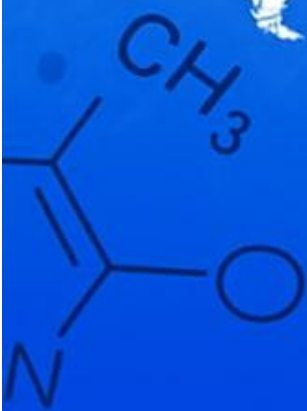


INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC BULLETIN

VOLUME 3, ISSUE 3
NOVEMBER 2025



ISSN 3030 – 3885

**INTERNATIONAL JOURNAL
OF SCIENTIFIC BULLETIN**

International Scientific Electronic Journal

**International journal of Scientific
Bulletin****Xalqaro ilmiy axborot jurnali****MUASSIS:****TAHRIRIYAT | EDITORIAL****Jamoatchilik kengashi raisi:****Bosh muharrir****A. M. Xurmamatov – texnika
fanlari doktori, professor****Ma'sul muharrir:****M. X. Mirsaidov – texnika fanlari
falsafa doktori, dotsent****Ma'sul muharrir yordamchisi:****B. H. Haydarov – texnika fanlari
falsafa doktori, v.b.dotsent****Nashr uchun mas'ul:****A. D. Kambarov****O'zbekiston Respublikasi Prezidenti
Administratsiyasi huzuridagi axborot
va ommaviy kommunikatsiyalar
agentligi tomonidan berilgan****№ 140275 raqamli guvohnoma asosida
ro'yxatga olingan.****Tahririyat manzili:****Farg'ona viloyati, Dang'ara tumani,
Uvaysiy ko'chasi, 26-uy****Telefon: +998943313030****E-mail:****bekzodhaydarov1303@gmail.com****Tahrir kengashi a'zolari:****Alisher Samadov – Texnika fanlari doktori, professor****Axmed Reymov – Texnika fanlari doktori, professor****Dilorom Mirhamitova – Texnika fanlari doktori, professor****Aziza Abdikamalova – Texnika fanlari doktori, professor****Ilhom Usmanov – Texnika fanlari doktori, professor****Olmos Boltayev - Texnika fanlari falsafa doktori, dotsent****Muqaddas Isakulova - Texnika fanlari falsafa doktori, dotsent****Alexey Nimchik - Texnika fanlari doktori, professor****Nilufar Askarova – Texnika fanlari falsafa doktori, dotsent****Rano Toshkodiroya – Texnika fanlari falsafa doktori, dotsent****Munixon Meyliyeva - Kimyo fanlari falsafa doktori, dotsent****Zamirbek Xametov - Texnika fanlari falsafa doktori, dotsent****Nadira Yusupova – Texnika fanlari falsafa doktori, dotsent****Shuxrat Mutalov – Kimyo fanlari doktori, professor****Maxmud Karimov – Kimyo fanlari doktori, professor****Farxod Muminov – Fizika- matematika fanlari bo'yicha falsafa
doktori****Tuymurod Xujayev – Fizika- matematika fanlari bo'yicha
falsafa doktori****Ilxomjon Samandarov - Fizika- matematika fanlari bo'yicha
falsafa doktori****Shiv Om Singh – Kimyo fanlari doktori, dotsent****Kulbei Andrei – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent****Dildora Sulaymanova – Pedagogika fanlari bo'yicha falsafa
doktori****Elena Molotok – Texnika fanlari falsafa doktori, dotsent****Isomiddin Soxibov – Geologiya fanlari bo'yicha falsafa doktori****Adham Xasanov – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori,
dotsent****Otabek Mutalov – Yuridik fanlari bo'yicha falsafa doktori****Soy Alla Pavlovna – Filologiya fanlari bo'yicha falsafa doktori****Isomiddin Yarmatov – Filologiya fanlari bo'yicha falsafa
doktori**

Study of Slope Structures and Stress Calculation in the Rock Mass of the Kokpatas Deposit

Saidova Lola Shodiyevna

Doctor of Philosophy (PhD) in Engineering Sciences, senior researcher, Navoi Branch of the Academy of Sciences

Nazarova Umida Mamayoqub qizi

Research Intern

Navoi Branch of the Academy of Sciences

Abstract: The article examines the Boundary Integral Equation (BIE) method and the algorithm for calculating stresses in a rock mass. In the BIE method, the space (half-space) is considered, where the boundary contour is discretely divided into a finite number of segments.

Keywords: side, deposit, structure, massif, equation, rock, stress.

Исследование Конструкции Бортов и Вычисление Напряжений в Массиве Горных пород Месторождения Кокпатас

Саидова Лола Шодиевна

д.ф.т.н., старший научный сотрудник,
Навоийское отделение академии наук

Назарова Умида Мамаёкуб кизи

стажёр-исследователь

Навоийское отделение академии наук

Аннотация: В статье рассматривается метод граничных интегральных уравнений (ГИУ) и алгоритм вычисления напряжений в массиве. В методе ГИУ рассматривается пространство (полупространство), в котором граница контура разбивается дискретно на конечное число участков.

Ключевые слова: борт, месторождение, конструкция, массив, уравнение, горная порода, напряжение.

Kokpatas Konining Tog' Jinlari Massivida Bortlarning Tuzilishini O'rganish va Kuchlanishlarni hisoblash

Saidova Lola Shodiyevna

texnika fanlari falsafa doktori, katta ilmiy xodim

Fanlar akademiyasi Navoiy bo'limi

Nazarova Umida Mamayoqub qizi

Stajyor tadqiqotchi

Fanlar akademiyasi Navoiy bo'limi

Annotatsiya: Maqolada chegara integral tenglamalar (ChIT) usuli va massivdagi kuchlanishlarni hisoblash algoritmi ko'rib chiqilgan. ChIT usulida fazo (yarim fazo) chegarasi diskret tarzda cheklangan sondagi qismlarga bo'linadi.

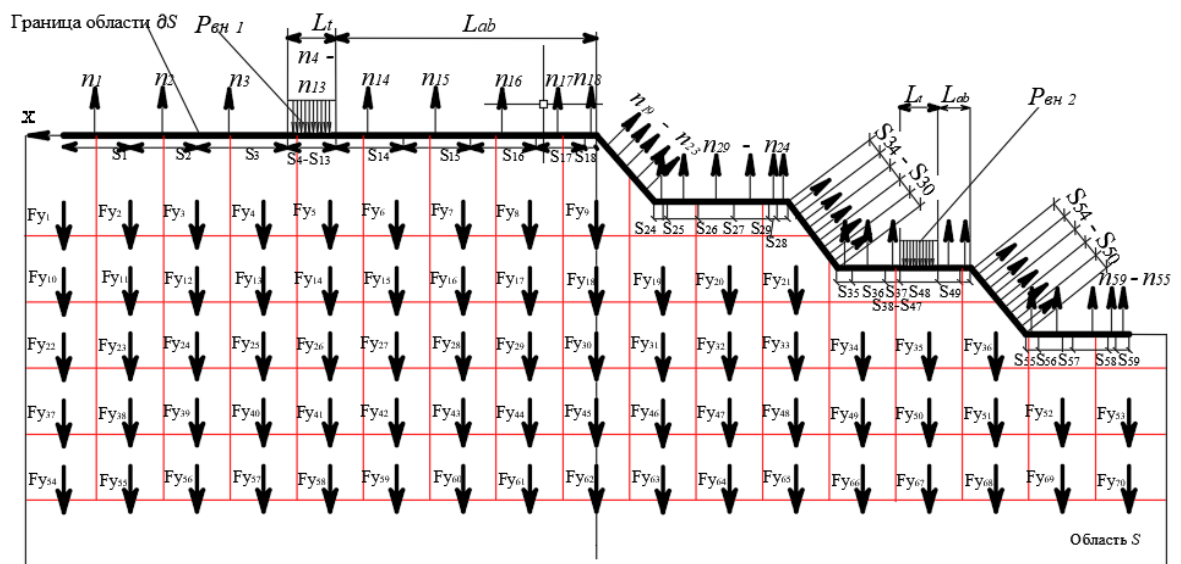
Kalit so'zlar: bort, kon, konstruktsiya, massiv, tenglama, tog' jinsi, zo'riqish.

Интенсивность нагрузок на каждом заданном участке постоянна. Напряжения внутри области S можно представить в виде

$$\bar{\sigma}_{ij}(t) = \int_{ds} \bar{k}_{ij,l}(t, \tau) P_l dS, \quad (i, j \equiv x, y); \quad t \in S; \tau \in \partial S, \quad (1)$$

где $\bar{k}_{ij,l}(t, \tau)$ – фундаментальное решение для действия сосредоточенной силы в однородную и изотропную полуплоскость;

P_l – фиктивные составляющие поверхностных сил вдоль ∂S в l -ом направлении;



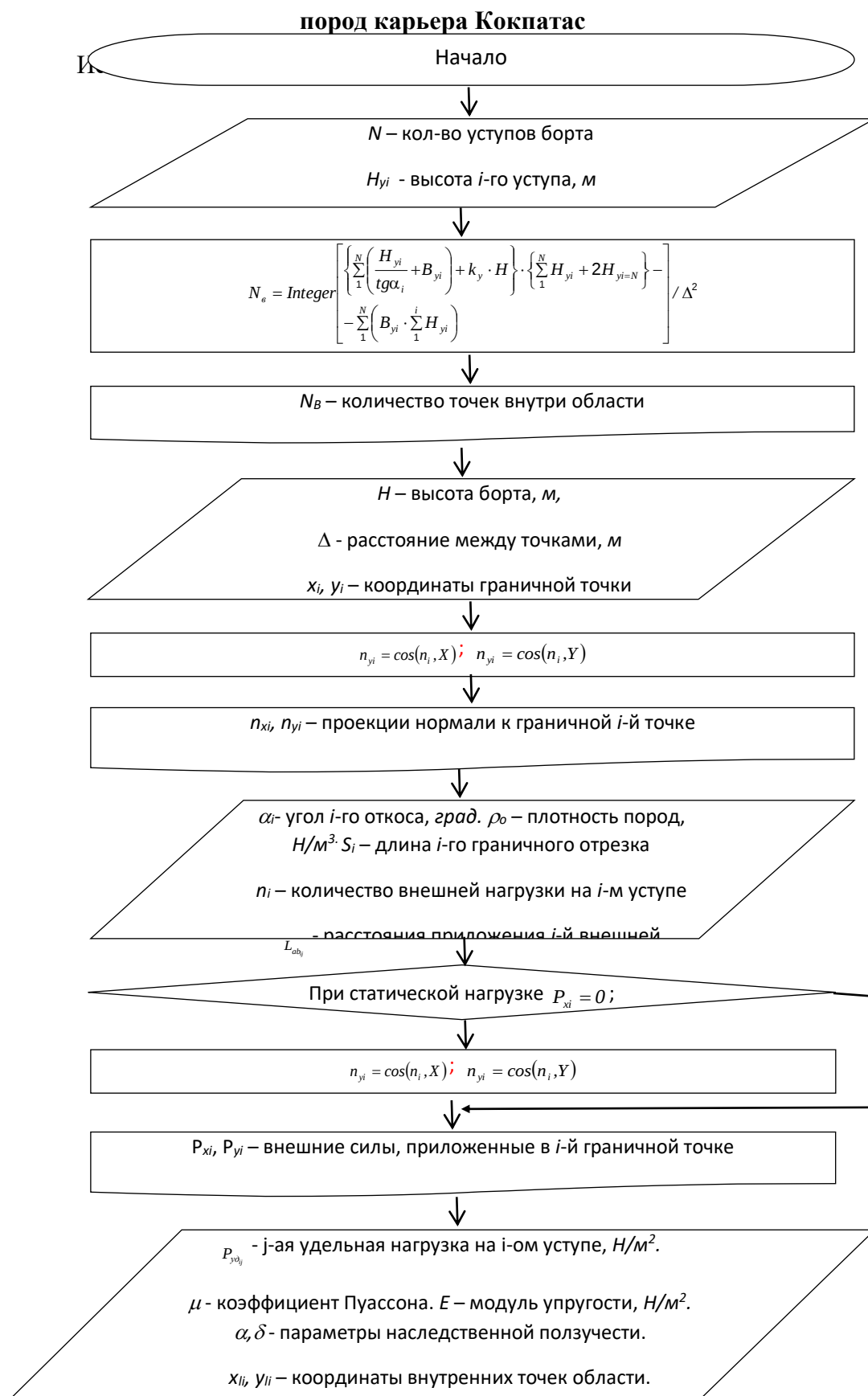
$n_1, n_2, \dots, n_b$ – нормали к границе области ∂S ;

$S_1, S_2, \dots, S_i$ – длина отрезка границы ∂S ;

$P_{en1}, P_{en2}, \dots, P_{eni}$ – внешние нагрузки от отвалов и оборудования, приложенные на длине L_t на расстоянии L_{ab} от края уступа;

$F_{y1}, F_{y2}, \dots, F_{yi}$ – составляющие силы тяжести в i -й точке области S .

Рис. 1. Расчетная схема конструкции бортов и вычисления напряжений в массиве горных



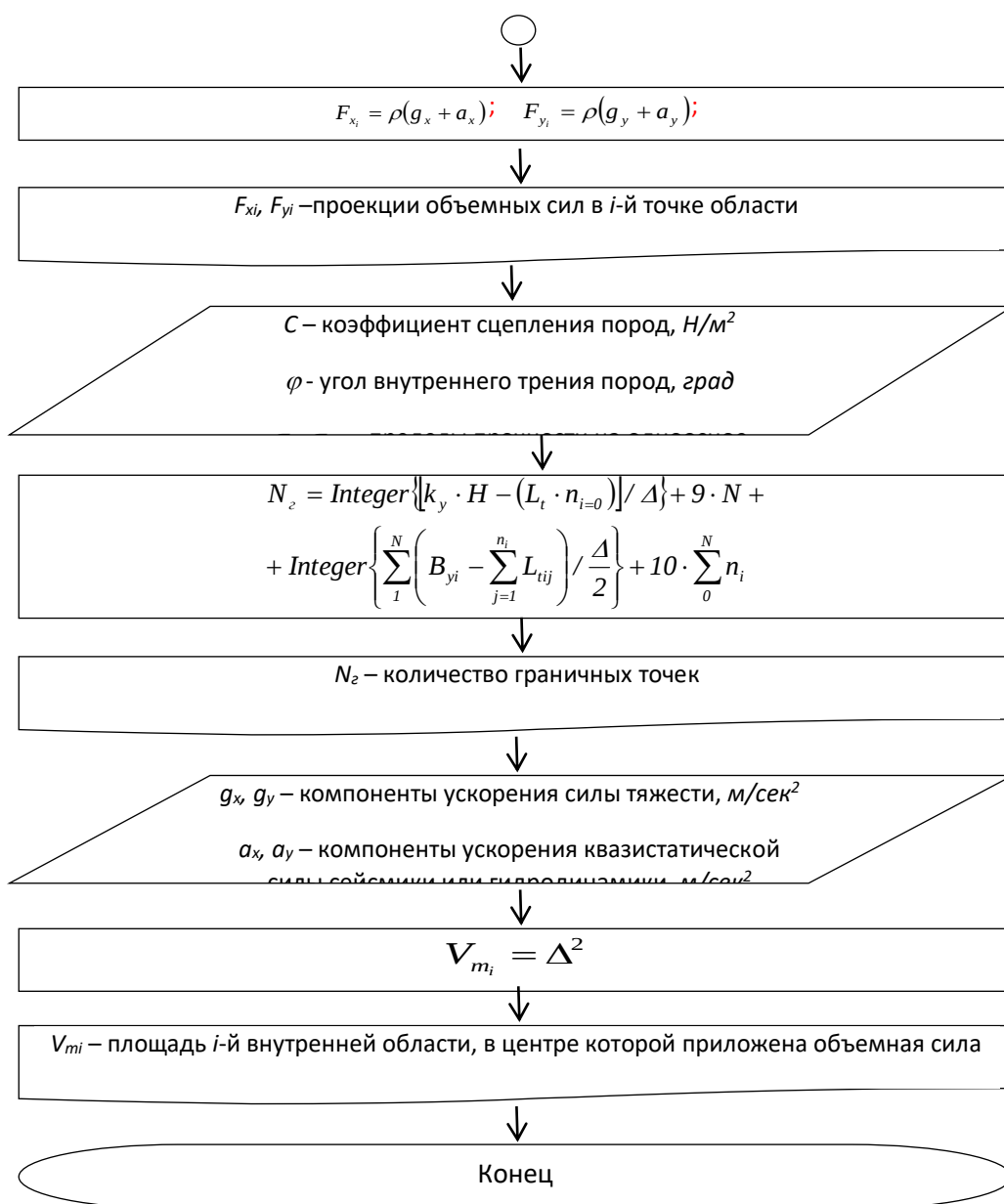


Рис. 2. Блок-схема расчёта параметров конструкции бортов и вычисления напряжений в массиве горных пород карьера Кокпатас

t – внутренние точки области S ;

τ – граничные точки ∂S .

При решении задачи теории упругости условия на границе определяются так

$$\int_{\partial S} \overline{k_{ij,l}}(\Omega, \tau) P_l \cdot n_j(\Omega) dS(\tau) = \sigma_i^0(\Omega); \quad \Omega, \tau \in \partial S \quad (2)$$

где n_j – конус угла между нормалью к участку границы и осями координат;

$\sigma_i^0(\Omega)$ – заданные нагрузки на ∂S .

Напряжения в области S , вызванные действием сосредоточенных на контуре ∂S усилий в бесконечной полуплоскости, представимы в виде

$$\begin{aligned} k_{xx,l} \cdot P_l^s &= -[p_x^s r_x (b_1 r_x^2 + b_2 r_y^2) + p_y^s r_y (b_3 r_x^2 - b_2 r_y^2)] / (4\pi^4); \\ k_{yy,l} \cdot P_l^s &= -[p_x^s r_x (b_3 r_y^2 - b_2 r_x^2) + p_y^s r_y (b_1 r_y^2 + b_2 r_x^2)] / 4\pi^4; \\ k_{xy,l} \cdot P_l^s &= -[p_x^s r_y (b_1 r_x^2 + b_2 r_y^2) + p_y^s r_x (b_2 r_x^2 + b_1 r_y^2)] / (4\pi^4), \end{aligned} \quad (3)$$

где p_x^s, p_y^s – составляющие фиктивных нагрузок внутри области S ;

r_x, r_y , – x, y – компоненты радиуса вектора, проведенного от точки на ∂S к точке в S :

$$b_1 = 3 + \frac{\nu}{1-\nu}; \quad b_2 = 2 - \frac{1}{1-\nu}; \quad b_3 = 1 + \frac{3\nu}{1-\nu};$$

где ν – коэффициент Пуассона.

При $\tau \rightarrow \Omega$ выражение (2) имеет особенность, для выделения которой используется подход, заключающийся в рассмотрении нового контура, обходящего точку границы, где $\tau = \Omega$. При этом

$$\int_{\partial S} k_{ij,l}(\Omega, \tau) P_l \cdot n_j(\Omega) dS(\tau) = \lim_{\substack{\Delta \partial S \rightarrow 0 \\ a \rightarrow 0}} \left[\int_{\partial S - \Delta \partial S} k_{ij,l}(\Omega, \tau) P_l \cdot n_j(\Omega) dS(\tau) + \left(\int_{\partial S} k_{ij,l}(\Omega, \tau) P_l \cdot n_j(\Omega) dS(\tau) \right) \right] \quad (4)$$

В работе [72; с. 302-310] показано, что

$$\lim_{a \rightarrow 0} \int_{\partial S} k_{ij,l}(\Omega, \tau) P_l \cdot n_j(\Omega) dS(\tau) \rightarrow P_x^s / 2, P_y^s / 2. \quad (5)$$

Тогда на основании соотношения (2.9) уравнение (2) имеет окончательный вид

$$P_i^s / 2 + \int_{\partial S} k_{ij,l}(\Omega, \tau) P_l \cdot n_j(\Omega) dS(\tau) = \sigma_i^o(\Omega), \quad i = x, y. \quad (6)$$

Для численной реализации метода границу области ∂S разбиваем на N отрезков произвольной длины ∂S_i . Затем в средних точках каждого отрезка ∂S_i определяем результирующие граничные значения

$$P_{xi}^s = \int_{\Delta S_i} p_x^s dS; \quad P_{yi}^s = \int_{\Delta S_i} p_y^s dS; \quad P_{xi}^{\partial S} = \int_{\Delta S_i} p_x^{\partial S} dS; \quad P_{yi}^{\partial S} = \int_{\Delta S_i} p_y^{\partial S} dS, \quad (7)$$

где p_x^s, p_y^s – составляющие фиктивных нагрузок на границе области ∂S .

Используя численный метод трапеции вычисления интеграла и формулы (7), можно численно аппроксимировать выражения (6):

$$P_{xi}^s / 2 - 1/(4\pi) \sum_{j=1, j \neq i}^N \left[(b_1 r_{xij}^3 n_{xi} + b_2 r_{xij}^2 r_{yij} n_{xi} + b_1 r_{xij}^2 r_{yij} n_{yi} + b_2 r_{yij}^3 n_{yi}) P_{xj}^s + (b_3 r_{xij}^2 r_{yij} n_{xi} - b_2 r_{yij}^3 n_{xi} + b_2 r_{xij}^3 n_{yi} + b_1 r_{xij}^2 r_{yij} n_{yi}) P_{yj}^s \right] \Delta S_i (r_{xij}^2 + r_{yij}^2)^{-2} = P_{xi}^{\partial S} \quad (8)$$

$$P_{yi}^S / 2 - 1 / (4\pi) \sum_{j=1, j \neq i}^N \left[(b_1 r_{xij}^2 r_{yij} n_{xi} + b_2 r_{yij}^3 n_{xi} + b_3 r_{xij} r_{yij}^2 n_{yi} - b_2 r_{xij}^3 n_{yi}) P_{xj}^S + \right. \\ \left. + (b_2 r_{xij} n_{xi} + b_1 r_{xij} r_{yij}^2 n_{xi} + b_1 r_{yij}^3 n_{yi} + b_2 r_{xij}^2 r_{yij} n_{yi}) \cdot P_{yj}^S \right] \Delta S_i (r_{xij}^2 + r_{yij}^2)^{-2} = P_{yi}^{2S}. \quad (9)$$

После вычисления фиктивных нагрузок P_{xj}^S и P_{yj}^S ($j = \overline{1, N}$) компоненты напряжений в области S находятся из следующих соотношений

$$\sigma_{xi} = -1 / (4\pi) \sum_{j=1}^N [P_{xj}^S r_{xij} (b_1 r_{xij}^2 + b_2 r_{yij}^2) + P_{yj}^S r_{yij} (b_3 r_{xij}^2 - b_2 r_{yij}^2)] \cdot (r_{xij}^2 + r_{yij}^2)^{-2} \quad (10)$$

$$\tau_{xi} = -1 / (4\pi) \sum_{j=1}^N [P_{xj}^S r_{yij} (b_1 r_{xij}^2 + b_2 r_{yij}^2) + P_{yj}^S r_{xij} (b_2 r_{xij}^2 + b_1 r_{yij}^2)] \cdot (r_{xij}^2 + r_{yij}^2)^{-2}. \quad (11)$$

Используя выражения (10–11), можно определить напряжения во всех точках массива, что особенно важно при исследовании областей его разупрочнения.

При исследовании напряженного состояния прибортового горного массива и его деформирования данная область моделируется полуплоскостью, по границе которой действуют нагрузки, а внутри полуплоскость имеет блочную структуру.

На первом этапе граница области разбивается на участки, количество которых зависит от конфигурации границы (полноты информативности) и количества мест приложения внешней нагрузки на контуре. Участки, на которые разбита граница, могут сгущаться и иметь произвольную длину.

Для построения изолиний компонент напряжений внутренняя область разбивается координатной сеткой, относящейся к системе координат, в которой описывается граница области.

После формализации границы области и ее внутренней части при наличии внешних сил на границах области они также описываются в виде распределенной или точечной нагрузки в аналитическом виде.

Затем на основании выражений (10) и (11) граничные интегральные уравнения формируются в виде матриц

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} a_{11} \dots a_{1n} b_{11} \dots b_{1n} \\ a_{n1} \dots a_{nn} b_{1n} \dots b_{nn} \\ c_{11} \dots c_{1n} d_{11} \dots d_{1n} \\ c_{n1} \dots c_{nn} d_{n1} \dots d_{nn} \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Правые части уравнений (2.12) и (2.13) представляют собой граничные условия на

отрезках ∂S_i . В соответствии с [14; с. 17-22] для учета гравитационного поля и возникающих внутри массива нагрузок (например, взрывное или сейсмическое воздействие) правая часть уравнений дополняется интегралами, описывающими эти воздействия. Тогда выражение (12) будет иметь вид

$$P_i^s/2 + \int_{\partial S} k_{ij,l}(\Omega, \tau) P_l \cdot n_j(\Omega) dS(\tau) = \sigma_i^o(\Omega) + \int_v K_{ij}(\tau, t) \cdot P_i(t) dv, \quad i = x, y \quad (13)$$

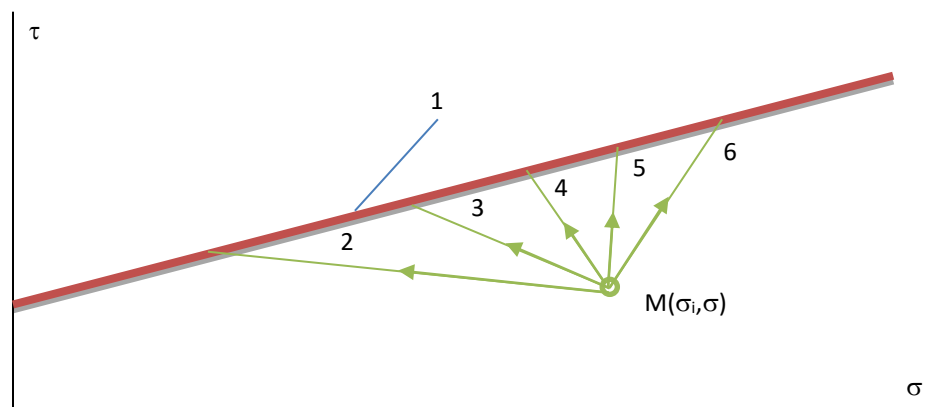
где $K_{ij}(\tau, t)$ – функция Грина;

$P_i(t)$ – усилия, возникающие в i -й точке области S .

Для решения полученной системы линейных уравнений используется итерация по методу Гаусса или Зейделя.

После вычисления по выражениям (12-13) компонентов тензора напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} определяются главные напряжения по известным выражениям

$$\sigma_1 = (\sigma_x + \sigma_y)/2 + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau_{xy}^2} \quad \sigma_2 = (\sigma_x + \sigma_y)/2 - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau_{xy}^2} \quad \tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2. \quad (14)$$



$M(\sigma_1, \sigma)$ – устойчивое состояние до производства горных работ;

1 – прямая предельного равновесия; 2–6 – возможные траектории нагружения в точке $M(\sigma_1, \sigma)$ вследствие выемки и полного разрушения горной породы

Рис. 3 Механизм разрушения горных пород в основании глубоких карьеров

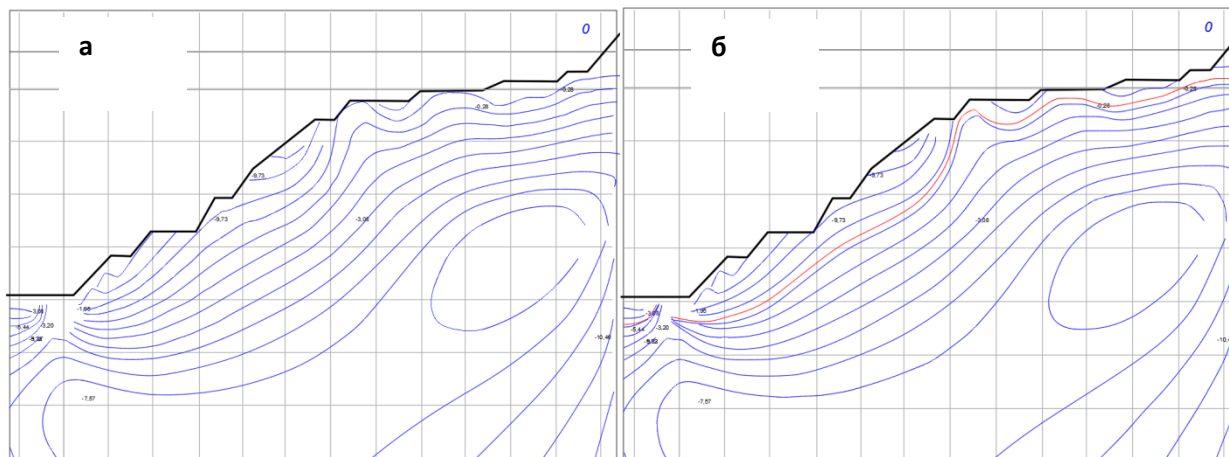
Моделирование данного процесса осуществляется на основе функции прочности, преобразуемой из выражения (10)

$$F = (2 \cdot C \cos \varphi + (\sigma_x + \sigma_y) \sin \varphi)^2 - [4\tau_{xy}^2 + (\sigma_y - \sigma_x)^2] \quad (13)$$

На рис. 2,а и 3,б изображен характер изменения изолиний функции прочности пород в массиве при различных значениях глубины карьера, а сцепления и угол внутреннего трения постоянны.

На рис. 3 приведены различные модели, где высота борта изменяется, а конфигурация поверхности наклонной части борта изменяется от гладкой до выпуклой с уступами.

При увеличении глубины при постоянных C и φ объем массива, находящегося в неустойчивом состоянии, увеличивается (рис. 3, а-б).



Для принятия решений по выбору средств контроля деформаций откосов бортов необходимо определить пределы упругих деформаций, которые развиваются при ведении горных работ.

На рис. показаны изолинии компонент деформаций по осям Ox и Oy . Деформации по оси Oy не превышают 0,5 см, а по оси Ox в верхней части борта – 1 см. При увеличении высоты борта деформации в верхней части борта не превысят также 1 см.

Следовательно, уровень регистрации смещений должен быть не ниже 2 см.

Список литературы

1. Уринов И.О., Хамроев И., Санакаулов К.С. Исследование конструкции бортов и вычисление напряжений в массиве горных пород месторождения Кокпатас // Горный вестник Узбекистана. – 2023. – №4. – С. 45–53.
2. Тюпин В.Н. Расчёт напряженного состояния массива горных пород по размерам зон разрушения от взрыва шпуровых зарядов // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – №7. – С. 66–74.
3. Господариков А.П., Коваленко В.А. Применение метода граничных элементов при расчётах напряжённо-деформированного состояния массива горных пород // Горная механика. – 2018. – №5. – С. 15–22.
4. Constanda C. Boundary Integral Equation Methods and Numerical Applications. – Cambridge University Press, 2019. – 420 p.
5. Хамроев И.О., Санакаулов К.С. Геологическое строение и особенности рудных тел месторождения Кокпатас // Геология и полезные ископаемые Центральной Азии. – Ташкент: ГГТУ, 2021. – №2. – С. 22–31.

International Journal of Science and Technology

Volume 3, Issue 3, November. 2025:

[illegible]