

то определяем значения $U(x, y)$ на фиктивном $x-\Delta x$ -м слое на основании выражения

$$U_i(-\Delta l) = \varphi_{i,1}(x, y) - \Delta l \varphi_{i,2}(x, y), \quad (9)$$

где Δl выбираем таким образом, чтобы искомым значениям функции $U_i(-\Delta l)$ совпадали с граничными узлами.

	200	175	150	125	100	75	50	25	0
$\times 242,04$	200	157,96	125,96	100,78	79,51	60,83	44,71	32,29	25
$\times 369,12$	200	130,88	95,11	72,65	56,44	44,08	33,74	34,46	50
$\times 129,54$	100	70,46	50,96	38,28	29,51	23,33	19,72	19,79	25
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Распределение потенциала в узлах сетки прямоугольной области.

Для иррегулярных точек сетки воспользуемся выражением

$$\varphi(x + \Delta x, y) = \varphi(x, y) \left[1 + \frac{\Delta x}{\partial x} + \frac{\Delta x (\Delta x + \partial x)}{\Delta y \cdot \partial y} \right] - \varphi(x - \partial x, y) \frac{\Delta x}{\partial x} - \frac{\Delta x (\Delta x + \partial x)}{\Delta y + \partial y} \left[\frac{\varphi(x, y + \partial y)}{\partial y} + \frac{\varphi(x, y - \Delta y)}{\Delta y} \right].$$

Выясняем устойчивость схемы (7). Пусть в точках начального слоя допущена ошибка ϵ_{pq} :

$$W(x_p, y_q) = \epsilon_{pq}; \quad W(x_p, y_q) = 0, \quad (x_p, y_q) \in G, \quad (\bar{x}_p, \bar{y}_q) \in \Gamma, \quad (10)$$

Нас интересует, как изменится погрешность $W(x_p, y_q)$ при неограниченном возрастании x_p . Так как погрешность должна удваиваться (7), то получаем

$$W(x_p, y_q) = \sum_s C_s \left[1 + 2k \sin^2 \frac{\pi}{2y_q} \Delta y \pm 2k \sin \frac{\pi}{2y_q} \times \right. \\ \left. \times \Delta y \sqrt{\frac{1}{k} + \sin^2 \frac{\pi}{2y_q} \Delta y \pm \frac{\pi}{2y_q} \sin \frac{\pi}{y_q} x_p} \right], \quad (11)$$

где C_s выбираем из условия (10).

Для устойчивости необходимо, чтобы функция $W(x_p, y_q)$ оставалась ограниченной при $x_p \rightarrow \infty$. Достаточно, чтобы для всех s было выполнено условие

$$\left| 1 + 2k \sin^2 \frac{\pi}{2y_q} \Delta y \pm 2k \sin \frac{\pi}{2y_q} \Delta y \sqrt{\frac{1}{k} + \sin^2 \frac{\pi}{2y_q} \Delta y} \right| \leq 1. \quad (12)$$

Этому равенству удовлетворяет условие $k \geq 0$, т. е. схема (7) устойчива при любом соотношении размеров сетки.

В качестве примера на рисунке представлены результаты расчета на ЭВМ электрического потенциала в прямоугольной области G при заданных значениях потенциала на отдельных участках границы Γ и значениях нормальной производной на одном из них. Потенциалы узлов фиктивного слоя определены согласно (9).

Применение изложенного метода не ограничивается наглядным открытым гранич. Он применим в комбинации с другими методами, а также к интегрированию уравнения Пуассона.

Статья поступила в редколлегию 23.12.83

УДК 628.35:621.385

А. С. КОЛОС

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИКАТОДНОЙ ОБЛАСТИ БЕСКРОССОВЕРНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

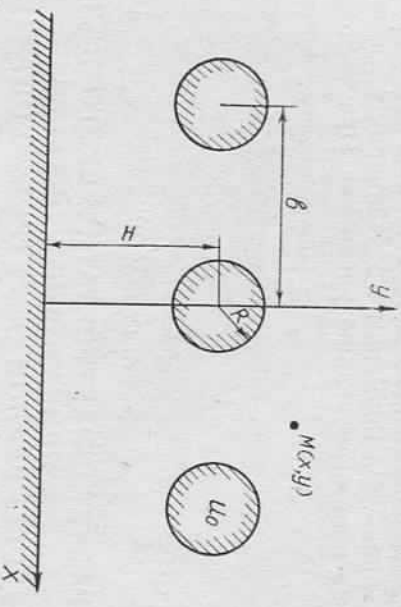
Основным конструктивным элементом электронно-лучевых приборов специального назначения является электронный прожектор, который служит для создания узкого сфокусированного электронного луча. В зависимости от назначения в ЭЛТ используются электронные прожекторы разнообразнейшей конструкции. Для повышения точности измерений в ЭЛТ, применяемых в геодезическом производстве, пятно от электронного пучка на экране должно быть наименьших размеров, четко очерчено, а интенсивность свечения пятна однородна и не уменьшаться резко до нуля на краях пятна. Это достигается путем применения так называемых бескроссоверных электронно-оптических систем, в которых плотность тока в его сечении между катодом и модулятором расположено дополнительными электродом с небольшим положительным потенциалом. Электрод может выполняться в виде сетки падающих проволок или круглого или прямоугольного сечения, шага радиальных проволок круглого или прямоугольного сечения, шага намотки, диаметр проволоки, расстояние до катода и потенциал которой подбирают экспериментально, в результате чего нет уверенности в оптимальном выборе всех этих величин.

Чтобы аналитически рассчитать их значение, необходимо знать траекторию электронов, для чего найти распределение электрического поля в прикатодном угле.

Цель настоящей работы — расчет данного электрического поля. При выводе аналитических выражений для определения электрического поля в прикатодном угле бескроссоверной ЭОС следовало допустить: электрическое поле, создаваемое

пространственным зарядом электронного луча в плоскости сетки, равно нулю, т. е. использовалось уравнение Лапласа; катод и сетка плоские и большой поверхности (по сравнению с размерами проводов сетки).

Очевидно, эти допущения приводят к некоторой неточности, но в центральной, т. е. рабочей области катода расхождение должно быть небольшим.



Система электродов для нахождения электростатического поля.

Таким образом, для нахождения электростатического поля в прикатодном узле рассматривается система электродов, представленная на рисунке.

Для решения уравнения Лапласа

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

используем метод Фурье — метод разделения переменных. Решение (1) запишем так:

$$U(x, y) = A(x) \cdot B(y). \quad (2)$$

При подстановке (2) в (1) получаем

$$A'' + \frac{B''}{B} = 0; \quad A'' + \lambda^2 A = 0; \quad B'' - \lambda^2 B = 0,$$

где λ — постоянная разделения. Уравнение Лапласа имеет вид

$$U(x, y) = A \cdot B = (C_1 \sin \lambda x + C_2 \cos \lambda x) (C_3 \operatorname{sh} \lambda y + C_4 \operatorname{ch} \lambda \cdot y).$$

Для нахождения постоянных интегрирования и постоянной разделения используем граничные условия и периодичность поля:

- а) если $x = x_0 + pb$, где $p = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, то $A(x + pb)\lambda = A(x\lambda)$, что возможно в случае $\lambda p b = 2\pi n$, откуда $\lambda = 2\pi n/b$, где $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$;
- б) если $y = 0$, то $U = 0$, отсюда $C_4 = 0$;

в) электрическое поле симметрично относительно оси Y , если $C_1 = 0$;
 г) сумма частных решений — также решение уравнения, поэтому получаем

$$U = U_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \cos 2\pi n \frac{x}{b} \operatorname{sh} 2\pi n \frac{y}{b}. \quad (3)$$

Для нахождения неизвестных коэффициентов C_n используем второе граничное условие: когда точка $M(x, y)$ находится на круге $(x - nb)^2 + (y - H)^2 = R^2$, то $U = U_0$. Вводим обозначения 2π

$$R = r, \quad 2\pi \frac{H}{b} = h, \quad x = R \cdot \cos \varphi, \quad y = H + R \sin \varphi.$$

При $U = U_0$

$$U_0 = U_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \cdot \cos(r \cdot n \cdot \cos \varphi) \cdot \operatorname{sh} \left(r \cdot n \frac{H}{R} + r \cdot n \cdot \sin \varphi \right).$$

$$1 = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \cdot \cos(rn \cos \varphi) \left[\operatorname{sh} \left(r \cdot n \frac{H}{R} \right) \operatorname{ch}(r \cdot n \cdot \sin \varphi) + \right.$$

$$\left. + \operatorname{ch} \left(r \cdot n \frac{H}{R} \right) \cdot \operatorname{sh}(r \cdot n \cdot \sin \varphi) \right].$$

Обозначим

$$\operatorname{sh} \left(r \cdot n \frac{H}{R} \right) = B_n, \quad \operatorname{ch} \left(r \cdot n \frac{H}{R} \right) = A_n.$$

Таким образом,

$$1 = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \cdot \cos(r \cdot n \cdot \cos \varphi) [A_n \cdot \operatorname{sh}(r \cdot n \cdot \sin \varphi) + B_n \cdot \operatorname{ch}(r \cdot n \cdot \sin \varphi)].$$

Так как

$$\cos(r \cdot n \cdot \cos \varphi) = J_0(r \cdot n) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k J_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi,$$

$$\operatorname{sh}(r \cdot n \cdot \sin \varphi) = 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} I_{2k-1}(r \cdot n) \sin(2k-1)\varphi,$$

$$\operatorname{ch}(r \cdot n \cdot \sin \varphi) = I_0(r \cdot n) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k I_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi,$$

то C_n определяем

$$1 = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n [2A_n J_0(r \cdot n) \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} I_{2k-1}(r \cdot n) \sin(2k-1)\varphi +$$

$$\begin{aligned}
& + B_n I_0(r \cdot n) J_0(r \cdot n) + 2B_n J_0(r \cdot n) \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k I_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi + \\
& + 4A_n \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k J_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} I_{2k-1}(r \cdot n) \times \\
& \times \sin(2k-1)\varphi + 2B_n I_0(r \cdot n) \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k J_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi + \\
& + 4B_n \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k J_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k I_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi].
\end{aligned}$$

Как видим,

$$\begin{aligned}
& 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k J_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} I_{2k-1}(r \cdot n) \sin(2k-1)\varphi = \\
& = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \left| \sum_{m=0}^k I_{2m+1}(r \cdot n) J_{2(k-m)}(r \cdot n) - I_{2k+1}(r \cdot n) J_0(r \cdot n) \right| + \\
& + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+1}(r \cdot n) J_{2m+2k+2}(r \cdot n) + I_{2k+2m+3}(r \cdot n) \cdot J_{2m+2}(r \cdot n)) \times \\
& \times \sin(2k+1)\varphi,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k J_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k I_{2k}(r \cdot n) \cos 2k\varphi = \\
& = \sum_{k=0}^{\infty} I_{2k} + 2(r \cdot n) J_{2k+2}(r \cdot n) + \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^{k+1} \left| \sum_{m=0}^k I_{2m+2}(r \cdot n) \times \right. \\
& \times J_{2k-2m}(r \cdot n) - I_{2k+2}(r \cdot n) J_0(r \cdot n) + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+2}(r \cdot n) \times \\
& \times J_{2m+2k+4}(r \cdot n) + I_{2m+2k+4}(r \cdot n) J_{2m+2}(r \cdot n)) \cos(2k+2)\varphi.
\end{aligned}$$

Окончательно получаем

$$\begin{aligned}
1 = & \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \{ B_n J_0(r \cdot n) I_0(r \cdot n) + 2B_n \sum_{k=0}^{\infty} I_{2k+2}(r \cdot n) J_{2k+2}(r \cdot n) + \\
& + 2A_n \{ J_0(r \cdot n) \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k J_{2k+1}(r \cdot n) + \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \left| \sum_{m=0}^k I_{2m+1}(r \cdot n) \times \right. \\
& \times J_{2(k-m)}(r \cdot n) - I_{2k+1}(r \cdot n) J_0(r \cdot n) + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+1}(r \cdot n) J_{2m+2k+2}(r \cdot n) + \\
& \left. + I_{2k+2m+3}(r \cdot n) J_{2m+2}(r \cdot n)) \} \sin(2k+1)\varphi +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2B_n \{ J_0(r \cdot n) \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^{k+1} I_{2k+2}(r \cdot n) + \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^{k+1} \left| \sum_{m=0}^k I_{2m+2} \times \right. \\
& \times (r \cdot n) J_{2k-2m}(r \cdot n) - I_{2k+2}(r \cdot n) J_0(r \cdot n) + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+2}(r \cdot n) \times \\
& \times J_{2m+2k+1}(r \cdot n) + I_{2m+2k+1}(r \cdot n) J_{2m+2}(r \cdot n)) \} \cos(2k+2)\varphi \}.
\end{aligned}$$

Это равенство выполняется при любом угле в том случае, когда коэффициенты при тригонометрических функциях равняются нулю:

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} C_n \{ B_n [J_0(r \cdot n) I_0(r \cdot n) + 2 \sum_{k=0}^{\infty} I_{2k+2}(r \cdot n) J_{2k+2}(r \cdot n)] \} = 1, \\
& \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} A_n C_n \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \left| \sum_{m=0}^k I_{2m+1}(r \cdot n) J_{2k-2m}(r \cdot n) + \right. \\
& + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+1}(r \cdot n) J_{2m+2k+2}(r \cdot n) + I_{2k+2m+3}(r \cdot n) J_{2m+2}(r \cdot n)) \} = 0, \\
& \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} C_n B_n \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^{k+1} [I_0(r \cdot n) J_{2k+2}(r \cdot n) + \sum_{m=0}^k I_{2m+2}(r \cdot n) \times \\
& \times J_{2k-2m}(r \cdot n) + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+2}(r \cdot n) J_{2m+2k+4}(r \cdot n) + \\
& \left. + I_{2m+2k+4}(r \cdot n) J_{2m+2}(r \cdot n))] = 0.
\end{aligned}$$

В эти уравнения входят бесконечные ряды произведений Бесселя-Вих функций первого рода от действительного и мнимого аргумента. При разложении этих функций в ряды получаем

$$\begin{aligned}
I_0(x) J_0(x) + 2 \sum_{m=0}^{\infty} I_{2m+2}(x) J_{2m+2}(x) &= 1, \\
\sum_{m=0}^k I_{2m+1}(x) J_{2k-2m}(x) + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+1}(x) J_{2k+2m+2}(x) + \\
& + I_{2k+2m+3}(x) J_{2m+2}(x)) = \frac{x^{2k+1}}{2(2k+1)!}, \\
I_0(x) \cdot J_{2k+2}(x) + \sum_{m=0}^k I_{2m+2}(x) \cdot J_{2k-2m}(x) + \sum_{m=0}^{\infty} (I_{2m+2}(x) \times \\
& \times J_{2m+2k+4}(x) + I_{2m+2k+4}(x) \cdot J_{2m+2}(x)) = \frac{x^{2k+1}}{2(2k+2)!}.
\end{aligned}$$

Используя полученные выше соотношения, уравнения для определения неизвестных коэффициентов C_n имеют вид

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \cdot B_n = 1,$$

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n A_n \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{(r \cdot n)^{2k+1}}{(2k+1)!} \cdot \sin(2k+1)\varphi = 0,$$

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \cdot B_n \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^{k+1} \frac{(r \cdot n)^{2k+2}}{(2k+2)!} \cdot \cos(2k+2)\varphi = 0.$$

Приравнявая коэффициенты при тригонометрических функциях нулю, получаем

$$\begin{aligned} & \dots + C_{-3} B_{-3} + C_{-2} \cdot B_{-2} + C_{-1} \cdot B_{-1} + C_0 B_0 + C_1 B_1 + \\ & \quad + C_2 B_2 + C_3 B_3 + \dots = 1, \\ & \dots - (3r) C_{-3} A_{-3} - (2r) C_{-2} A_{-2} - (1r) C_{-1} A_{-1} + (0r) A_0 \cdot C_0 + \\ & \quad + (1r) C_1 A_1 + (2r) A_2 C_2 + (3r) C_3 A_3 + \dots = 0, \\ & \dots + (3r)^2 C_{-3} B_{-3} + (2r)^2 C_{-2} B_{-2} + (1r)^2 C_{-1} B_{-1} + (0r)^2 C_0 B_0 + \\ & \quad + (1r)^2 C_1 B_1 + (2r)^2 C_2 B_2 + (3r)^2 C_3 B_3 + \dots = 0, \\ & \dots - (3r)^3 C_{-3} A_{-3} - (2r)^3 C_{-2} A_{-2} - (1r)^3 C_{-1} A_{-1} + \\ & \quad + (0r)^3 C_0 A_0 + (1r)^3 C_1 A_1 + (2r)^3 C_2 A_2 + (3r)^3 C_3 A_3 + \dots = 0. \end{aligned}$$

Просуммируем попарно строчки:

$$\begin{aligned} & \dots + (B_{-2} - 2r A_{-2}) C_{-2} + (B_{-1} - 1r A_{-1}) C_{-1} + (B_0 - 0r A_0) C_0 + \\ & \quad + (B_1 + 1r A_1) C_1 + (B_2 + 2r A_2) C_2 + \dots = 1, \\ & \dots + (2r)^2 (B_{-2} - 2r A_{-2}) C_{-2} + (1r)^2 (B_{-1} - 1r A_{-1}) C_{-1} + \\ & \quad + (0r)^2 (B_0 - 0r A_0) C_0 + (1r)^2 (B_1 + 1r A_1) C_1 + \\ & \quad + (2r)^2 (B_2 + 2r A_2) C_2 + \dots = 0, \\ & \dots + (2r)^4 (B_{-2} - 2r A_{-2}) C_{-2} + (1r)^4 (B_{-1} - 1r A_{-1}) C_{-1} + \\ & \quad + (0r)^4 (B_0 - 0r A_0) C_0 + (1r)^4 (B_1 + 1r A_1) C_1 + \\ & \quad + (2r)^4 (B_2 + 2r A_2) C_2 + \dots = 0. \end{aligned}$$

Сгруппировав попарно члены в каждой строчке и учитывая, что $B_0 = 0, B_{-n} = -B_n, A_{-n} = +A_n$, имеем

$$\begin{aligned} & (B_1 + 1r A_1)(C_1 - C_{-1}) + (B_2 + 2r A_2)(C_2 - C_{-2}) + \\ & \quad + (B_3 + 3r A_3)(C_3 - C_{-3}) + \dots = 1, \\ & (1r)^2 (B_1 + 1r A_1)(C_1 - C_{-1}) + (2r)^2 (B_2 + 2r A_2)(C_2 - C_{-2}) + \\ & \quad + (3r)^2 (B_3 + 3r A_3)(C_3 - C_{-3}) + \dots = 0, \\ & (1r)^4 (B_1 + 1r A_1)(C_1 - C_{-1}) + (2r)^4 (B_2 + 2r A_2)(C_2 - C_{-2}) + \\ & \quad + (3r)^4 (B_3 + 3r A_3)(C_3 - C_{-3}) + \dots = 0, \end{aligned}$$

Обозначая $(B_n + n r A_n) \cdot (C_n - C_{-n}) = x_n$, получаем такую систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестной x_n :

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots &= 1, \\ 1^2 x_1 + 2^2 x_2 + 3^2 x_3 + 4^2 x_4 + \dots &= 0, \\ 1^4 x_1 + 2^4 x_2 + 3^4 x_3 + 4^4 x_4 + \dots &= 0, \\ \dots & \end{aligned}$$

или в матричной форме

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ 1^2 & 2^2 & 3^2 & 4^2 & \dots \\ 1^4 & 2^4 & 3^4 & 4^4 & \dots \\ 1^6 & 2^6 & 3^6 & 4^6 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ \dots \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \end{vmatrix}$$

Для решения этого матричного уравнения необходимо найти детерминант и дополнения бесконечной матрицы. Это матрица Ван-ден-Монда.

Обратную матрицу Ван-ден-Монда определяем используя то, что значение детерминанта не изменится, если к некоторому столбцу (строчке) прибавить второй (вторую), умноженный на постоянное число:

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ 1 & 2^2 & 3^2 & 4^2 & \dots \\ 1 & 2^4 & 3^4 & 4^4 & \dots \\ 1 & 2^6 & 3^6 & 4^6 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{vmatrix} \prod_{n=2}^{\infty} \prod_{k=0}^{\infty} [(n-k) - (k+1)^2] = \infty;$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 2^2 & 3^2 & \dots & (k-1)^2 & (k+1)^2 & \dots \\ 1 & 2^4 & 3^4 & \dots & (k-1)^4 & (k+1)^4 & \dots \\ 1 & 2^6 & 3^6 & \dots & (k-1)^6 & (k+1)^6 & \dots \\ 1 & 2^8 & 3^8 & \dots & (k-1)^8 & (k+1)^8 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{vmatrix} =$$

$$A_{1k} = (-1)^{1+k} \prod_{n=2}^{\infty} \prod_{p=1}^{\infty} n^2 [(n+p-1)^2 - p^2]$$

$$= (-1)^{k+1} \prod_{k=1}^{\infty} (k^2 - p^2) \cdot \prod_{p=k+1}^{\infty} (p^2 - k^2)$$

$$A_{1k} : D = 2(-1)^{k+1}.$$

Таким образом, определяем коэффициенты

$$C_n - C_{-n} = (-1)^{k+1} \frac{2}{B_n + n\pi \cdot A_n} = (-1)^{k+1} \frac{\operatorname{sh} n\pi \frac{H}{R} + n\pi \operatorname{ch} n\pi \frac{H}{R}}{2}$$

В результате получаем решение уравнений Лапласа для рассматриваемого случая:

$$U = 2U_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos 2\pi n \frac{x}{b} \operatorname{sh} 2\pi n \frac{y}{b}}{H + 2\pi n \frac{R}{b} \operatorname{ch} 2\pi n \frac{H}{b}}$$

Статья поступила в редакцию 24.12.83

УДК 528.38

В. Г. КУЗНЕЦОВА, М. И. МЕЛЬНИЧУК, Б. Д. СКВИН, К. Р. ТРЕТЯК

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ЗОНЕ ЗАКАРПАТСКОГО ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА

Выполнение комплекса геофизических, гидрогеологических, геодезических исследований, основная задача которых — изучение особенностей геодинамики и сейсмичности территории Закарпатского внутреннего прогиба и юго-западной части складчатых Карпат, потребовало специальных работ в зоне Закарпатского глубинного региона (рис. 1) [6] и отделяет два различных по строению и мощности блока земной коры — складчатые Карпаты (мощность земной коры 55 км) и Закарпатский прогиб (глубина до поверхности Мохо 25 км).

Необходимость постановки комплексных исследований зоны разлома обусловлена не только изучением его современной тектонической активности, но и выяснением его роли в истории развития Восточных Карпат и уточнением его пространственного положения.

Разлом имеет транскарпатское простирание и прослеживается на расстоянии до 600 км. К нему тяготеет большинство землетрясений Закарпатья [4, 6].

Проявлением разлома на поверхности является узкая тектоническая зона, известная под названием Пеннинских утесов (рис. 2). Их внутренняя структура и структура окружающих образований объясняется лишь с позиций развития глубинного разлома [3]. Глубинный характер Закарпатского разлома подтвержден данными ГСЗ. В гравитационном поле разлом трансформируется как гра-

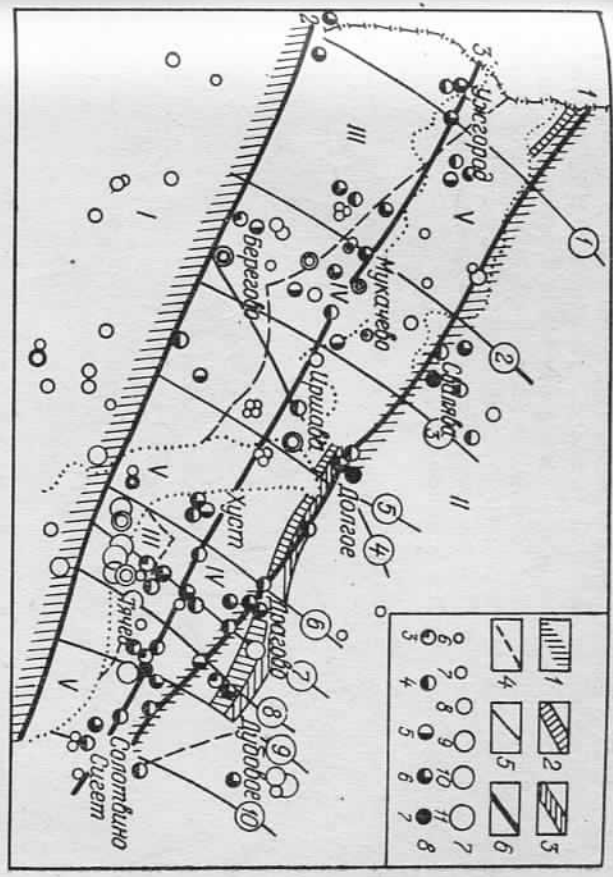


Рис. 1. Элементы сейсмотектоники Закарпатского прогиба. I — Паннонская (Венгерская) впадина, II — складчатые Карпаты, III — Чол-Виноградовская зона, IV — Мукачево-Солотвинская структурная зона, V — Выгодлат-Гушинская вулканическая гряда. Разломы:

1 — Закарпатский; 2 — Припанионский; 3 — Центральная зона разломов неглубокого заложения (Ужгород-Солотвино); 4 — зона Пеннинских утесов; 5 — зона Марьинских утесов; 6 — граница между структурными зонами III и IV; 7 — поперечные разломы (цифры в кружках); 8 — Чолский; 9 — Мукачевский (длаторский); 10 — Иршавский; 11 — Боржавский; 12 — Виноградовский; 13 — Выгитин-Драговицкий; 14 — Терезианский; 15 — Новоселицкий; 16 — Дубово-Грушецкий; 17 — Кобальско-Полонский; 18 — сейсмотектоническая зона; 19 — Закарпатский глубинный разлом; 20 — Центральная зона разломов неглубокого заложения; 21 — Припанионский разлом; 22 — энергетический класс землетрясений; 23 — интенсиивность землетрясений в баллах.

ница между линейно-пологовым полем над складчатыми Карпатами и сложным мозаичным полем Закарпатского прогиба. Причем в северо-западной части эта граница проводится достаточно четко, а к юго-востоку характер поля силы тяжести сложный и разлом наглядно не проявляется.

Для уточнения положения разлома (особенно в его юго-восточной части) и изучения современной тектонической активности его в 1977—1980 гг. в центральной и юго-восточной части Закарпатского прогиба создано три профиля (длинной около 35 км каждый), пересекающих зону разлома. На них выполняются комплексные (геофизические и геодезические) наблюдения, которые планируются проводить в течение ряда лет. Создана сеть знаков для повторного нивелирования I класса и ведутся ежегодные геомагнитные измерения. Ряд пунктов нивелировки совмещен с пунктами векового хода, а в местах, где имеются помехи, геомагнитные измерения ведут вблизи геодезических знаков на специально установленных пунктах.