვითალო ფერის ზეთისებური ნივთიერება დამახასიათებელი სასამოვნო სუნით. დულ. ტ. 117—120° 1—2 მმ წნევაზე;  $n_D^{20}$  1,5510;  $d_4^{20}$  1,0075; იგი სემიკარბაზიდთან იძლევა სემიკარბაზონს ლ. ტ. 211—212° (მეთილის სპირტიდან გადაკრისტალებული). მოლეკულური წონა ნაპოვნი—180, მოლეკულური წონა გამოთვლილი  $C_{12}H_{14}O$ -თვის—174.

ნაპოვნია %: C 81,81; 82,08; H 8,07; 8,45

$C_{12}H_{14}O$ —გამოთვლილია %: C 82,75; H 8,05.

$C_{12}H_{14}O$ —კეტონის აღდგენა კლემენსენის მიხედვით

5,5 გ. კეტონს, 20 გ. ამალგამირებულ თუთიას, 30 მლ განზავებულ მარილმჟავას (1:2) და 5—8 მლ დიოქსანს ვაცხელებდით ინტენსიური დუღილის ტემპერატურამდე 8—9 საათის განმავლობაში. ნარევს ყოველ ერთ საათში ვუმატებდით 5 მლ კონცენტრულ მარილმჟავას. პროდუქტს ვაწბობდით ეთერით. ვაშრობდით უწყლო ნატრიუმის სულფიტით, ეთერს ვხდიდით და ნაშთს ვაფრაქციონირებდით. მეორედ გამოხდის შემდეგ მიღებული იყო პროდუქტი დამახასიათებელი ნახშირწყალბადის სუნით. დულ. ტ. 102—103° 3 მმ წნევაზე;  $n_D^{20}$  1,5200;  $d_4^{20}$  0,9468; MR—ნაპოვნი—51,37; MR—გამოთვლილი 51,814.

ნაპოვნია %: C 89,57; H 10,26

$C_{12}H_{16}$ —გამოთვლილია %: C 90,0; H 10.

ნახშირწყალბადის დეჰიდრირება

1,2 გ ნივთიერებას 0,25 გ კატალიზატორთან ერთად ვათავსებდით მაღალყელიან კულაში, რომელშიაც ტარდებოდა მშრალი ნახშირმჟავა გაზის ქავლი. კულას ვაცხელებდით 8—9 საათს 280—290°-მდე.

აღნიშნულ პირობებში წყალბადის ბურთულების გამოყოფა შემჩნეული არ ყოფილა. კატალიზატი დამუშავებულ და გამოხდილ იქნა ჩვეულებრივი გზით. მიღებულ პროდუქტს ჰქონდა იგივე კონსტანტები, როგორც აღებულ ნივთიერებას. ჩვენ მიერ ხმარებული კატალიზატორის ხარისხი წინასწარ მოწმ-



დებოდა ტეტრალინის, მეთილტეტრალინისა და ზოგიერთი სხვა ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადის მიმართ.

მეოთხე ფრაქციის ორჯერადი გამოხდით მიღებული ნივთიერება შემდეგი თვისებებით ხასიათდება: დულ. ტ. 162—164° 1—2 მმ წნევაზე  $n_D^{20}$  1,5710;  $d_4^{20}$  1,0441; სემიკარბაზიდთან იძლევა სემიკარბაზონს ლლობის ტემპერატურით 193—194°; მოლეკულური წონა ნაპოვნი—245; მოლეკულური წონა გამოთვლილი  $C_{18}H_{20}O$ -თვის—252; დაქანგვის პროდუქტებში ფლუორესცენის რეაქციის შემწეობით აღმოჩენილ იქნა ორთოფტალის მჟავა.

ნაპოვნია %:C 84,83; 84,64; H 7,86; 7,84

$C_{18}H_{20}O$ —გამოთვლილია %:C 85,71; H 7,93.

ამ კეტონის აღდგენით კლემენსენის მიხედვით მიღებული იყო შესაბამისი ნახშირწყალბადი დულ. ტ. 115—117° 4 მმ წნევაზე;  $n_D^{20}$  1,5439;  $d_4^{20}$  0,9720; MR—ნაპოვნი 78,122; MR—გამოთვლილი—77,28.

ნაპოვნია %:C 90,64; H 9,89

$C_{18}H_{22}$ —გამოთვლილია %:C 90,75; H 9,25.

II. 1,3-ბუტანდიოლის დიაცეტატის კონდენსაცია ტოლუოლით

მორეაგირე ნივთიერებათა რაოდენობანი:

	მოლი	მ. ფ.
1,3-ბუტანდიოლის დიაცეტატი . . . . .	50 გ	0,2873 1
ტოლუოლი . . . . .	79.61 გ	0,8620 3
უწყლო $AlCl_3$ . . . . .	76,61 გ	0,5746 2

კონდენსაციის ხანგრძლიობა 10—11 საათი; მაქსიმალური ტემპერატურა რეაქციის ბოლოს 110°; კონდენსატის რაოდენობა 46,65 გ.

- I—ფრაქ. დულ. ტ. 55—58° 2—3 მმ წნევაზე 6,41 გ. 13,74%
- II—ფრაქ. დულ. ტ. 97—100° " " 25,1 გ. 53,78%
- III—ფრაქ. დულ. ტ. 115—118° " " 6,45 გ. 13,82%
- IV—ფრაქ. დულ. ტ. 140°-ის ზევ. " " 1,45 გ. 3,11%

პირველი ფრაქცია, როგორც ჩანს, წარმოადგენს 3-ქლორ—1-აცეტოქსიბუტანისა და მეთილაცეტოფენონის ნარევს და იგი უფრო ახლოს არ შეგვისწავლია.

მეორე ფრაქციის დეტალურმა გამოკვლევამ დაგვანახა, რომ იგი იდენტურია 3-P-ტოლილ—1-აცეტოქსიბუტანისა. დულ. ტ. 97—100° 2 მმ წნევაზე;  $n_D^{20}$  1,5090;  $d_4^{20}$  0,9876; ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით 3-P-ტოლილ—1-აცეტოქსიბუტანს აქვს შემდეგი კონსტანტები:  $n_D^{20}$  1,4956;  $d_4^{20}$  0,9879 დულ. ტ. 138—140° 13 მმ წნევაზე.

მესამე ფრაქციის ორჯერადი გამოხდით შესაძლებელი გახდა დამახასიათებელი სასიამოვნო სუნის მქონე ნივთიერების გამოყოფა დულ. ტ. 116—118° 2 მმ წნევაზე;  $n_D^{20}$  1,5480;  $d_4^{20}$  0,9990 სემიკარბაზიდთან იძლევა სემიკარბაზონს ლლობის ტემპერატურით 228—229° (მეთილის სპირტიდან) მოლეკულური

წონა ნაპოვნი—186,5—187,7, მოლეკულური წონა გამოვლილი  $C_{13}H_{16}O$ -თვის—188.

ნაპოვნია %: C 82,39; 82,69 H 8,61; 8,81

$C_{13}H_{16}O$ —გამოთვლილია %: C 82,97; H 8,52.

ამ კეტონის აღდგენით კლემენსენის მიხედვით მიღებულია ნახშირწყალბადი დულ. ტ. 108—110° 5 მმ წნევაზე;  $n_D^{20}$  1,5245;  $d_4^{20}$  0,9627; MR—გამოთვლილი 56,43; MR—ნაპოვნია—55,34.

ნაპოვნია %: C 89,31 H 10,65

$C_{13}H_{18}$ —გამოთვლილია %: C 89,65 H 10,35.

1,6—დიმეტილ—7—ეთილჰიდრინდენის დეჰიდრირებისა და გამოსავალი კეტონის დაჟანგვის შედეგები განხილულია წინამდებარე სტატიის შესავალ ნაწილში.

III. 1,4—ბუტანდიოლის დიაცეტატის კონდენსაცია ტოლუოლთან

ერთ-ერთ შრომაში რ. ლალიძის მიერ ნაჩვენები იყო, რომ 1,4—ბუტანდიოლის დიაცეტატის კონდენსაციით ბენზოლთან უწყლო  $AlCl_3$ -ის თანდასწრებით მიიღება  $\alpha$ —ფენილბუტილის სპირტის ძმარმეავა ეთერი და  $\beta$ —აცეტოტეტრალინი.

წინამდებარე შრომაში ჩვენ გავავრცელეთ ეს რეაქცია ტოლუოლის მიმართაც.

მორეაგირე ნივთიერებათა რაოდენობანი:

	მოლი	მ. ფ.
1,4—ბუტანდიოლის დიაცეტატი . . . . .	50 გ.	0,2873 1
ტოლუოლი . . . . .	79,31 გ.	0,8620 3
უწყლო $AlCl_3$ . . . . .	88,12 გ.	0,6609 2,3.

კონდენსაციის ხანგრძლიობა 26—27 საათი, მაქსიმალური ტემპერატურა რეაქციის ბოლოს 90—96°, კონდენსატის გამოსავალი 47 გ. ქვემოთ მოგვყავს ვაკუუმ გამოხდის შედეგები:

- I—ფრაქ. დულ. ტ. 58—80° 4—5 მმ წნევაზე 5 გ 10,63%
- II—ფრაქ. დულ. ტ. 88—115° 4—5 მმ წნევაზე 31,5 გ 67,01%
- III—ფრაქ. დულ. ტ. 125—150° 3 მმ წნევაზე 5 გ 10,63%.

პირველი ფრაქცია, როგორც ჩანს, წარმოადგენს 1, ქლორ—4—აცეტოქსიბუტანის და მეთილაცეტოფენონის ნარევს და უფრო ახლოს არ შეგვისწავლია.

მეორე ფრაქციის მრავალჯერადი გამოხდით შესაძლებელი გახდა დამახასიათებელი სუნის მქონე ზეთისებური სითხის გამოყოფა, დულ. ტ. 92—95° 3 მმ. წნევაზე,  $n_D^{20}$  1,5080;  $d_4^{20}$  0,9816. ამ ნივთიერების 0,1877 გ. წონაკის შესასაბნად დაიხარჯა 1,54 მლ. კალიუმის ტუტის 0,5 N-ის სპირტხსნარი. თეორიულად გამოთვლილია  $C_{13}H_{18}O$ -თვის 1,818 მლ. ამ უკანასკნელის დაჟანგვით მიღებულ იქნა მჟავა, რომელიც სუბლიმირდება 300°-ის ახლოს. ლიტ. მონაცემებით ტერეფტალის მჟავა სუბლიმირდება გადნობის გარეშე 300°-ის ახლოს.



ამ მონაცემების საფუძველზე ჩვენ ვფიქრობთ, რომ მიღებული ეთერი წარმოადგენს  $\alpha$ - $\rho$ -ტოლილ- $\delta$ -აცეტოქსიბუტანს.

მესამე ფრაქციის მრავალჯერადი გამოხდით გამოყოფილ იქნა სასიამოვნო სუნის მქონე ნივთიერება. დულ. ტ. 125—127° 2—3 მმ წნევაზე;  $n_D^{20}$  1,5719;  $d_4^{20}$  1,0276; სემიკარბაზიდთან იგი იძლევა სემიკარბაზონს ლლ. ტემპერატურით 227—228°; მოლეკულური წონა ნაპოვნი—194; მოლეკულური წონა გამოთვლილი  $C_{13}H_{18}O$ -თვის—188.

ნაპოვნია %:C 83,12; 83,32; H 8,61; 8,65

$C_{13}H_{16}O$ —გამოთვლილია %:C 82,97; H 8,52.

კეტონის აღდგენა კლემენსენის მიხედვით იძლევა ნახშირწყალბადს. დულ. ტ. 96—99° 4 მმ წნევაზე,  $n_D^{20}$  1,5360;  $d_4^{20}$  0,9670; MR—გამოთვლილი 56,43; MR—ნაპოვნი—56,34.

ნაპოვნია %:C 90,12; 89,15; H 10,4; 10,69

$C_{13}H_{18}$ —გამოთვლილია %:C 89,65; H 10,35.

ნახშირწყალბადის დეჰიდრირებას ვატარებდით ზემოთ აღწერილ პირობებში. კატალიზატორად, როგორც ეს მოსალოდნელი იყო, მიღებულ იქნა პროდუქტი სინათლის სხივის გარდატეხის გაცილებით უფრო მაღალი მაჩვენებლით  $n_D^{20}$  1,5760; პიკრინის მჟავასთან იგი იძლევა პიკრატს ლლობის ტემპერატურით 64—68°, მაგრამ გამოსავალი ნივთიერების სიმცირის გამო მისი გადაკრისტალება არ მოხერხდა. ყველა ზემოხსენებული ფაქტი დაქანგვის შედეგებთან ერთად სრულ უფლებას გვაძლევს ვამტკიცოთ, რომ ჩვენ მიერ პირველად მიღებული კეტონი 8—აცეტილ—7—მეთილტეტრალის წარმოადგენს (V).

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია

ბ. მელიქიშვილის სახელობის

ქიმიის ინსტიტუტი

თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 28.7.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. L. F. Fieser and A. M. Seligman. The Synthesis of Methylcholanthrene J. Am. Chem. Soc., 57, 942. 1935.
2. И. Цукерваник и К. Ячимирский. Алкилирование ароматических углеводородов диалогидопроеизводным, I конденсации 1,3—хлорбромпропана с бензолом. ЖОХ, 1075, 1940.
3. И. В. Терентьева и И. П. Цукерваник. Оксисалкилирование ароматических соединений 1,3—бутандиолом. ДАН СССР, 86, 3, 555 1952.
4. И. П. Лабунский и И. П. Цукерваник. Конденсации двутретичных гликолей с бензолом. ДАН СССР, 80, 3, 369 1951.
5. И. П. Цукерваник и Н. И. Богданова. Алкилирование ароматических соединений XVI конденсации 1,4—пентандиола с бензолом. ЖОХ, 3, 410, 1953.
6. H. A. Bruson and J. W. Kroger. Cycli-Alkylation of Aromatic Compounds by the Friedel and Crafts Reaction J. Am. chem. Soc. 62, 36, 1940.
7. P. M. Лагидзе. Об алкилировании бензола диацетатом 1,3 бутиленгликоля и триацетатом 2,4,6—гексантриола. ДАН СССР, 77, 6, 1023. 1951.
8. Новые методы препаративной органической химии. Стр. 160, ИЛ, Москва, 1952.
9. Zbl I, S. 259 1934.

ბიოქიმია

## 6. საჯარო

## რძეში ფოსფორის ახალი ორგანული ნაერთის ინჰენტიფიკაცია

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა პ. ქომეთიანმა 20.5.1953)

ცნობილია ფოსფორის ორგანულ რადიკალთან დაკავშირების ნაერთები. ზოგიერთი მათგანი არამდგრადი ნაერთების სახით გვხვდება. რიგ შემთხვევებში მათი გამოყოფა ბიოლოგიური ობიექტებიდან დიდ სიძნელეს არ წარმოადგენს. ფოსფორორგანული ნაერთები სისხლში, კუნთოვან ქსოვილში და შცენარებში კარგადაა შესწავლილი, რაც არ ითქმის რძეზე.

ორგანული ფოსფორის ძირითადი მასა რძეში წარმოდგენილია კაზეინში სერინ-ფოსფორმეფავას სახით. გარდა ამისა, არის მითითება სხვა ფოსფორის ნაერთების არსებობის შესახებ. მაგალითად, გ. მარშალისა და კ. კეის მიერ [1] თხის რძიდან გამოყოფილი იყო ნუკლეოტიდი. კ. ლანგი და ფ. მიტკე [2] მიგვითითებენ ძროხის რძეში ორგანული ფოსფორის შემდეგ ფრაქციებზე: 1. ლიპოიდურზე, 2. კაზეინოგენურზე და 3. მეფავაში ხსნად ფრაქციაზე, რომელიც ჰიდროლიზს ადვილად განიცდის.

პ. ქომეთიანმა და თ. წულაძემ [3] გამოარკვეეს, რომ ძროხის რძე არ შეიცავს ფოსფორის ლაბილურ ნაერთს. მათ მიერ პირველად დადგენილ იქნა რძეში ფოსფორნაერთის არსებობა, რომელიც ჰიდროლიზს ძნელად განიცდის. პ. ქომეთიანის მითითებით ჩვენ მიერ შესწავლილ იქნა ფოსფორის ამ ფრაქციის ზოგიერთი თვისება და ჰიდროლიზის პირობები [4].

ამ შრომაში მოყვანილია აღნიშნული ფოსფორნაერთის გამოყოფისა და იდენტიფიკაციის შედეგები.

რძიდან ფოსფორის ახალი ორგანული ნაერთის გამოყოფა

ამ მიზნისათვის გამოყენებულ იქნა ბარიუმის საშუალებით ფოსფორის ნაერთების ფრაქციონირების მეთოდი [5]. ცდისათვის აღებული იყო ძროხის რძე. მასში ცილების დალექვა ხდებოდა 10% სამქლორიანი ძმარმეფავას ხსნარით. მიღებულ ფილტრატს ემატებოდა ბარიუმის აცეტატის ხსნარი: იმ რაოდენობით, რომ ფილტრატის ერთ მგ ფოსფორზე დახარჯულიყო 8,3 მგ ბარიუმის აცეტატი, შემდეგ ნატრიუმის ტუტის მიმატებით pH აიყვანებოდა 8,2-მდე და ერთი საათის დაყოვნების შემდეგ ნარევი იფილტრებოდა. ფილტრატს ხელმეორედ ემატებოდა ბარიუმის აცეტატის მცირე რაოდენობა და ეთილის სპირტის ოთხი მოცულობა. ეს ნარევი ორ საათს ინახებოდა ცივად და შემდეგ იფილტრებოდა. მიღებული ნალექი ისევ წყალში იხსნებოდა და

შემდეგ ხელმეორედ ილექებოდა ეთილის სპირტით. ამგვარად, რამდენიმეჯერ გადალექვის შემდეგ მიიღებოდა ოდნავ მოყვითალო ფერად შეფერილი კრისტალური ნალექი. ნალექის გაშრობა და მუდმივ წონაზე დაყვანა ექსიკატორში ხდებოდა გოგირდმჟავაზე. ჰიდროლიზის სიჩქარის დასადგენად და ბარიუმის მოსაშორებლად ნალექის განსახლვრული წონითი რაოდენობა იხსნებოდა წყალში და გოგირდმჟავა ემატებოდა. ნალექი არ გამოიყენებოდა, ხოლო ფილტრატი თავსდებოდა 25 მლ-იან კულაში და შემდეგ ცალ-ცალკე ნიმუშებს ჰიდროლიზისათვის ემატებოდა 2,5 N და 5 N ნორმალური გოგირდმჟავა. ჰიდროლიზი წარმოებდა წყლის აბაზანაში 100°C-ზე. დროის გარკვეულ შუალედებში მიიღებოდა ნიმუში და მისში იხსნებოდა მინერალური ფოსფორის ზრდა (ფისკესა და სუბაროვის მეთოდით), რაც ჰიდროლიზის სიჩქარის მაჩვენებელი იყო. შედეგები მოცემულია პირველ ცხრილში.

ცხრილი 1

ფოსფორის ორგანული ნაერთის ჰიდროლიზის სიჩქარე (ფოსფორის რაოდენობა მოცემულია მგ-ით)

ნალექის რაოდენობა მგ-ით	არაორგანული ფოსფორი	საერთო ფოსფორი	ორგანული ფოსფორი	ფოსფორის რაოდენობა ჰიდროლიზატში									
				ჰიდროლიზი 2,5 NH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -ით					ჰიდროლიზი 5 NH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -ით				
				5 წ.	15 წ.	30 წ.	60 წ.	120 წ.	5 წ.	15 წ.	30 წ.	60 წ.	120 წ.
24	არაა	1,85	1,85	0,61	0,77	0,77	0,8	0,85	0,76	1,76	1,63	1,18	1,85
12	არაა	0,99	0,99	0,37	0,55	0,59	0,78	0,78	0,68	0,69	0,92	0,93	0,98

ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ფოსფორის ორგანული ნაერთის ნალექი მინერალურ ფოსფორს არ შეიცავდა. ნალექის ჰიდროლიზი 2,5N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ის მოქმედებით 2 საათის განმავლობაში არ მთავრდებოდა. 5N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ის მოქმედებით ჰიდროლიზი მთავრდებოდა 30 წუთიდან ერო საათამდე. ამგვარად, გამოირკვა, რომ ბარიუმის მარილის სახით დალექილი ფოსფორის ორგანული ნაერთი 2,5 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ით ნაწილობრივ ჰიდროლიზირდება და 5 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ით მოქმედებით მისი ჰიდროლიზი ერთი საათის განმავლობაში სრულდება.

ფოსფორის ორგანული ნაერთის ბარიუმის მარილის ანალიზი

ბარიუმის ნალექში წარმოებულ იქნა ბარიუმისა და ფოსფორის საერთო რაოდენობის განსაზღვრა. ბარიუმის განსაზღვრა წარმოებდა წონითი მეთოდით. საერთო ფოსფორის განსაზღვრისათვის წარმოებდა სველი გზით ნალექის წინასწარი დაწვა. ანალიზის შედეგები მოცემულია მეორე ცხრილში.



ცხრილი 2

ფოსფორის ორგანული ნაერთის ბარიუმის მარილში Ba და P რაოდენობა (მათი რაოდენობა მოცემულია მგ-ით)

საანალიზოდ აღებული ნალექი	ბარიუმი	ფოსფორი	%0/0-ით	
			ბარიუმი	ფოსფორი
20	6,4	1,6	32,0	7,5
16	5,3	1,34	33,0	8,4
15	4,8	1,215	32,06	8,1
17	5,62	1,356	32,2	7,92
საშ.			32,31	7,98

როგორც მეორე ცხრილიდან ჩანს, ბარიუმის რაოდენობა საშუალოდ უდრის 32,31%, ხოლო ფოსფორისა—7,98%. საანალიზო ნივთიერებაში წყალი იყო საშუალოდ 0,400%.

იმისათვის, რომ გარკვეულიყო ბარიუმის მარილის ქიმიური შედგენილობა, ჩატარდა ნალექის ელემენტარული ანალიზი. შედეგი მოცემულია მესამე ცხრილში.

ცხრილი 3

ფოსფორის ორგანული ნაერთის ბარიუმის მარილის ელემენტარული ანალიზი

საანალიზოდ აღებული იყო ნალექი მგ-ით	მიღებულ იქნა მგ-ით		გამოანგარიშებულია პროცენტობით	
	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	C	H
12,56	3,32	8,87	19,27	2,80
11,69	3,02	8,28	19,33	2,80

რძიდან ბარიუმის მარილის სახით გამოყოფილი ფოსფორის ორგანული ნაერთი თავისი შედგენილობით მსგავსია ჰექსოზომონოფოსფორმეფას ეთერის ბარიუმის მარილისა, რომელიც თეორიულად შეიცავს: ბარიუმს 33,16%, ფოსფორს 7,5, ნახშირბადს 18,0% და წყალბადს 2,9%. ჩვენ მიერ განსაზღვრულ იქნა საშუალოდ: ბარიუმი 32,31%, ფოსფორი 7,98%, ნახშირბადი 19,3% და წყალბადი 2,8%.

შემდეგ საჭირო გახდა დადგენა იმისა, თუ რომელ ჰექსოზასთან არის დაკავშირებული ფოსფორმეფა. პირველად გარკვეულ იქნა ამ შენაერთის აღდგენის უნარი. ბარიუმის მარილის ხსნარზე ბარიუმის მოშორების შემდეგ ფელინგის ხსნარის მოქმედებით გამოირკვა, რომ მას ახასიათებდა აღდგენის რეაქცია. იმის დასადგენად, წარმოადგენს თუ არა ეს ნაერთი ფრუქტოზის

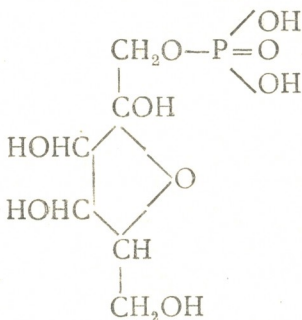


ეთერს, მიემართეთ სელივანოვის რეაქციას. ბარიუმის ნალექის 10—15 მგ იხსნებოდა 5 მლ 30% მარილმჟავაში და მას ემატებოდა 10 მგ რეზორცინი. ნარევი ცხელდებოდა წყლის აბაზანაზე 80°C-ზე რამდენიმე წუთის განმავლობაში. ხსნარი ღებულობდა წითელ შეფერადებას. კეტონის ჯგუფის არსებობა შემოწმებულ იქნა დიფენილ-ამინის მოქმედებითაც. ბარიუმის მარილის ხსნარს ბარიუმის მოშორების შემდეგ ემატებოდა აბსოლუტური ეთილის სპირტი, დიფენილ-ამინისა და კონცენტრული მარილმჟავას ხსნარი. შემდეგ ხდებოდა ნარევის გაცხელება მღუღარე წყლის აბაზანაზე. რამდენიმე წუთის შემდეგ წარმოიქმნებოდა კეტონის ჯგუფისათვის დამახასიათებელი ლურჯი შეფერადება.

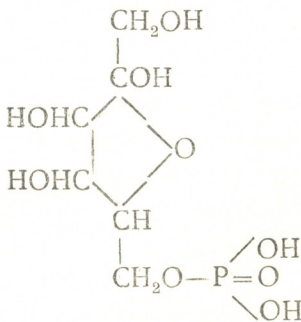
რადგან ამ შენაერთს ფელინგის სითხის აღდგენის უნარი აქვს და დადებით რეაქციას იძლევა კეტონის ჯგუფზე, ყოველივე ეს გვაძლევს უფლებას დავასკვნათ, რომ ძროხის რძეში არსებული ფოსფორის ორგანული ნაერთი, რომელიც ჰიდროლიზს ძნელად განიცდის, ფრუქტოზომონოფოსფორმჟავას ეთერს წარმოადგენს.

ფრუქტოზომონოფოსფორმჟავას ეთერებიდან ცნობილია:

1. ფრუქტოზო—1—ფოსფორმჟავა



და 2. ფრუქტოზო—6—ფოსფორმჟავა



ჯერ კიდევ გაურკვეველი რჩება, ამ შენაერთიდან რომელს შეიცავს რძე. შესაძლებელია, რომ რძეში წარმოდგენილია ორივე ფორმა. ცნობილია, რომ ფრუქტოზო—1—ფოსფორმჟავა უფრო ადვილად განიცდის ჰიდროლიზს, ვიდრე ფრუქტოზო—6—ფოსფორმჟავა.

ჰიდროლიზის მონაცემებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ 2,5N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> მოქმედებისას 100°C-ზე თავისუფლდება დაკავშირებული ფოსფორის დაახლოებით 50%. ფოსფორის ნაერთის სრული ჰიდროლიზისათვის საჭიროა 5N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ს მოქმედება. ეს ფაქტი გვაფიქრებინებს, თომ ჩვენ საქმე გვაქვს ნარევეთან. ეს ნარევი უნდა შედგებოდეს ფრუქტოზო—1—ფოსფორმჟავასა და ფრუქტოზო—6—ფოსფორმჟავასაგან, რომელნიც ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან ფოსფორის მჟავას მდებარეობით.

იმის გასარკვევად, თუ როგორ იცვლება ფოსფორის ორგანული ნაერთის რაოდენობა ლაქტაციის პერიოდში, ჩატარდა განსაზღვრა თვეში ერთხელ ერთისა და იმავე ძროხის რძეში 10 თვის განმავლობაში (იხ. ცხრ. 4).

ცხრილი 4

ფრუქტოზოფოსფორმჟავას ცვალებადობა რძეში ლაქტაციის პერიოდში (ფრუქტოზოფოსფორისა და ფოსფორის მჟავას რაოდენობა გამოხატულია მგ-ით 1 მლ რძეში)

თვეები→	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ფოსფორი	0,16	0,16	0,15	0,15	0,145	0,146	0,140	0,140	0,135	0,13
ფრუქტოზოფოსფატი	1,35	1,35	1,27	1,27	1,26	1,26	1,19	1,19	1,14	1,135

როგორც მე-4 ცხრილიდან ჩანს, ფოსფორის ორგანული ნაერთის რაოდენობის ცვალებადობა ლაქტაციის პერიოდში მცირეა. თუ ლაქტაციის პირველ თვეებში საშუალოდ მისი რაოდენობა, გაანგარიშებული ფოსფორზე, 1 მლ რძეში უდრის 0,16 მგ-ს, მეცხრე და მეათე თვეში მისი რაოდენობა 0,135 მგ-მდე დადის; საშუალოდ ეს შეადგენს მჟავაში ხსნადი ფოსფორის საერთო რაოდენობის 14,5%-ს. ეს, გადაანგარიშებული ფრუქტოზოფოსფორმჟავაზე, იძლევა 1,135—1,35 მგ ერთ მლ რძეში.

დასკვნა

1. ბარიუმის მარილის სახით რძიდან გამოყოფილია ფოსფორის ორგანული ნაერთი, რომელიც ჰიდროლიზს ძნელად განიცდის;
2. დადგენილია, რომ ფოსფორის ორგანული ნაერთი შეიცავს კეტონის ჯგუფს და ფელინგის სითხეს აღადგენს;
3. ამ შენაერთის ბარიუმის მარილი ელემენტარული შედგენილობის მხრივ მსგავსია ფრუქტოზომონოფოსფორმჟავას ბარიუმის მარილისა;
4. ჰიდროლიზის სისწრაფის მონაცემები გვიჩვენებს, რომ ეს ნაერთი უნდა წარმოადგენდეს ფრუქტოზო—1—ფოსფორმჟავასა და ფრუქტოზო—6—ფოსფორმჟავას ნარევს;

5. ლაქტაციის პროცესში მცირდება ფოსფორის იმ ორგანული ნაერთის რაოდენობა, რომელიც ჰიდროლიზს ძნელად განიცდის;

6. რძე შეიცავს ამ ნაერთს, ფოსფორზე გადაანგარიშებულს, საშუალოდ 0,16—0,19 მგ-ს 1 მლ რძეში, რაც შეესაბამება 1,35—1,585 მგ ფრუქტოზო-ფოსფორმუჟავას.

ა. პუშკინის სახელობის  
 თბილისის სახელმწიფო პედაგოგიური ინსტიტუტი  
 (რედაქციას მოუვიდა 20.5.1953)

#### დამოწმებული ლიტერატურა

1. K. Kay a G. Marchall. Biochem. J. 22, 416. 1928.
2. K. Lang u F. Mietke. Bioch. Zs. 254, 484, 1932.
3. П. А. Кометиани и Т. Э. Цуладзе. Биохимия. I. 693, 1936.
4. 6. საჯაია. რძეში ფოსფორის უცნობი შენაერთების არსებობის დამტკიცების ცდები. საქ. ზოლტექნიკურ-სავეტერინარო ინსტიტუტის წრომათა კრებული, ტ. VI, 105. 1948.
5. В. В. Умбреит, Р. Х. Буррис и Д. Ф. Штауфер. Манометрические методы изучения тканевого обмена, перев. с англ., 1951, стр. 288.

ტაძინკა

ბ. ტიმოფევი

დრეკად ნახევარსივრცეზე მოთავსებული ექსცენტრულად  
 დატვირთული ბრტყელი სწორკუთხა შტამპების მობრუნების  
 კუთხეების განსაზღვრადებული ფორმულა

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზაგრაევმა 30.5.1953)

ამოცანას დრეკადი ან წრფივად დეფორმირებულ ნახევარსივრცეზე მოთავსებული ბრტყელი სწორკუთხა შტამპების დაჯდომის განსაზღვრის შესახებ დღემდე არა აქვს ზუსტი თეორიული ამოხსნა, მიუხედავად ასეთი ამოხსნის უდიდესი მნიშვნელობისა სხვადასხვა ნაგებობის საფუძვლების დეფორმაციების შეფასებისათვის.

ამ პირობებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მიახლოებითი ფორმულებიც, თუ დამტკიცებულია ცალკე კერძო შემთხვევებში მათი შესაბამისობა არსებულ ზუსტ ამოხსნებთან.

წინამდებარე სტატიაში ავტორი შეეცადა მოენახა მობრუნების კუთხეების განსაზღვრადებული ფორმულა იმ ბრტყელი სწორკუთხაძირიანი ხისტი შტამპებისათვის, რომლებიც ექსცენტრულად განაწილებული ძალის ზეგავლენით ჩაწეულნი არიან დრეკადი ნახევარსივრცის ზედაპირში.

ფორმულა მიღებულია უსასრული ზოლის მობრუნების კუთხეების ვ. ფლორინის ზუსტი ამოხსნისა [1] და მ. გორბუნოვ-პოსადოვის მიერ ძირების გვერდების სხვადასხვა დამოკიდებულების დროს სწორკუთხა შტამპების მობრუნების კუთხეების მისივე მიახლოებითი მეთოდის [2] საშუალებით გამოთვლილი მნიშვნელობების შედარების საფუძველზე. ორივე შემთხვევაში ამოხსნა მოცემულია შტამპის ძირზე არსებული ხახუნისა და შეჭიდულობის ძალების მხედველობაში მიუღებლად.

ვ. ფლორინის ამოხსნა პირველად 1936 წელს გამოქვეყნდა. ამ ამოხსნის თანახმად დრეკად ნახევარსივრცეზე მოთავსებული ექსცენტრულად დატვირთული ზოლის მობრუნების კუთხის გამოსახულებას აქვს სახე:

$$\theta_{\text{ბოლ}} = \frac{1 - \nu_0^2}{E_0} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{qe}{a^2}, \quad (1)$$

სადაც

$$\theta_{\text{ბოლ}} = \text{tg } \theta_{\text{ბოლ}};$$

მობრუნების კუთხის ტანგენსი გატოლებულია მობრუნების კუთხესთან ამ უკვე ნასკნელის სიმციროს გამო;

$a$  უსასრულო ზოლის ძირის სიგანის ნახევარია,

$q$ —ხვედრითი დატვირთვა ზოლის სიგრძის ერთეულზე,  
 $e$ —დატვირთვის ექსცენტრისიტეტი ზოლის გრძივი ლერძის მიმართ,

$$\frac{1 - \nu_0^2}{E_0} \text{—ნახევარსივრცის დრეკადი მუდმივი (} E_0 \text{—დრეკადობის მოდული,}$$

$\nu_0$ —პუასონის კოეფიციენტი).

იმ მიზნით, რომ დავამყაროთ კავშირი ამ ზუსტ ამოხსნასა (1) და ქვე-  
 მოთ მოყვანილი სწორკუთხა შტამპების მობრუნების კუთხის (3) ფორმულას  
 შორის, ვიყენებთ პერიმეტრის ინერციის მომენტის სიმბოლოს— $J_u$ ; ამის გა-  
 მო გამოსახულება (1) სხვა სახით წარმოვადგინოთ.

თუ ჩვენ უსასრულო ზოლიდან წარმოსახვით გამოვყოფთ სასრულ მონა-  
 კვეთს, სიგრძით  $b$ , მაშინ მასზე მოსული სრული დატვირთვა  $P$  და მბრუნავი  
 წყვილი  $M$  ტოლი იქნება:

$$P = qb; \quad M = Pe = qbe.$$

(1) ტოლობის მარჯვენა ნაწილის ძრეცხველისა და მნიშვნელის  $b$ -ზე გამრავ-  
 ლებით მივიღებთ:

$$\theta_{\text{ზოლ}} = \frac{1 - \nu_0^2}{E_0} \cdot \frac{8}{\pi} \cdot \frac{qbe}{2a^2b} = 2,546 \frac{1 - \nu_0^2}{E_0} \cdot \frac{M}{J_u}. \quad (2)$$

(2) განტოლებაში სიდიდით  $J_u = 2a^2b$  აღნიშნულია ზოლიდან გამოყო-  
 ფილი  $b$  სიგრძის მონაკვეთის პერიმეტრის ინერციის მომენტი. მამრავლი  
 $2,546 = \frac{8}{\pi}$  არის უგანზომილებო კოეფიციენტი შტამპის ძირის მოცემული  
 მოხაზულობის ფორმისათვის.

გადავიდეთ სწორკუთხა ფორმის შტამპების მობრუნების კუთხეებზე  
 ძირის გვერდების სხვადასხვა დამოკიდებულების დროს.

მ. გორბუნოვ-პოსადოვმა [2] მოგვცა ამ შემთხვევის მიახლოებითი ამოხს-  
 ნა სივრცობრივი ამოცანის პირობებში. წარმოგვიდგინა რა შტამპის ძირზე  
 ჰინჯათა განაწილების კანონი. ორმაგი ხარისხობრივი მწკრივების სახით, რო-  
 მელთა რიცხვითი კოეფიციენტები გამოითვლება განტოლებათა სასრული  
 სისტემიდან, რაც ცვლის უსასრულო სისტემას. მეთოდი უშვებს განტო-  
 ლებათა უსასრულო სისტემის სასრული სისტემით შეცვლის გამო დაშვებულ  
 შეცდომათა შეფასების შესაძლებლობას.

$2a$  და  $2b$  გვერდების მქონე (იხ. ფიგ. 2) სწორკუთხაძირიანი ხისტი  
 შტამპის მობრუნების კუთხის ზოვად გამოსახულებას მ. გორბუნოვ-პოსადო-  
 ვის მიხედვით [2] აქვს სახე:

$$\theta_{\text{ხს. კუთხ.}} = \frac{1 - \nu_0^2}{E_0} \cdot k_n \cdot \frac{M}{a^3}, \quad (3)$$

სადაც:

$a$  არის სწორკუთხედის გვერდის ნახევარი, რომელიც პარალელურია  
 მბრუნავი წყვილის  $M = Pe$  (იხ. ფიგ. 1) სიბრტყისა;

$k_n$  — ფორმის უგანზომილებო კოეფიციენტები მ. გორბუნოვ-პოსადოვის მიერ გამოთვლილი და მოცემული ცხრილებისა და გრაფიკების სახით [2] შტამპის სწორკუთხაძირის გვერდების დამოკიდებულებისა

$$n = \frac{2a}{2b}$$

მთელი რიგი მნიშვნელობებისათვის.

საჭიროა შევნიშნოთ, რომ შტამპის სწორკუთხა ძირის ორივე მთავარი ღერძის სიბრტყეებში  $M$  მბრუნავი წყვილის მოქმედების შემთხვევაში მ. გორბუნოვ-პოსადოვის მიერ ფორმის კოეფიციენტები  $k_n$  [2] მოცემულია ცალცალკე; ამ სტატიაში კი დაშვებულია, რომ  $M$  მბრუნავი წყვილი ყოველთვის ამ სიბრტყეში მოქმედებს, რომელიც  $2a$  გვერდის პარალელურია (ფიგ. 1), ხოლო  $2b$  გვერდი იცვლება საზღვრებში  $\alpha$ -დან  $0$ -მდე, რაც შეესაბამება დამოკიდებულების ცვლილებას  $0$ -დან  $\infty$ -მდე.

გამოვსახოთ მანოკუოხ. შტამპის ძირის პერიმეტრის ინერციის მომენტი  $J_u$  სიმბოლოს საშუალებით. გვერდების  $n = \frac{2a}{2b}$  დამოკიდებულების სწორკუთხოვანი ძირის შემთხვევისათვის პერიმეტრის ინერციის მომენტს იმ ღერძის მიმართ, რომელიც  $M$  მბრუნავი წყვილის (ფიგ. 1) მოქმედების სიბრტყის პერპენდიკულარულია, ექნება სახე:

$$J_u = \frac{4}{3} a^3 + 4ba^2 = ka^3,$$

სადაც შემოტანილია აღნიშვნა:

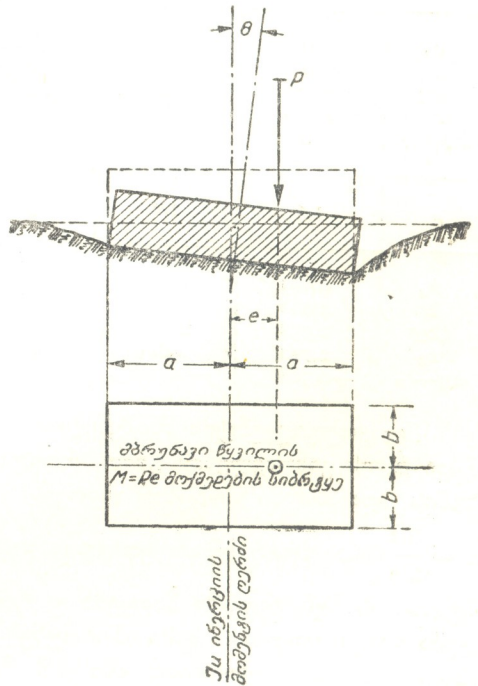
$$k = 4 \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{n} \right). \quad (4)$$

ამიტომ სწორკუთხოვანი შტამპის მობრუნების კუთხისათვის მივიღებთ გამოსახულებას:

$$\theta_{\text{მ. კუთხ.}} = k_M \frac{1 - \nu_0^2}{E_0} \cdot \frac{M}{J_u}, \quad (5)$$

სადაც ფორმის უგანზომილებო კოეფიციენტის მაგივრად გვაქვს მამრავლი:

$$k_M = k \cdot k_n = 4 \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{n} \right) k_n. \quad (6)$$



ფიგ. 1



ჩვენ მიერ გამოთვლილია  $k_M$  კოეფიციენტის სიდიდეები  $k_n$ -ს მთელი რივი მნიშვნელობებისათვის,  $k_n$ -ს მნიშვნელობები მოყვანილია მ. გორბუნოვ-პოსადოვის მიერ ცხრილებისა და გრაფიკების სახით, იქვე მოცემულია შესწორება მისი მიახლოებითი მეთოდის არაზუსტობის საკომპენსაციოდ. გამოთვლების შედეგები მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

$n$	0	0,1	0,2	0,5	0,67	1,0
$k_n$	0	0,063	0,123	0,288	0,366	0,510
$k$	0	41,333	21,333	9,333	7,333	5,333
$k_M$	2,546	2,600	2,624	2,688	2,684	2,720
$k_T$	2,546	2,597	2,618	2,664	2,685	2,722
$k_M - k_T$	0	+0,116%	+0,229%	+0,893%	-0,037%	-0,074%

$n$	1,5	2,0	3,0	5,0	7,0	10,0
$k_n$	0,689	0,842	1,088	1,445	1,700	2,015
$k$	4,000	3,333	2,667	2,133	1,905	1,733
$k_M$	2,758	2,807	2,901	3,083	3,238	3,493
$k_T$	2,772	2,810	2,905	3,073	3,236	3,476
$k_M - k_T$	-0,508%	-0,428%	-0,173%	+0,324%	+0,084%	+0,487%

$k_M$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა  $n = 0$  დროს შეუძლებელია მოინახოს  $k$  და  $k_n$ -ის გამრავლების გზით, როგორც ეს გაკეთებულია ცხრილის ამ სტრიქონის დანარჩენი რიცხვებისათვის. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ

$$n = \frac{2a}{2b} = 0 \text{ დროს სწორკუთხედის გვერდი } 2b = 0 \text{ და ამგვარად სწორკუთხა}$$

შტამპი ამ შემთხვევაში მიიღებს უსასრულო ზრდის სახეს სივანით  $2a$ , შეიძლება განვსაზღვროთ მისი მობრუნების კუთხე ვ. ფლორინის ვარდაქმნილი (2) ფორმულის მიხედვით, ამიტომ ჩვენს ცხრილში  $n = 0$  შემთხვევისათვის

$$\text{ჩატარებულია ფორმის კოეფიციენტის მნიშვნელობა } \frac{8}{\pi} = 2,546.$$

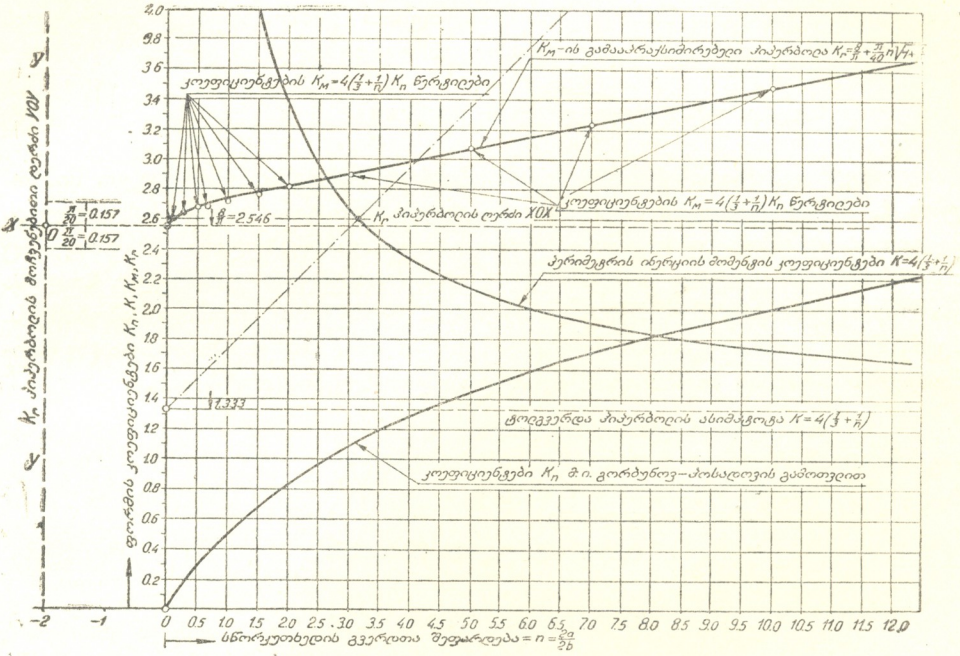
კოეფიციენტებს  $k_n$ ,  $k$  და  $k_M$  შორის დამოკიდებულების თვალსაჩინოებისათვის მათი მნიშვნელობები აღნიშნულია სწორკუთხოვან კოორდინატთა ბადეზე. ამავე დროს აბსცისებად მიღებულია შტამპის ძირის გვერდების დამოკიდებულების სიდიდეები (იხ. ფიგ. 2). მრუდი  $k$ , როგორც ეს ჩანს მისი ანალიზური გამოსახულებიდან, წარმოადგენს ტოლგვერდა ჰიპერბოლას (ფიგ. 2). კოეფიციენტის  $k_M$ -ის მნიშვნელობების გამომხატველი წერტილები განლაგებულია ისეთნაირად, რომ ამ კოეფიციენტის ცვალებადობის კანონი შეიძლება სიზუსტის დიდი ხარისხით მიახლოებულ იქნეს იმ ჰიპერბოლის შტოსთან,

$$\text{რომლის წვერო მოთავსებულია წერტილში } \left( n = 0; k_M = \frac{8}{\pi} \right).$$

ნამდვილი ღერძი  $XOX$  პარალელურია აბსცისათა ღერძისა, ხოლო წარმოსახვითი ღერძი  $YOY$  უთავსდება ორდინატთა ღერძის პარალელურ წრფეს  $n = -2$ . ეს



ჰიპერბოლა აღნიშნულია გრაფიკზე (ფიგ. 2) იმ წერტილებთან ერთად, რომელნიც გამოხატავენ  $k_M$  კოეფიციენტების მნიშვნელობებს.



ფიგ. 2. ფორმის კოეფიციენტების გრაფიკები არაცენტრალურად დატვირთული სწორკუთხედიანი ბრტყელი შტამპების მობრუნების კუთხეების გამოსახულებებში

ჰიპერბოლის განტოლებას კანონიკურ ფორმაში მისი მთავარი ღერძების  $XOX$  და  $YOY$  მიმართ აქვს შემდეგი სახე:

$$\frac{x^2}{[2]^2} - \frac{y^2}{\left[\frac{1}{20} \pi\right]^2} = 1.$$

ჩვენი კოორდინატთა ბადის ღერძების მიმართ ჰიპერბოლა აკმაყოფილებს განტოლებას:

$$k_T = \frac{8}{\pi} + \frac{\pi}{40} n \sqrt{1 + \frac{4}{n}} = 2,546 \left[ 1 + 0,031 n \sqrt{1 + \frac{4}{n}} \right]. \quad (7)$$

ფორმულაში (7)  $k_T$  საშუალებით აღნიშნულია ჰიპერბოლის ორდინატების ბადის აბსცისთა ღერძის მიმართ.

ხემოთ მოყვანილ ცხრილში მოცემულია ჰიპერბოლის  $k_T$  ორდინატების მნიშვნელობები, გამოთვლილი ფორმულით (7). იქვე მოცემულია  $k_T$  და  $k_M$  სიდიდეების სხვაობა  $\%/\%$ -ით. ამ უკანასკნელი სიდიდეების გადახრა ჰიპერბოლის ორდინატებისაგან გამოიხატება  $\%/\%$ -ის ნაწილებში და აქვს შემთხვევითი

ხასიათი, რომელიც ალბათ განპირობებულია ცდომილებათა სხვადასხვაობით  $k_n$  კოეფიციენტების გამოთვლების დროს.

თუ შევიტანთ განტოლებაში (5),  $k_n$ -ს მაგვირად მივიღებთ სწორკუთხოვანძირიანი შტამპების მობრუნების მიახლოებით განზოგადებულ ფორმულას შტამპის ძირის გვერდების ყოველგვარი დამოკიდებულების დროს:

$$\text{მს. კუთხ.} = 2,546 \frac{1 - \nu_0^2}{E_0} \left[ 1 + 0,03 I n \sqrt{1 + \frac{4}{n}} \right] \frac{M}{J_n}. \quad (8)$$

ამგვარად, სააღმშენებლო მექანიკისათვის რამდენადმე უჩვეულო სიმბოლოს  $J_n$ —სწორკუთხედის ინერციის მომენტის შემოტანა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ფორმით უბრალო განზოგადებული გამოსახულება (8), რომელიც აპროქსიმირებს დრეკად ნახევარსივრცეზე მოთავსებული უსასრულო ზოლისა და სწორკუთხოვანი შტამპების მობრუნების კუთხეების ცნობილ ამოხსნებს. შევნიშნოთ, რომ ამ გამოსახულებაში შესული ფორმის კოეფიციენტი (5) წარმოადგენს შტამპის ძირის გეომეტრიული ელემენტების ფუნქციას.

სსრ კავშირის ლენინის სახელობის  
 სას.-სამ. აკადემიის სოფლის მეურნეობის ელექტროფიკაციის  
 სამეცნიერო-საკვლევი ინსტიტუტის  
 თბილისის ფილიალი

რედაქციას მოუვიდა 30.6.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. В. А. Флорин. Расчеты оснований гидротехнических сооружений. М., 1948.
2. М. И. Горбунов-Посадов. Балки и плиты на упругом основании. М., 1949.

## 3. შეზღვევა

## ჰიდროელსადგურის წყალსაცავის მარგი მოცულობის დადგენა

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზაგრაძემ 9.10.1953)

ჰიდროელსადგურის წყალსაცავის მარგი მოცულობის ოპტიმალური სიდიდის დადგენის საკითხისადმი ბევრი გამოკვლევა მიძღვნილი, განსაკუთრებით საბჭოთა მეცნიერების მიერ. ცნობილია რიგი სტატიებისა ამ საკითხზე ჩვენს სპეციალურ ლიტერატურაში ([1, 2, 3, 4, 5] და სხვ.). მიუხედავად ამისა, დღემდე არ არსებობს ამ ამოცანის გადასაწყვეტად საყოველთაოდ მიღებული ანალიტიკური მეთოდი. სირთულე და ზოგიერთ შემთხვევაში კი სრული შეუძლებლობა მიღებულ იქნეს მათემატიკური დამოკიდებულებანი ჰიდროელსადგურის იმ ცვალებად ფაქტორებს შორის, რომლებიც დაკავშირებული არიან წყალსაცავის დონის ცვალებადობასთან, არ იძლევა ამოცანის ზუსტი ანალიტიკური გზით გადაწყვეტის საშუალებას, რის გამო საჭირო ხდება მთელი რიგი პირობითი დაშვებებისა და ვარაუდის მიღება რთულ მოვლენათა გასამარტივებლად.

ბუნებრივია, რომ ეს გამარტივებანი, რომლებიც დაიშვებიან ანალიტიკური ფორმულების გამოყენებისას, უნდა უზრუნველყოფდნენ იმ სიზუსტეს, რომელიც მოეთხოვება ამ ფორმულებს პრაქტიკული ამოცანის გადასაწყვეტად გამოყენებისას.

თითქმის ყველა ავტორი თავის გამოკვლევაში წყალსაცავის მარგი მოცულობის ოპტიმალური სიდიდის ანალიტიკური გზით დადგენის შესახებ იხილავს რეგულირების არა სრულ ციკლს, არამედ მხოლოდ დაცლის პერიოდს<sup>(1)</sup>.

ამ გამოკვლევებში არ ითვალისწინებენ წყალსაცავის შევსების პერიოდში შემცირებული დაწნევის გავლენას ენერჯის გამომუშავებაზე, რის გამო მათ მიერ წამოყენებულ ფორმულებს [1, 2, 3, 4], როგორც ეს ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, არასწორ შედეგებამდე მიყვავართ.

ზოგად შემთხვევაში წყალსაცავის მარგი მოცულობის ოპტიმალური სიდიდის დადგენა მოითხოვს ერთდროულად მიღებულ იქნეს მხედველობაში როგორც ენერგეტიკული, ისე ეკონომიკური ფაქტორების ცვალებადობა. მაგრამ ჰიდროელსადგურების როგორც დაპროექტების, ისე ექსპლუატაციის პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება შემთხვევა, როდესაც საჭიროა საკითხის გადაწყვეტა ენერჯის გამომუშავების მაქსიმუმის მიღების თვალსაზრისით.

(<sup>1</sup> გამონაკლისს შეადგენს ახლო ხანში გამოქვეყნებული ო. ყანჩაველის სტატია [7], რომელშიც ავტორი რეგულირების მთელ ციკლს იხილავს.

ამ შემთხვევაში ამოცანის ანალიტიკური გზით გადასაწყვეტად, როდესაც ჰიდროელსადგურის ნაგებობათა ტიპები და ზომები ცნობილია, საჭიროა დადგენილ იქნეს მათემატიკური დამოკიდებულება ენერჯის გამომუშავებასა და წყალსაცავისათვის მარგი მოცულობის პრიზმის სიმაღლეს შორის ისეთი  $T$  პერიოდისათვის, რომელიც რეგულირების მთელ ციკლს შეიცავს, ე. ი. დადგენილ უნდა იქნას  $\Xi_T = \varphi(h)$  დამოკიდებულება და მოიძებნოს მაქსიმალური გამომუშავება შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$\frac{d\Xi}{dh} = 0. \quad (1)$$

განვიხილოთ კაშხალთან მდებარე ჰიდროელსადგური შემდეგი წინაპირობით:

1. მდინარის წყლის ხარჯის სიდიდე, როგორც წყალსაცავის დაცლის განმავლობაში— $Q_{a.e}$ , ისე ავსების განმავლობაში— $Q_{a.a}$ —უცვლელია;
2. წყალსაცავის დაცლა ხდება წყლის მუდმივი  $Q_r$  ხარჯით;
3. წყალსაცავის მოცულობასა და მის დონეს შორის დამოკიდებულება წრფეწირულია, რაც უპასუხებს წყალსაცავების უმრავლესობის რეალურ პირობებს, დაცლის სიდიდის პრაქტიკული ცვალებადობის ფარგლებში.
4. ქვედა ბიეფის დონის ცვალებადობა მხედველობაში არ მიიღება. უნდა აღინიშნოს, რომ როდესაც საქმე ეხება წყალსაცავში ტრანსფორმირებული ხარჯების ქვედა ბიეფის დონეზე გავლენას და რეგულირების მთლიანი ციკლი გინიხილება, ეს პირობა გარკვეულ ფარგლებში სავსებით მისაღებია. საქმე იმაში მდგომარეობს, რომ ამ შემთხვევაში თუ წყალსაცავის დაცლის პერიოდში მდინარეში გაიშვება ზედმეტი წყალი, რომელიც წყალსაცავის მარგ მოცულობას— $V_n$  უდრის და ეს იწვევს მდინარეში დონის აწევას, მის შევსების პერიოდში მდინარის იმავე მოცულობის წყალი რჩება წყალსაცავში, რაც იწვევს ქვედა ბიეფის დონის დაწევას. ეს გარემოება გარკვეულ ფარგლებში აბათილებს დაწვევის იმ დანაკარგებს, რომლებსაც ადგილი აქვს წყალსაცავის დაცლისას. ზემოაღნიშნულის გამო, ანგარიშის დაზუსტების თვალსაზრისით ჩვენ გამართლებულად არ მიგვაჩნია ზოგიერთი ავტორის ცდა [1, 3] იმ გავლენის ანალიტიკურად გამოსახვაად, რომელსაც ქვედა ბიეფის დონეზე ახდენს წყალსაცავში დარეგულირებული წყლის ხარჯი, ვინაიდან აქ უხეშ დაშვებებს მიმართავენ რთული მოვლენის გასამარტივებლად.

აღნიშნოთ ჰიდროელსადგურის მუშაობის განსახილველი პერიოდი— $T$ , წყალსაცავის დაცლის პერიოდი  $T_p$  და ავსებისა— $T_{av}$ .

იმისათვის, რომ მივიღოთ დამოკიდებულება  $\Xi_T = \varphi(h)$ , ვისარგებლოთ ჰიდროელსადგურის ენერჯის გამომუშავების განტოლებით [6], რომელიც რომელიმე  $T_2—T_1$  პერიოდისათვის შემდეგი სახით დაიწერება:

$$\Xi = \int_{T_1}^{T_2} kQ(H - \alpha_1 Q^2 - \alpha_2 Q^n) dt. \quad (2)$$

აქ  $k=9,8 \eta$ , სადაც  $\eta$  აგრეგატის (ტურბინა, გენერატორი) მარგი ქმედების კოეფიციენტი,

$Q$ —ტურბინების მიერ გამოყენებული ხარჯი,

$H$ —ბრუტო დაწნევა,

$\alpha_1, \alpha_2$  და  $n$ —შუდმივი კოეფიციენტები, რომლებითაც ხასიათდება ნაგებობათა ტიპები და ზომები.

როდესაც ქვედა ბიეფის დონე უცვლელია, (2) განტოლების ნაცვლად გვაქვს

$$\Theta = \int_{T_1}^{T_2} kQ(H - \alpha_1 Q^2) dt. \quad (3)$$

სიდიდე  $\alpha_1$  შემდეგი ფორმულიდან განისაზღვრება [6]:

$$\alpha_1 = \frac{I}{m^2} \left[ \frac{II, 3 n_{\text{მორ}}^2 L_{\text{მორ}}}{D_{\text{მორ}}^{2,4}} + 0,083 \frac{\Sigma \xi_{\text{მორ}}}{D_{\text{მორ}}^5} \right],$$

სადაც  $L_{\text{მორ}}$ ,  $m$ ,  $n$  და  $\Sigma \xi_{\text{მორ}}$  საწნეო მილსადენის სიგრძე, დიამეტრი, ერთდროულად მოქმედი მილების რიცხვი, ხორკლიანობისა და ადგილობრივ წინააღმდეგობათა კოეფიციენტებია.

ჩვენს შემთხვევაში, ზემოთ აღნიშნულ წინაპირობათა მხედველობაში მიღებით, (3) განტოლება წყალსაცავის დაცლის პერიოდისათვის შემდეგნაირად დაიწერება:

$$\Theta_{\Sigma} = k \int_0^{T_{\Sigma}} (Q_{\text{მ.ე}} + Q_{\text{ვ}}) [(H_0 - h_t) - \alpha_1 (Q_{\text{მ.ე}} + Q_{\text{ვ}})^2] dt, \quad (4)$$

საიდანაც მივიღებთ

$$\begin{aligned} \Theta_{\Sigma} = k(Q_{\text{მ.ე}} + Q_{\text{ვ}}) H_0 \int_0^{T_{\Sigma}} dt - k(Q_{\text{მ.ე}} + Q_{\text{ვ}}) \int_0^{T_{\Sigma}} h_t dt \\ - k\alpha_1 (Q_{\text{მ.ე}} + Q_{\text{ვ}})^2 \int_0^{T_{\Sigma}} dt. \end{aligned} \quad (4')$$

როდესაც  $Q_{\text{მ.ე}}$  და  $Q_{\text{ვ}}$  მუდმივია,  $h$ -სა და  $t$ -ს შორის გვაქვს წრფეწირული დამოკიდებულება. ვინაიდან წყალსაცავის დაცილილი მოცულობა რომელიმე  $t$  მომენტში  $V_t = Q_{\text{ვ}} t$ , შეგვიძლია დავწეროთ

$$V_t = h_t F = Q_{\text{ვ}} t, \quad (5)$$

საიდანაც

$$h_t = \frac{Q_{\text{ვ}} t}{F}. \quad (5')$$

მეორე მხრივ,

$$Q_v = \frac{V}{T_g} = \frac{Fh}{T_g}. \quad (6)$$

თუ  $h_t$  და  $Q_v$  მიღებულ მნიშვნელობებს (4') განტოლებაში ჩავსვამთ და მას გადავწყვეტთ, მივიღებთ ჰიდროელსადგურის ენერჯის გამომუშავების გამოსახულებას წყალსაცავის დაცლის პერიოდისთვის, როგორც წყალსაცავის მარგი მოცულობის პრიზმის სიმაღლის ფუნქციას:

$$\Theta_g = k \left[ Q_{a.g} H_0 T_g + FH_0 h - \frac{Q_{a.g} T_g}{2} h - \frac{F}{2} h^2 - \alpha_1 \left( Q_{a.g} + \frac{Fh}{T_g} \right)^2 T_g \right]. \quad (7)$$

პერიოდისათვის  $T - T_g$  (3) განტოლებიდან გვექნება

$$\begin{aligned} \Theta_{T-T_g} = k Q_{3,\max} \int_{T_g}^T [H_0 - h_t] - \alpha_1 Q_{3,\max}^2 dt \\ + k Q_{3,\max} \int_{T_g+T_{a3}}^T (H_0 - \alpha_1 Q_{3,\max}^2) dt, \end{aligned} \quad (8)$$

საიდანაც მარტივი გარდაქმნის შემდეგ გვექნება

$$\Theta_{T-T_g} = k Q_{3,\max} H_0 \int_{T_g}^T dt - \alpha_1 k Q_{3,\max}^2 \int_{T_g}^T dt - k Q_{3,\max} \int_{T_g}^{T_g+T_{a3}} h_t dt. \quad (8')$$

წყალსაცავის ავსების განმავლობაში წყლის დონის ცვალებადობისათვის დროის მიხედვით გვაქვს  $V_t = Fh_t$ , საიდანაც

$$h_t = \frac{V_t}{F} = \frac{Q_{a.3} - Q_{3,\max}}{F} (t - T_g). \quad (9)$$

თუ  $h_t$  მნიშვნელობას (8) განტოლებაში ჩავსვამთ და მხედველობაში მივიღებთ, რომ

$$T_{a3} = \frac{hF}{Q_{a.3} - Q_{3,\max}},$$

მივიღებთ ენერჯის გამომუშავების გამოსახულებას წყალსაცავის ავსების  $T - T_g$  პერიოდისთვის როგორც  $h$  ის ფუნქციას

$$\begin{aligned} \Theta_{T-T_g} = k Q_{3,\max} H_0 (T - T_g) - \alpha_1 k Q_{3,\max}^2 (T - T_g) \\ - \frac{k Q_{3,\max} F h^2}{2 (Q_{a.3} - Q_{3,\max})}. \end{aligned} \quad (10)$$

მაშასადამე, ჰიდროელსადგურის მუშაობის განსახილველი  $T$  პერიოდისათვის გვექნება

$$\Theta_T = \Theta_g + \Theta_{T-T_g}.$$

თუ ამ გამოსახულების პირველ წარმოებულს ავიღებთ და მას ნაგებობის გაფუტოლებით, მივიღებთ

$$\frac{d\mathfrak{D}_T}{dh} = FH_0 - \frac{Q_{3.ე} T_{\mathfrak{E}}}{2} - Fh - 3\alpha_1 \left( Q_{3.ე} + \frac{Fh}{T_{\mathfrak{E}}} \right)^2 F - \frac{kQ_{3. max} Fh}{Q_{3. ავ} - Q_{3. max}} \quad (11)$$

მარტივი გარდაქმნებით გვექნება

$$\frac{3\alpha_1 F^2}{T_{\mathfrak{E}}^2} h^2 + \left( 1 + 6\alpha_1 Q_{3.ე} \frac{F}{T_{\mathfrak{E}}} + \frac{Q_{3. max}}{Q_{3. ავ} - Q_{3. max}} \right) h - H_0 + \frac{Q_{3.ე} T_{\mathfrak{E}}}{2F} + 3\alpha_1 Q_{3.ე}^2 = 0, \quad (12)$$

აქედან მივიღებთ წყალსაცავის მარგი მოცულობის პრიზმის ოპტიმალური სიმაღლის შემდეგ განტოლებას:

$$h_{ობ} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \quad (13)$$

სადაც

$$A = \frac{3\alpha_1 F^2}{T_{\mathfrak{E}}^2},$$

$$B = 1 + 6\alpha_1 Q_{3.ე} \frac{F}{T_{\mathfrak{E}}} + \frac{Q_{3. max}}{Q_{3. ავ} - Q_{3. max}},$$

$$C = -H_0 + \frac{Q_{3.ე} T_{\mathfrak{E}}}{2F} + 3\alpha_1 Q_{3.ე}^2.$$

ნაგებობებში დაწნევის დანაკარგებს თუ ბრუტო დაწნევის წილად გამოვსახავთ, ე. ი. მიახლოებით ანგარიშებისათვის დავეუშვებთ, რომ

$$\Sigma h_{სხაშ} = \varepsilon H_0, \quad (14)$$

გვექნება

$$H_0 - \Sigma h_{სხაშ} = H_0 - \varepsilon H_0 = (1 - \varepsilon) H_0.$$

თუ (3) განტოლებაში  $\alpha_1 Q^2$  ნაცვლად ჩავსვათ  $\varepsilon H_0$  და გადავწყვეტთ, მივიღებთ  $h_{ობ}$  მნიშვნელობის გამოსახულებას

$$h_{ობ} = \frac{(1 - \varepsilon) H_0 - \frac{Q_{3.ე} T_{\mathfrak{E}}}{2F}}{1 + \frac{Q_{3. max}}{Q_{3. ავ} - Q_{3. max}}}, \quad (15)$$

ან

$$h_{ობ} = \frac{(1 - \varepsilon) H_0 - \frac{Q_{3.ე} T_{\mathfrak{E}}}{2F}}{\psi}, \quad (16)$$

სადაც

$$\psi = 1 + \frac{Q_{3. max}}{Q_{3. ავ} - Q_{3. max}}.$$

თუ ნაგებობებში დაწნევის დანაკარგებს მხედველობაში არ მივიღებთ, ე. ი. როდესაც  $\varepsilon = 0$ , (16) ნაცვლად გვექნება

$$h_{ობ} = \frac{H_0 - \frac{Q_{3.ე} T_{\mathfrak{E}}}{2F}}{\psi}. \quad (17)$$

ვინაიდან  $Q_{a,e} T_e = W_{a,e}$ , სადაც  $W_{a,e}$  წყალსაცავის დაცლის პერიოდში მდინარის ის ჩანადენია, რომელიც ტრანზიტად გაივლის წყალსაცავში, (16) განტოლება შემდეგი სახითაც შეიძლება დაიწეროს:

$$h_{\text{ობგ}} = \frac{(1 - \varepsilon) H_0 - \frac{W_{a,e}}{2F}}{\psi} \quad (18)$$

ანალოგიურად (17) განტოლების ნაცვლად შეგვიძლია დავწეროთ

$$h_{\text{ობგ}} = \frac{H_0 - \frac{W_{a,e}}{2F}}{\psi} \quad (19)$$

წყალსაცავის მარგი მოცულობის პრიზმის ოპტიმალური სიმაღლე რომ მარტო დაცლის პერიოდისათვის დაგვედგინა, დაწინევის დანაკარგების მხედველობაში მიუღებლად, (12) განტოლების ნაცვლად გვექნებოდა

$$h - H_0 + \frac{Q_{a,e} T_e}{2F} = 0,$$

საიდანაც მივიღებდით

$$h_{\text{ობგ}} = H_0 - \frac{W_{a,e}}{2F}, \quad (20)$$

ე. ი. მივიღებდით დ. შჩაველევისა [1] და გ. კლიშევიჩის [2] ფორმულას. თუ (19) და (20) განტოლებებს ერთმანეთს შევადარებთ, შევამჩნევთ, რომ წყალსაცავის ავსების პერიოდის მხედველობაში მიუღებლობა იწვევს  $h_{\text{ობგ}}$ -ის მნიშვნელობის გაზრდას  $\psi$ -ჯერ.

როგორც აღნიშნული იყო, მიღებული  $h_{\text{ობგ}}$ -ის გამოსახულებანი გამოყვანილი იყო კაშხალთან მდებარე ტიპის ჰიდროელსადგურისათვის, მაგრამ ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შერეული ტიპის ჰიდროელსადგურებისთვისაც, თუ მათში  $H_0$  ნაცვლად  $H_0 + H_e$ , და  $\alpha_1 = \alpha_e + \alpha_{\text{ილ}}$  ნაცვლად  $\alpha_1 = \alpha_e$  ჩავსვამთ, სადაც  $H_e$  დერივაციის მიერ შექმნილი დაწნევაა და  $\alpha_e$  კოეფიციენტი, რომელიც ჰიდროელსადგურის დერივაციის ნაგებობების ტიპებსა და ზომებს ახასიათებს [6].

ანალოგიურად მიიღება გამოსახულებანი, როდესაც საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული წყალსაცავის დაცლის გავლენა ქვემოთ მდებარე ჰიდროელსადგურთა ჩანჩქერზე.

წყალსაცავის მარგი მოცულობის პრიზმის ოპტიმალური სიმაღლის ფორმულების გამოყვანისას  $Q_0$ ,  $Q_{a,e}$ ,  $Q_{\text{ავ}}$ ,  $Q_{a,\text{max}}$ , და  $Q_{a,\text{ავ}}$  სიღრმეებს მუდმივად განვიხილავდით. ძნელი არ არის სათანადო ფორმულების მიღება იმ შემთხვევისთვისაც, როდესაც ეს სიღრმეები ცვალებადია, თუ ცნობილია ამ ცვალებადობის კანონზომიერება დროის მიხედვით. კერძოდ, როდესაც წყლის ხარჯების ეს სიღრმეები წრფეწირულად იცვლება,  $h_{\text{ობგ}}$  გამოსახულება მეტად მარტივ სახეს ღებულობს.

ზემოთ მიღებული განტოლებები, რომლებიც გამარტივებული სახით წარმოგვიდგენენ იმ ცვალებადი ფაქტორების რაიულ ურთიერთდამოკიდებულებას, რომლებიც წყალსაცავის მარგი მოცულობის პრიზმის ოპტიმალური სიმაღლის დადგენასთანაა დაკავშირებული, საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ ზოგიერთი დასკვნა წყალსაცავის დაცლის შესახებ ენერჯის მაქსიმალური გამოუმავების თვალსაზრისით.



1. როგორც ჩანს, მაგალითად, (19) ფორმულიდან, რაც მეტია კამხლის სიმაღლე  $H_0$ , მით უფრო ხელსაყრელია მისი ღრმად დაცლა.

2. რაც უფრო დიდია წყალსაცავის ზედაპირის ფართობი, თუ დანარჩენი პირობები უცვლელია, მით უფრო ხელსაყრელია წყალსაცავის ღრმად დაცლა;

3. რაც მეტია სატრანზიტო ჩანადენი  $W_{a.ღ}$  და  $W_{a.აგ}$ , მით მეტია ენერჯიის დანაკარგი ამ ჩანადენის შემცირებულ დაწნევაზე გამოყენების გამო და მით ნაკლებად ხელსაყრელია წყალსაცავის ღრმად დაცლა. ეს დებულება უფრო თვალსაჩინო გახდება, თუ (19) ფორმულას შემდეგი სახით წარმოვიდგენთ:

$$h_{\text{მატ}} = \frac{H_0 - \frac{W_{a.ღ}}{2F}}{1 + \frac{W_{აგ}}{V}}; \quad (21)$$

4. იმ შემთხვევაში, როდესაც  $W_{a.ღ} = 2FH_0 = 2V_0$ , ვღებულობთ, რომ  $h_{\text{მატ}} = 0$ , ე. ი. როდესაც  $W_{a.ღ}$  უდრის ან მეტია წყალსაცავის ორმაგ სრულ მოცულობაზე, ენერჯიის გამომუშავების მაქსიმუმის მიღების თვალსაზრისით ხელსაყრელია წყალსაცავი მუდამ სავსე დარჩეს;

5. თუ წყალსაცავის დაცლის პერიოდში არააქვს ადგილი წყლის მოდინებას (მდინარის ხარჯი მთლიანად გამოიყენება სხვა მიზნებისათვის), ე. ი.  $W_{a.ღ} = 0$ , მაშინ (19) ფორმულიდან გვექნება

$$h_{\text{მატ}} = \frac{H_0}{\phi}$$

თუ ამავე დროს  $W_{აგ} = V$ , ე. ი. სატრანზიტო ჩანადენი ავსების პერიოდში უდრის წყალსაცავის მარგ მოცულობას, (21) ფორმულიდან გვექნება

$$h_{\text{მატ}} = \frac{H_0}{2}$$

თუ  $W_{a.ღ} = 0$  და  $W_{აგ} = 0$ ,

$$h_{\text{მატ}} = H_0,$$

ე. ი. როდესაც დაცლის პერიოდში წყლის მოდინებას არა აქვს ადგილი, ხოლო წყალსაცავის ავსების პერიოდში ჰიდროსადგური არ მუშაობს, თეორიულად ხელსაყრელია წყალსაცავი მთლიანად დაიცალოს;

7. როდესაც  $W_{a.ღ} \neq 0$  და  $Q_{აგ} \cdot \max = 0$ , ე. ი. ჰიდროსადგური მუშაობს მხოლოდ დაცლის პერიოდში და დანარჩენი დროის განმავლობაში ხდება მხოლოდ წყლის დაგროვება წყალსაცავში, ან, სხვანაირად რომ ვთქვათ, ჰიდროსადგური მარეგულირებელი გრაფიკით მუშაობს, ამ შემთხვევაში  $\phi = 1$  და (19) ფორმულა (20)-ის სახეს ღებულობს;

8. როდესაც  $Q_{აგ}$  უსასრულოდ დიდია  $Q_{აგ} \cdot \max$  სიდიდესთან შედარებით, ე. ი. წყალსაცავის ავსება სწრაფად ხდება, (19) ფორმულა ისევ (20) ფორმულის სახეს ღებულობს.



სწორედ ამ ორ უკანასკნელ შემთხვევას შეესაბამება (20) ფორმულით, რომელიც მიღებულია მათი ავტორების მიერ [1, 2] წყალსაცავის ავსების პერიოდში ენერჯის დაკარგვის მხედველობაში მიუღებლად.

დასასრულ მოგვყავს რიცხობრივი მაგალითი წყალსაცავის მარგი მოცულობის ოპტიმალური სიმაღლის დასადგენად.

მოცემულია:

$H_0 = 100$  მ—კაშხლის სიმაღლე,  $Q_{a,r} = 40$  მ<sup>3</sup>/ს—სატრანზიტო ხარჯი დაცლის პერიოდში,  $Q_{a,max} = 120$  მ<sup>3</sup>/ს—პესის მაქსიმალური ხარჯი,  $Q_{a,av} = 250$  მ<sup>3</sup>/ს—მდინარის ხარჯი ავსების პერიოდში,  $T_r = 5000$  საათი—დაცლის ხანგრძლიობა,  $F = 10$  კლ<sup>2</sup>—წყალსაცავის ზედაპირის ფართობი,  $L_{მიღ} = 100$  მ,  $D_{მიღ} = 2,8$  მ,  $m = 4$ ,  $n' = 0,011$ ,  $\Sigma \xi_{მიღ}$  საწნეო მილსადენის სიგრძე, დიამეტრი, მიღების რიცხვი, ხორკლიანობისა და ადგილობრივ წინააღმდეგობათა ჯამური კოეფიციენტებია.

თუ ამოცანის გადასაწყვეტად ვისარგებლებთ (13) ფორმულით, მივიღებთ

$$h_{opt} = 31,4 \text{ მ.}$$

წყალსაცავის ავსების მხედველობაში მიუღებლად კი (20) ფორმულიდან გვექნებოდა

$$h_{opt} = 64 \text{ მ,}$$

რაც 2,03-ჯერ აღემატება (13) ფორმულით და 1,9-ჯერ (17) ფორმულით მიღებულ შედეგებს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია

აღ. დიდებულის სახელობის

ენერგეტიკის ინსტიტუტი

თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 9.10.1953)

#### დამოწმებული ლიტერატურა

1. Л. С. Шавелев. Энергетика сезонного регулирования стока. Труды Ленинградского промышленного института, раздел Гидротехники, № 1, 1936.
2. Г. В. Клишевич. О наиболее выгоднейшей глубине сработки водохранилища гидростанции. Гидротехническое строительство, № 7, 1934.
3. С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель. Водохозяйственные расчеты, М., 1952.
4. В. В. Болотов. О режиме сработки пристанционного сезонного водохранилища. Гидротехническое строительство, № 11, 1946.
5. Т. Л. Золотарев. Определение оптимальной величины сработки водохранилища при сезонном регулировании гидротехнической установки. Бюллетень по проблемам водного хозяйства АН СССР, секция водохозяйственных проблем, Январь—Февраль, 1940.
6. П. Г. Шенгелия. Уравнения мощности и выработки гидроэлектростанции. Сообщения АН ГССР, т. XIV, № 7, 1953.
7. О. Г. Канчавели. Об установлении оптимальной высоты призмы регулирования водохранилища гидростанции. Труды Института энергетики АН ГССР, т. VII, 1953.

ფიზიოლოგია

## ბ. თუმანიშვილი

## პირობითი საძილე რეფლექსების შესწავლის საკითხისათვის

(წარმოდგინა აკადემიკოსმა ი. ბერიტაშვილმა 6.7.1953)

## პირობითი საძილე რეფლექსი კინესთეტიკურ გაღიზიანებაზე

პირობითი საძილე რეფლექსები არა ერთხელ ყოფილა აღწერილი ლიტერატურაში. აკად. ი. პავლოვმა და მისმა თანამშრომლებმა დაადგინეს, რომ თუ რაიმე ინდიფერენტული გამღიზიანებელი თანხედება საძილე შეკავების განვითარების პერიოდს, რამდენიმე ასეთი შეუღლებას შემდეგ ინდიფერენტული გამღიზიანებელი ძილის მომგვრელი ხდება, ცხოველის დაძინებას იწვევს. დამაძინებლად შეიძლება ყოველგვარი გამღიზიანებელი გადაიქცეს [1,9,10,12].

პირობითი საძილე რეფლექსები მიღებული იყო ადამიანებზედაც [3,7].

ამ საკითხის ზოგიერთი მხარე შედარებით ნაკლებადაა შესწავლილი. ასეთებია: პირობითი საძილე რეფლექსის გამომუშავების მიმდინარეობა, რეფლექსის დარღვევა (ჩაქრობა) და პირობითი საძილე რეფლექსების დიფერენცირება.

ძილისა და ღვიძილის ურთიერთშენაცვლებისათვის კინესთეტიკურ გაღიზიანებათა როლის შესწავლისას ჩვენ ამ საკითხების შესწავლაც მოგვიხდა.

მეთოდოლოგია. ცდები ჩატარებულია 6 კატასა და 1 ძალღზე. ცხოველებს დაზგაში ვათავსებდით. კატებისათვის გამოყენებული დაზგა ჩვეულებრივისაგან მხოლოდ სიდიდით განსხვავდებოდა. კატებს დაზგაში განსაკუთრებული წინსაფრით ვამაგრებდით, ხოლო ძალღს თასმებით. წინდაწინ ყველა ცხოველს გამომუშავებული ჰქონდა პირობითი კვებითი მამოძრავებელი რეფლექსი ბგერაზე. პირობითი სიგნალის გამოყენებათა შორის ინტერვალების გადიდებისას ადვილად ვითარდებოდა ძილი. ძილის მდგომარეობა განისაზღვრებოდა როგორც გარეგანი ნიშნების (ქუთუთოების მდგომარეობა, კისრისა და კიდურების კუნთების ტონუსი, სუნთქვა და სხვ.), ისე პირობითი კვებითი მამოძრავებელი რეფლექსის ფაულური პერიოდის მიხედვით. ძილის დროს ფაულური პერიოდი ხშირად ათჯერ აღემატებოდა ცხოველის ღვიძილის მდგომარეობაში გაზომილ ამავე რეფლექსის ფაულურ პერიოდს. მრავალ შემთხვევაში პირობითი გაღიზიანება უმოქმედო რჩებოდა, ზოგჯერ კი ცხოველი ახელდა თვალს, მაღლა სწევდა თავს, მაგრამ საკვებს არ იღებდა. ადგილი ჰქონდა ე. წ. ნეგატივიზმის ძოვლენას, როგორც ჰიპნოზური მდგომარეობის დაქაზასათებელ ნიშნად ითვლება.

ძილის მდგომარეობაში ცხოველის აშკარად გადასვლის შემდეგ ვაწარმოებდით მისი ერთი ან ორი კიდეურის პასიურ მოხრას კიდეურზე მიბმული მანუეტისა და მასზე დამაგრებული თოკის საშუალებით. ერთ ჯერზე გამოყენებულ მოხრაათა რიცხვი სხვადასხვაა და დამოკიდებულია ცდის მიმდინარეობაზე.

ცდების შედეგები. პირველ ხანებში კიდეურის პასიური მოხრა მძინარე ცხოველის გაღვიძებას იწვევს. ცხოველის ღვიძილის დროს მისთვის კიდეურის პასიური მოხრა, უმრავლეს შემთხვევაში, იწვევს სუსტ განმათავისუფლებელ მოძრაობებს და მხოლოდ ორ შემთხვევაში (კატები—„ჰკვიანა“ და „ფლეგმა“) აღრიცხულია საორიენტაციო რეაქცია: ცხოველი ცქვეტდა ყურებს, იყურებოდა მოხრილი კიდეურისაკენ და სხვ.

შემდგომი გამოყენებისას კიდეურის პასიური მოხრის გამაღვიძებელი გავლენა სუსტდება, ბოლოს კი სულ ქრება.

გამაღვიძებელი გავლენის გაქრობის შემდეგ კიდეურის პასიური მოხრა ძილის მომგვრელ თვისებებს იძენს, ძილის გამომწვევ აგენტად იქცევა. ზოგჯერ ეს გადასვლა უშუალოა, ზოგჯერ კი გარდამავალი პერიოდებიც აღინიშნება. მაგალითად, ორ კატაზე („ტურფა“ და „კეთილი“) ცდების ჩატარებისას გამომჟღავნდა პერიოდი, როდესაც კიდეურის პასიური მოხრა არ მოქმედებდა არც მძინარე და არც გაღვიძებულ ცხოველზე. იგი გარეგნულად ინდიფერენტული იყო. ძალს კი („მიშკა“) ამის მაგივრად ჰქონდა პერიოდი, როდესაც კიდეურის პასიური მოხრა მძინარე ცხოველს აღვიძებდა, ხოლო მღვიძარს აძინებდა.

კიდეურის პასიური მოხრა, ძილის მდგომარეობაში მისი არაერთგზის გამოყენების შედეგად, ყოველთვის ძილის მომგვრელ გამღიზიანებლად იქცევა. გამომუშავდა პირობითი საძილე რეფლექსი კიდეურის პასიურ მოხრაზე. ამ რეფლექსის განმტკიცების შემდეგ ცხოველის დასაძინებლად საკმარისი ხდება კიდეურის ერთხელ მოხრა. პირობითი საძილე რეფლექსის გამომუშავება სხვადასხვა ცხოველში სხვადასხვა სისწრაფით ხდება, რაც შემდეგი ცხრილიდან ჩანს.

კიდეურის პასიური მოხრის გამაღვიძებელი გავლენა ჩაუქრა:

კატა „ყვითელს“	10	გამოყენების შემდეგ <sup>1</sup> .
„ბოლიას“	17	„ „
„კეთილს“	12	„ „
„ტურფას“	6	„ „
„ჰკვიანას“	47	„ (უკანა კიდეური)
„ „	14	„ (წინა კიდეური)
ძალღ „მიშკას“	20	„ „

პირობითი საძილე რეფლექსი გამომუშავდა:

(<sup>1</sup> ციფრები აღნიშნავს ძილის მდგომარეობაში მყოფი ცხოველის კიდეურის პასიურ მოხრათა გამოყენების რიცხვს. აღსანიშნავია, რომ ერთ ჯერზე წარმოებდა რამდენიმე მოხრა და თითო ასეთი ჯგუფი ერთ გამოყენებად ითვლებოდა.)

კატა „ყვითელს“	10	გამოყენების შემდეგ
„ „ბოლიას“	17	„ „
„ „ტურფას“	13	“ “
„ „კეთილს“	18	„ „
„ „ჭკვიანას“	47	„ „ (უკანა კიდური)
„ „	14	„ „ (წინა კიდური)
ძალღ „მიშკას“	11	„ „

ყველა შემთხვევაში, გარდა ერთისა („ჭკვიანა“), წარმოებდა წინა კიდურის პასიური მოხრა. შემდეგ კი პირობითი საძილე რეფლექსი მიღებულ იქნა როგორც უკანა კიდურის, ისე ორი წინა კიდურის ერთდროულ პასიურ მოხრაზეც.

ჩვენ ვცადეთ გამომუშავებული პირობითი საძილე რეფლექსის დარღვევა. ამისათვის კიდურის პასიურ მოხრას ვაუღლებდით ცხოველის გაღვიძებასთან. გაღვიძებას ვიწვევდით სხვადასხვა ძლიერი უცხო გამღიზიანებლების (ჩვეულებრივად ბეგრების) საშუალებით. ამგვარ შეუღლებათა შედეგად კიდურის პასიური მოხრა არა მარტო კარგავს ძილის მომგვრელ თვისებებს, არამედ გამაღვიძებელიც ხდება.

კატა „კეთილს“ პირობითი საძილე რეფლექსი დაერღვა გაღვიძებასთან ღვიძლის მდგომარეობასთან კიდურის პასიური მოხრის 27-ჯერ შეუღლებით, კატა „ჭკვიანას“ 31-ჯერ, ხოლო ძალღ „მიშკას“ — 20-ჯერ შეუღლებით. კატა „ტურფას“ პირობითი საძილე რეფლექსი ვერ დავურღვიეთ, თუმცა კიდურის პასიური მოხრა გაღვიძებასთან 18-ჯერ შევაუღლეთ და ცდებს შორისაც 10-დღიანი ხარვეზი დაეუშვია.

აღსანიშნავია პირობითი საძილე რეფლექსის დარღვევის ტალღისებური მიმდინარეობა.

დარღვეული პირობითი საძილე რეფლექსის აღდგენა იმავე გზით ხდება, რომლითაც მისი გამომუშავება. ამ რეფლექსის აღდგენა მის პირვანდელ გამომუშავებაზე უფრო სწრაფად წარმოებს.

შემდგომ ცდებში ჩვენ მოვახდინეთ პირობითი საძილე რეფლექსის დიფერენცირება. პირველ ორ კატაზე ცდების ჩატარებისას მოვახდინეთ სიმეტრიული კიდურის პასიური მოხრის დიფერენცირება, მესამე კატისათვის ძილის მომგვრელ გამღიზიანებლად გამოვიყენეთ ერთდროულად ორივე წინა კიდურის პასიური მოხრა, ხოლო სადიფერენციაციოდ უკანა კიდურის პასიური მოხრა.

ყველა შემთხვევაში დიფერენციაცია სამ ფაზად მიმდინარეობდა. პირველ ცდებში სადიფერენციაციო კიდურის პასიური მოხრა ხშირად ცხოველის აშკარა გაღვიძებას იწვევდა. მიღებულ იქნა ე. წ. დიფერენცირება „აღვილიდან“. მაგრამ ძალიან მალე სადიფერენციაციო კიდურის ეს გამაღვიძებელი მოქმედება გაქრა და რეფლექსი გენერალიზებული აღმოჩნდა. სადიფერენციაციო კიდური ისევე ძილის მომგვრელი ხდება, როგორც „პირობითი“. შემდგომ კი, ძილის მდგომარეობასთან „პირობითი“ კიდურის პასიური მოხრისა, ხოლო გაღვიძების პროცესთან სადიფერენციაციო კიდურის პასიური

მოხრის სისტემატური შეუღლებით მიღწეულ იქნა მტკიცე დიფერენცირება. ასეთი დიფერენცირება შედარებით ადვილად მიიღება. კატა „კეთილზე“ დიფერენცირება მიღებულ იქნა გაღვიძების პროცესთან სადიფერენციაციო კიდურის პასიური მოხრის 37-ჯერ შეუღლების შემდეგ. კატებზე „ბოლია“ და „ჭკვიანა“ ცდების ჩატარებისას დიფერენცირების მისაღებად საკმარისი აღმოჩნდა 9-ჯერ და 10-ჯერ ასეთი შეუღლება.

შედევების განხილვა. კიდურის პასიური მოხრის თავდაპირველი გამაღვიძებელი მოქმედება ამ გამლიზიანებლის უჩვეულობის შედეგია. ქერქის მამოძრავებელ უბანში აღმოცენებული აგზნება მთელ ქერქზე ვრცელდება და შეკავების გაუქმებას იწვევს. მართლაც და, თუმცა კიდურის პასიურ მოხრას საორიენტაციო რეაქცია იშვიათად მოსდევს, მისი აღრიცხვა ზოგიერთ ჩვენს ცდაში მაინც მოხერხდა.

შემდგომ კიდურის პასიური მოხრის გამაღვიძებელი გავლენა ქრება და იმედროულად ვითარდება საძილე რეფლექსის დროებითი კავშირები. ამ კავშირების არსებობის დასამტკიცებლად ჩატარდა სპეციალური ცდები, რომლებიც წარმოებდა კატა „ფლეგმაზე“. ამ ცდებში წინა კიდურის პასიურ მოხრას მიემართავდით ცხოველის ღვიძლის მდგომარეობაში. ამასთან მოხრათა პირველი ჯგუფები 20—20 მოხრისაგან შედგებოდა. ამ შემთხვევაში კიდურის პასიური მოხრა ძილის მომგვრელ გამლიზიანებლად არ გადაქცეულა 42 გამოყენების შემდეგაც კი. ამავე კატის მიმართ ძილის მდგომარეობაში წინა კიდურების ერთდროული მოხრის სულ 5-ჯერ გამოყენებით მას გამოუმუშავდა პირობითი საძილე რეფლექსი ამ გამლიზიანებელზე.

მოყვანილი ფაქტების საფუძველზე უნდა დავასკვნათ, რომ პირობითი საძილე რეფლექსი ვერ აიხსნება ჩაქრობის შედეგად ქერქის მამოძრავებელი უბნიდან აღმოცენებული შეკავების ირადიაციით. ეს რეფლექსი განპირობებული უნდა იყოს განსაკუთრებული შემკავებელი დროებითი კავშირებით. უნდა ვიფიქროთ, რომ ეს კავშირები ძალიან რთულია, მრავალი რგოლისაგან შედგება და მთელ ქერქს მოიცავს.

ამგვარად, პირობითი საძილე რეფლექსი უარყოფითი (შემკავებელი) რეფლექსების ერთ ერთ სახეს წარმოადგენს. მისთვის დამახასიათებელია შეკავების ფართო ირადიაცია.

როგორც ჩვენ მიერ მიღებული შედეგებიდან ჩანს, პირობითი საძილე რეფლექსი შეიძლება ჩავაქროთ. ეს ხდება ძილის მომგვრელი გამლიზიანებლის გაღვიძების, ე. ი. აგზნების ირადიაციის პროცესთან მისი შეუღლებით (ჩვენს შემთხვევაში, ისევე როგორც, საერთოდ, ყველა უარყოფითი რეფლექსის მიმართ, უფრო შესაფერისია ვილაპარაკოთ არა რეფლექსის ჩაქრობაზე, არამედ მის დარღვევაზე). პირობითი საძილე რეფლექსის დარღვევის შედეგად გამლიზიანებელი, რომელიც აქამდე ძილის მომგვრელი იყო, გამაღვიძებელი ხდება. ახლად მიღებული გამაღვიძებელი რეფლექსი არსებითად ძალიან უახლოვდება პირობით საორიენტაციო რეფლექსს (პირველად ეს მოვლენა ივანოვ-სმოლენსკიმ აღწერა).

რაც შეეხება ჩვენს ცდებში გამოყენებული ძილის მომგვრელი გამლიზიანებლების დიფერენცირებას, ამ შემთხვევაშიც მუქავნდება სხვა უარყოფით რეფლექსებთან მსგავსება. ცნობილია, რომ ასეთი რეფლექსები ჩვეულებრივად გენერალიზებულია და დიფერენცირების მიღება ხერხდება სადიფერენციაციო გამლიზიანებლის შემაკავებელი მოქმედების დარღვევის გზით [4,6,8].

როგორც ჩანს, დიფერენცირების სამუშაოანი მიმდინარეობა ისევე აიხსნება, როგორც ასეთივე მოვლენა დადებითი რეფლექსების შემთხვევაში. პირველი ფაზა—დიფერენცირება ადგილიდან—მიიღება სადიფერენციაციო გამლიზიანებლის უჩვეულობის გამო, მეორე ფაზაში ვლინდება რეფლექსის გენერალიზაცია, ხოლო მესამე ფაზაში ხდება ქეშმარიტი, მტკიცე დიფერენცირება [11,13].

სპეციალური ცდები გვაფიქრებინებს, რომ ჩვენს ცდებში მიღებული ეფექტები მართლაც მამოძრავებელ ანალიზატორზე დამოკიდებული და არა კანის ანალიზატორზე. განსაკუთრებულ ცდებში ვახდენდით კანის გალიზიანებას კიდურის პასიური მოხრის გარეშე (თოკის ფრთხილი გამოწვევით, ზოგჯერ კი თათზე ჩამოცმული ლითონის რგოლის საშუალებითაც). კანის გალიზიანების არც ერთ შემთხვევაში ძილის მომგვრელი ეფექტი არ მიგვიღია. იგი ან აღვიძებდა ცხოველს, ან ეს გალიზიანება ინდიფერენტული რჩებოდა. ამასთან ცნობილია, რომ გამლიზიანებელთა კომპლექსში ძლიერი გამლიზიანებლის მოქმედება უფრო ადვილად ვლინდება, ვიდრე სუსტისა [4]. ამიტომ უნდა ვიფიქროთ, რომ ჩვენს შემთხვევაში მთავარ როლს მამოძრავებელი ანალიზატორი ასრულებს.

დასასრულ, უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენ მიერ მიღებული შედეგები საგნებით უარყოფს ზოგიერთი უცხოელი ავტორის (კლეიტმანი, მილერი, კორიატი) აზრს, რომლის მიხედვით პროპრიოცეპტული იმპულსები ძილის შემფერხებლად გვევლინება ყოველგვარ პირობებში. ეს ავტორები იზიარებენ თეორიას, რომელიც ძილს თავის ტვინის ქერქის ფუნქციური დეაფერენტაციის შედეგად აღიარებს. ამ თეორიის მიხედვით, ძილის მდგომარეობა ვითარდება თავის ტვინში მიმდინარე იმპულსების რაოდენობის მკვეთრი შემცირების გამო.

ჩვენი ცდებით მტკიცდება, რომ კინესთეტური იმპულსები პირობების შესაბამისად შეიძლება გაააღვიძებელიც გახდეს და ძილის მომგვრელიც. ამგვარად, მამოძრავებელი ანალიზატორი მონაწილეობს ძილის ფუნქციის შეგუებითს რეგულაციაში.

### დასკვნები

1. ძილის მდგომარეობასთან კინესთეტური გალიზიანების არაერთგზისი შეუღლების შედეგად აღმოცენდება პირობითი საძილე რეფლექსი. ამ რეფლექსს საფუძვლად უდევს განსაკუთრებული დროებითი კავშირები, რომლებიც განაპირობებენ თავის ტვინის ქერქის ექსტენსიურ შეკავებას

2. შესაძლებელი ხდება გამოძუშავებული პირობითი საძილე რეფლექსის დარღვევა გაღვიძების, ე. ი. ქერქში შეკავების გაუქმებისა და ავზნების ირადიაციის პროცესთან კინესთეტური გალიზიანების შეუღლების გზით.

3. კინესთეტური გამღიზიანებლის მიმართ პირობითი საძილე რეფლექსის დარღვევის შედეგად ძილის მომგვრელი გამღიზიანებელი გამალვიძებელ აგენტად იქცევა.

4. მიღებული შედეგებით დასტურდება, რომ ძილის რეგულირებაში მამოძრავებელი ანალიზატორი მონაწილეობს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია  
 ფიზიოლოგიის ინსტიტუტი  
 თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 15.7.1953)

#### დამოწმებული ლიტერატურა

1. Б. Н. Бирман. Экспериментальный сон. Госиздат. Ленинград, 1925.
2. А. Г. Иванов-Смоленский. Об анализе последовательного четырехчленного звукового раздражения. Тр. физиол. лабор. акад. И. П. Павлова, 2, вып. 1, 47, 1927.
3. И. Н. Красногорский. Инфракрасное излучение тела у детей при гипнотических состояниях коры больших полушарий. Жур. высш. нерв. деят. I, в. 3, 376, 1951.
4. И. И. Кржишковский. К физиологии условного тормоза. Диссерт. раб. С.-Пб., 1905.
5. П. С. Купалов и Х. Гант. О зависимости между силой условного раздражителя и величиной условного рефлекса. Тр. физиол. лабор. акад. И. П. Павлова, 2, в. 2—3, 1928.
6. И. И. Лепорский. Материалы к физиологии условного торможения. М., Дисс. С.-Пб., 1911.
7. И. О. Нарбутович. Возможность вызывания гипнотического сна и дегипнотизации у человека при помощи индифферентных раздражителей по методу условных рефлексов. Арх. биол. наук, 34, I, 1934.
8. П. И. Николаев. К физиологии условного торможения. Дисс. С.-Пб., 1910.
9. И. П. Павлов. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. Полн. собр. т. IV, изд. АН СССР, 1947.
10. И. П. Павлов. 20-летний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности животных. Медгиз. Москва, 1951.
11. И. С. Розенталь. К вопросу о специализации условных рефлексов. Арх. биол. наук 23, в. 4—5, 247, 1924.
12. В. К. Федоров. Снотворное действие слабых электрических раздражений с кожи собаки. Тр. физиол. лабор. акад. И. П. Павлова, 5, 199, 1938.
13. Д. С. Фурсиков. Влияние внешнего тормоза на образование дифференцировки и условного тормоза. Арх. биол. наук. 12, 83, 1922.
14. Nath. Kleitman. Sleep and Wakefulness Chicago, 1939.



## არქეოლოგია

რ. ბახტაძე

### არეაზისხევის სამაროვნის VI სამარხის ვერცხლის ჭურჭლის აღდგენა

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ნ. ბერძენიშვილმა 22.5. 1953)

არქეოლოგიური გათხრით მოპოვებული ლითონის თითქმის ყველა ნივთი, მეტ-ნაკლები სიძლიერით, დაფარულია მიწით, ჟანგულებითა და მარცხვით — კოროზიის პროდუქტებით. ეს გარემოება იმითაა გამოწვეული, რომ ლითონის ნივთები დროის საკმაოდ დიდ მანძილზე მიწაში იმყოფებოდა. ზოგ შემთხვევაში კოროზიის პროცესი ისე შორსაა წასული, რომ ნივთის აღდგენის საშუალებას აღარ იძლევა. რა თქმა უნდა, მუზეუმის საცავში ნივთების ამ სახით მოთავსება მიზანშეწონილი არაა, ვინაიდან ნივთის ზედაპირზე, ხშირად კი თვით ლითონში, წარმოქმნილი კოროზიის პროდუქტები უმეტეს შემთხვევაში ნივთს ფორმას უცვლის, ორნამენტს ფარავს და სხვა. გარდა ამისა, მიწიდან ამოღების შემდეგ ჟანგვის პროცესი, რომელიც ჯერ კიდევ მიწაში ყოფნისას დაიწყო, უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს.

კოროზიის განიცდას ყველა ლითონი, გარდა კეთილშობილი ლითონებისა, რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება პლატინა, ოქრო, ვერცხლი, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ხშირად ვერცხლის ნივთს დაკარგული აქვს ლითონის სახე, კოროზირებულია და მეტად მყიფეა.

წინამდებარე ნაშრომში აღწერილია ვერცხლის კოროზიის შემთხვევები და აღდგენის ერთ-ერთი მეთოდი.

როდესაც ვერცხლის ნივთი მიწაში უშუალო კონტაქტშია ნატრიუმის ქლორიდთან (ან სხვა ქლორიდებთან, მიწისქვეშა წყლების სიახლოვის გამო), იგი იფარება ვერცხლის ქლორიდის თეთრ-მონაცრისფრო ფენით, რომელიც სინათლის მოქმედებით თანდათან მუქდება და მონაცრისფრო-იისფერს იღებს. ეს შენაერთი თავისი შედგენილობით მინერალ რქავერცხლის ანალოგიურია. თუ შევადარებთ სუფთა ვერცხლის ხედრით წონას — 10,5 ვერცხლას ქლორიდის ხედრით წონას — 5,6, აშკარა გახდება ის დიდი ცვლილება, რომელსაც განიცდის ლითონური ვერცხლი ვერცხლის ქლორიდში გადასვლისას.

არქეოლოგიური გათხრით აღმოჩენილი ვერცხლის ნივთები კოროზიის პროდუქტების ფარის გამო ხშირად ძნელი გასარჩევია ბრინჯაოს ნივთებისაგან. ეს გარემოება იმით აისხნება, რომ ვერცხლის შედგენილობაში ლიგატურის სახით შეჰყავდათ სპილენძი, რათა რბილი ლითონური ვერცხლისათვის მიე-

ცათ მეტი სიმაგრე. ვერცხლის ნივთში სწორედ ლიგატურის სახით შეყვანილი სპილენძი განიცდის კოროზიას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ვერცხლის შემდგომ მდგრადობაზე. ამ დროს შენადნობი მყიფე ხდება სპილენძის მარილებში გადასვლის გამო.

ზოგჯერ არქეოლოგიური ვერცხლის ნივთები ძლიერ ტეხადი და მყიფეა, რაც ვარეგნულად არ არის შესამჩნევი, მაგრამ საკმარისია ოდნავი მექანიკური ზეგავლენა, რომ ამაში დავრწმუნდეთ. ეს აიხსნება შენადნობის სტრუქტურული ვარდაქმნით — რეკრისტალიზაციით. ასეთი ნივთები ისე იმსხვრევა, როგორც მინა და ფაიფური.

მუზეუმში დაცულ ვერცხლის ექსპონატებს შორის ძალიან მძიმე მდგომარეობაში იყო 1940 წლის შემოდგომაზე მცხეთის არქეოლოგიური ექსპედიციის მიერ არმაზისხევში, ქართლის ერისთავთა საგვარეულო სასაფლაოზე, № 6 სამარხში აღმოჩენილი ვერცხლის პინაკი ქალის რელიეფური ბიუსტი ცენტრში, რომელიც ცნობილია „ფორტუნას“ სახელწოდებით.

პინაკი დაბალია, მასიური, შედარებით გაშლილი, ქუსლდაბალი ნაპირი შესქელებული აქვს. კალთები ორივე მხარეს სრულიად სადაა. ფსკერზე შიგნიდან დამაგრებულია ვერცხლისავე მრგვალი მედალიონი — ახალგაზრდა ქალის გამოსახულება წელხევით. რელიეფი არათანაბარი სიმაღლისა მხრებამდე თითქმის მრგვალი ქანდაკებაა, ქვემოთ კი ჰორელიეფი. ქალს თავი ნახევრად მობრუნებული აქვს მარცხნივ. გრძელი, სქელი თმა შუაზეა გაყოფილი და გარდიგარდმო გადაჭერილი საკმაოდ ფართო ლენტით არის შეკავებული. კეფაზე თმები აწეული აქვს, ხოლო გვერდებზე ჩამოშლილი. ნაწილობრივ შეწული თმის ბოლოები შიშველ მხრებსა და მკერდზე ოდნავ ტალღისებურადაა დაფენილი. ქალს მოსავს გრძელბეწვიანი ტყავი, რომელიც, ბეწვსა და მხრებზე გადმოკიდებული ჩლიქის მიხედვით, თხისა უნდა იყოს. მარჯვენა მკლავი დაშვებული აქვს ტანის გასწვრივ. მარცხენა მკლავი ნიდაყვში სწორკუთხონადაა მოღუნული და ნებით მკერდთან მიტანილი. ამ ხელით უჭირავს დიდი და ბრტყელი ყანწი, რომელიც ჯიხვის რქასა ჰგავს. ყანწის ფართო პირიდან გადმოკიდებულია: სამი ყურძნის მტევანი, სამი ვაშლი, სამი პურის თავთავი და ერთი ფიჭვის გირჩის მსგავსი ნაყოფი. როგორც ჩანს, ეს არის „სიუხვის ყანწი“.

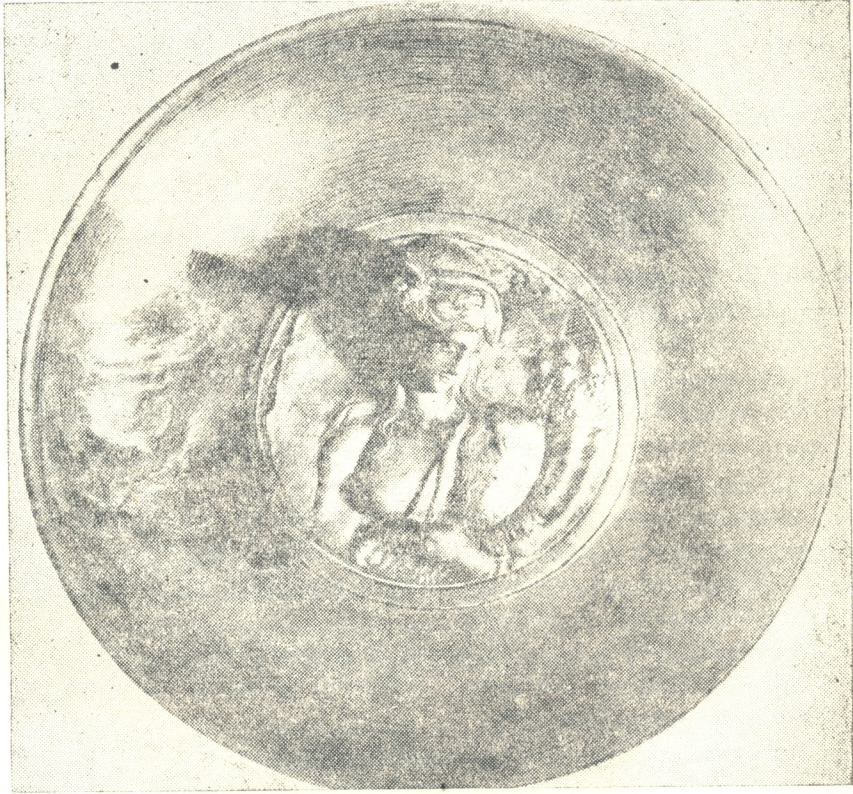
თხის ტყავი, ყანწი და თმებზე გადაჭერილი ლენტი თავის დროზე ოქროცურვილი ყოფილა და ეს დაფერილობა ახლაც საკმაოდ ეტყობა (სურ. 1).

„ფორტუნას“ აღმოჩენისთანავე ეტყობოდა ნაბზარი, რომელიც კეფიდან იწყებოდა. შემდგომ ეს ნაბზარი გაიზარდა და გამოსახულების შუბლს მიაღწია. საჭიროყო ზომების მიღება აღნიშნული პროცესის შესაჩერებლად და სწორედ ამ ამოცანის გადაწყვეტას შეუდგა აკად. ს. ჯანაშიას სახელობის საქართველოს სახელმწიფო მუზეუმის ქიმიურ-სარესტავრაციო ლაბორატორია.

აღმოჩენისთანავე ცხადი იყო, რომ რელიეფური ბიუსტი ცალკე დაემზადებინათ. ხ ა ლ დ მ ქ ე რ კ დ ა ქ ა კ რ უ პ ი ნ ა ა პ ი ნ ა კ ე მ .

ბიუსტი უკანა მხრიდან ამოვსებული იყო მონაცრისფრო-თეთრი მკვრივი მასით. მედალიონის წონა მასით 90,5292 გრამს აღწევდა. შესაძლებელი ვახდა გამოსახულებაში მოთავსებული მასის პატარა ნაწილის ამოღება, რო-

მელსაც თვისებითი სპექტრული ანალიზი გაუკეთდა. ანალიზის შედეგი ასეთია: ტყვია — ბევრი, კალა — ბევრი, სილიციუმი — ცოტა (1<sup>0</sup>/<sub>100</sub>-მდე), ალუმინი — კვალი (0,01<sup>0</sup>/<sub>100</sub>-მდე), რკინა—კვალი (0,01<sup>0</sup>/<sub>100</sub>), კალციუმი — კვალი (0,01<sup>0</sup>/<sub>100</sub>-მდე), მაგნიუმი — კვალი (0,01<sup>0</sup>/<sub>100</sub>-მდე), სპილენძი—მცირე (0,1<sup>0</sup>/<sub>100</sub>-მდე ვერცხლი — მცირე (0,1<sup>0</sup>/<sub>100</sub>-მდე), მაგნიუმი, ნიკელი, კობალტი, ქრომი, თუთია, ანთიმონი, დარიშხანი არ არის.



სურ. 1.

ამ ანალიზის საფუძველზე წარმოებულ იქნა მასის ოდენობითი ანალიზი. შედეგი ასეთია:

სილიციუმი — 033<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, კალა — 26,13<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, ტყვია—45,65<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, სულ—72,77<sup>0</sup>/<sub>100</sub> (დანაკლისი გამოწვეულია ლითონების გადასვლით ჟანგეულებში).

ორგანული მინარევეების აღმოჩენის მიზნით (დანაკარგი გახურების დროს) წინასწარ აწონილი მასა გავახურეთ 900° C. აღმოჩნდა, რომ გახურების შედეგად ნიმუშის წონა მცირედ გაიზარდა, რაც იმის მაჩვენებელი უნდა იყოს რომ შენადნობში მყოფი ელემენტების ჟანგვა მაღალ ტემპერატურაზეც ხდება.

ამგვარად, გამოირკვა, რომ ქალის რელიეფური ბიუსტი დამზადების შემდეგ, გამაგრების მიზნით, ამოუვსიათ ტყვიისა და კალის ადვილადმლლობი

შენადნობით, რომლის ლღობის ტემპერატურა  $231,9^{\circ}\text{C}$  და  $327,4^{\circ}\text{C}$ -ს შორის უნდა ყოფილიყო, ( $231,9^{\circ}\text{C}$  კალის ლღობის ტემპერატურა,  $327,4^{\circ}\text{C}$  — ტყვიის ლღობის ტემპერატურა).

როგორც ჩანს, ამ ლითონებში ადრევე დაწყებულია ჟანგვის პროცესი, რომელიც, რა თქმა უნდა, სამარხიდან ნივთის ამოღების შემდეგაც გრძელდებოდა.

რაკი ლითონთა ჟანგვა მოცულობის ვაზრდით ხასიათდება, ცხადია, ამას უნდა გამოეწვია ქანდაკების გაბზარვა.

იმისათვის, რომ სრული სურათი მიგვეღო, ჩავატარეთ ვერცხლის ანალიზი<sup>(1)</sup>. სინჯისათვის ავიღეთ ვერცხლის მინიმალური რაოდენობა გამოსახულების კიდიდან. სინჯის აღებისას გამოიჩინა, რომ ლითონი ძლიერ მყიდვე და მსხვრევალია, რაც გამოწვეულია ლითონური ვერცხლის რეკრისტალიზაციით.

ვერცხლის ანალიზის შედეგი ასეთია:

ვერცხლი —  $93,53\%$ , რქავერცხლი — არ არის, სპილენძი —  $3,45\%$ , რკინა —  $0,23\%$ , კალა — კვალი, ტყვია — არ არის, თუთია — კვალი, უხსნადი ნაშთი —  $1,67\%$ , სულ —  $98,88\%$ .

ამგვარად, ჩატარებული კვლევის საფუძველზე დადგინდა, რომ რელიეფური ქანდაკების შიგნით მოთავსებული მასის ჟანგვის პროცესი დამთავრებული არ იყო, რის გამოც მოსალოდნელი იყო ნაბზარის შემდგომი ზრდა, რომელიც, თავის მხრივ, საფრთხეს უქმნიდა ექსპონატს. ამიტომ ჩვენ წინაშე დაისვა მეტად რთული ამოცანა:

1. საჭირო იყო მასის ამოღება იმგვარად, რომ რეკრისტალიზებულ, მსხვრევად ლითონად ქცეული ვერცხლი არ დაზიანებულიყო;

2. აღვედგინა ვერცხლის ლითონური თვისებები. ე. ი. დაგვებრუნებინა მისთვის ელასტურობა და სიმაგრე.

იმისათვის, რომ ვერცხლის ნივთი არ დაზიანებულიყო, საჭირო იყო ისეთი ქიმიური ვამხსნელის გამოყენება, რომელიც გახსნიდა მასას და უარყოფითად არ იმოქმედებდა ვერცხლზე.

მრავალჯისი ცდებით იმ დასკვნამდე მივედით, რომ ამ მასის ამოღება შესაძლებელი იქნებოდა  $60^{\circ}\text{C}$  გაცხელებული  $1:2$  ( $d=1,19$ ) კონცენტრაციის მარილმჟავას ხსნარით, რომელშიც ვერცხლი პრაქტიკულად არ იხსნება. ამრიგად, ლაბორატორიაში გამოიშუშავებულ იქნა ასეთი ვერცხლის აღდგენის ტექნოლოგია.

ეს სამუშაო ჩატარეს ლაბორატორიის თანამშრომლებმა პროფ. გ. აკი-მოვის, პროფ. ფ. თავაძისა და მუზეუმის სეიფის სწავლული მცველის, ისტორიის მეცნიერებათა კანდიდატის ალ. ჯავახიშვილის უშუალო მონაწილეობით.

გამოსახულებაში მოთავსებულ მასას 14 საათის განმავლობაში ვამუშავებდით ზემოაღნიშნული მარილმჟავას ხსნარის ძლიერი ჭავლით, რის შედეგად მასა ამოღებულ იქნა სიღრუფიდან.

<sup>(1)</sup> ვერცხლისა და თავში მოთავსებული მასის ანალიზი გააკეთა ლაბორატორიის უმცრომეცნ. თანამშრომელმა ნ. ლუცენკომ.

მარილმჟავათი დამუშავების შემდეგ აღმოჩნდა, რომ გამოსახულების ზედაპირი ალაგ-ალაგ დაფარულია პატარა ბორცვებით. პროფ. გ. აკიმოვის აზრით, ეს არის შეუცვლელი ლითონის აპკი, რომელიც მოსცილდა კრისტალ-შორისი კოროზიით დაზიანებულ ლითონს.

მარილმჟავათი დამუშავებას, თავის მხრივ, უარყოფითი ზეგავლენის მოხდენა შეუძლია ვერცხლზე, თეკი მის ფორმებში დარჩება ქლორ-იონი, რომელიც საწყის კერას წარმოადგენს ახალი ქანგვითი პროცესის დაწყებისათვის; ქლორ-იონის მოცილების მიზნით რელიეფური გამოსახულება 9 საათის განმავლობაში ვადუღეთ გამობდილ წყალში (წყალი ეცვლებოდა ყოველ სამ საათში).

გაშრობის მიზნით ექსპონატი 12 საათის განმავლობაში თერმოსტატში იყო მოთავსებული  $110^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე.

ნივთის საბოლოო წონა (დამუშავების შემდეგ) არის 58,0190 გრამი. ამგვარად, ქანდაკების თავში მოთავსებული მასის წონა 37,5102 გრამი ყოფილა.

ლითონური თვისებების აღდგენის მიზნით რელიეფური გამოსახულება თერმული მეთოდით დავამუშავეთ, ე. ი. გაეახურეთ მუფელის ლუმელში მაღალ ტემპერატურაზე.

ქვემოთ მოგვყავს თერმული დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმი (ცელსიუსით): 0 წუთი  $20^{\circ}$ , 15 წუთი  $150^{\circ}$ , 30 წუთი  $260^{\circ}$ , 45 წუთი  $330^{\circ}$ , 1 საათი  $380^{\circ}$  (მკერდსა და ხელზე ბუმტულები შემცირდა), 1 ს. 15 წ.  $500^{\circ}$  (ვერცხლმა გათეთრება იწყო), 1 ს. 30 წ.  $600^{\circ}$  (მოოქროვებულ ადგილებზე ოქროს ფერი გაქრა). 2 საათი  $660^{\circ}$ , 2 ს. 30 წ.  $680^{\circ}$ , 3 საათი  $700^{\circ}$ , 4 საათი 30 წ.  $700^{\circ}$ .

ამის შემდეგ დამუშავება შევწყვიტეთ, ნივთი გავაცივეთ ჰაერზე და შევამოწმეთ ვერცხლის სიმაგრე და ელასტურობა. აღმოჩნდა, რომ ექსპონატს ლითონური თვისებები ჯერ არ ჰქონდა სავსებით აღდგენილი, ამიტომ განვაგრძეთ გახურება უფრო მაღალ ტემპერატურაზე: 1 საათი  $740^{\circ}\text{C}$ , 2 საათი  $850^{\circ}-870^{\circ}\text{C}$ .

ამის შემდეგ სწრაფად მოვათავსეთ ცივ წყალში — წრთობის მიზნით.

ლითონური თვისებების ხელმეორედ შემოწმებით გამოირკვა, რომ ვერცხლი სავსებით აღდგენილია — ლითონის ხმა მიეცა, გაიზარდა სიმაგრე და ელასტიკურობა.

საერთო სურათი თერმული დამუშავების შემდეგ ასეთია: ვერცხლმა მიიღო არასასიამოვნო მოყვითალო ფერი, მოოქროვებული ადგილები სავსებით გათეთრდა.

შევეცადეთ აღგვედგინა ოქროსა და ვერცხლის ფერი; ამ მიზნით ექსპონატი 5 საათის განმავლობაში მოვათავსეთ გოგირდწყალბადიან არეში, რის შედეგად ვერცხლმა მიიღო სასიამოვნო „ძველი“ ფერი, როგორც ადრე ჰქონდა, ხოლო ოქროს ფერი მოოქროვებულ ადგილებზე სავსებით აღდგა.

გარდა ზემოაღწერილი შემთხვევისა, არქეოლოგიური ვერცხლის თერმული მეთოდით დამუშავებამ მთელ რიგ შემთხვევებში სავსებით დაამკმაყოფილებელი შედეგი მოგვცა. თუმცა აქ მხედველობაშია მისაღები ის, რომ

ნივთის თერმულ დამუშავებამდე უნდა იყოს ცნობილი კოროზიის პროდუქტებისა და ვერცხლის პროცენტული შემცველობა.

დაუშვებელია რქავერცხლით (ვერცხლის ქლორიდი) დაფარული ვერცხლის ნივთების თერმული დამუშავება წინასწარ გასაწმენდად ასევე სპილენძის მარილებით დაფარული ვერცხლის ნივთებისა. დანარჩენ შემთხვევებში თერმული დამუშავება სავსებით მიზანშეწონილია.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია

ს. ჯანაშიას სახელობის

საქართველოს სახელმწიფო მუზეუმი

თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 26.6.1953)

რედაქტორის მოადგილე ი. გ ი გ ი ნ ე ი შ ვ ი ლ ი

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობის სტამბა, აკ. წერეთლის ქ. № 3/5

Типография Издательства Академии Наук Грузинской ССР, ул. Ак. Церетели № 3/5

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.10.1953

საბეჭდი ფ. 5,5

ანაწყობის ზომა 7×11

სააღრ.-საგამომცემლო ფორმათა რაოდ. 4,5

შეკვ. 1389

უგ 10776

ტირაჟი 1000