

УДК 622.271.332:622.023.62:624.042

В.Я. Коноваленко

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ БЛОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ИЗ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН С УЧЕТОМ ОБВОДНЕННОСТИ И ДЕЙСТВИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Разработан метод расчета коэффициента запаса устойчивости обводненного уступа блочной структуры из наклонных трещин при действии сейсмических нагрузок. Приведены результаты моделирования для условий карьера «Удачный». Показано существенное влияние обводненности и сейсмических нагрузок на устойчивость высоких крутонаклонных уступов.

Ключевые слова: обводненность, горная порода, межблоковая прочность, момент силы, обводнение.

Распространенным явлением в инженерно-геологических условиях постановки уступов является блочное строение и обводненность массива горных пород. Влияние сейсмических нагрузок на устойчивость высоких крутонаклонных уступов при их постановке может быть значительным [0], а в условиях рассматриваемой структуры их строения — тем более. В работе представлен метод расчета коэффициента запаса устойчивости, и сделана оценка влияния указанных факторов на устойчивость уступов для условий карьера «Удачный» Якутии.

Постановка задачи

Ставится задача оценки устойчивости откоса. При выводе расчетных соотношений приняты следующие положения. Блоки сформированы системой наклонных трещин в субгоризонтальном и субвертикальном направлениях (системы трещин 1 и 2 соответственно). Породы уступов могут быть обводнены подземными растворами или атмосферными осадками (жидкостью). При постановке уступов взрывным способом в массиве возни-

кают сейсмические колебания и волновые напряжения. Обводненность характеризуется углом наклона (ψ) депрессионной поверхности жидкости в уступе, объемным весом жидкости ($\gamma_{ж}$) и водонасыщенностью — удельным объемом трещин заполненных жидкостью ($k_{н}$). Влияние на устойчивость уступов сейсмических волн можно оценить методом суперпозиции по потенциальной поверхности скольжения статических напряжений от веса вышележащих пород и динамических напряжений от инерционных сил, вызванных колебаниями, и волновых напряжений с учетом динамического упрочнения пород путем добавления коэффициента динамичности ($k_{д}$) к сцеплению пород в покое [0]. Кроме $k_{д}$, сейсмическое воздействие характеризуется скоростью и частотой сейсмических колебаний (V , ω), скоростью распространения упругих волн (C_p) и коэффициентом Пуассона (ν), от которого зависят напряжения в тангенциальном направлении. При оценке устойчивости уступов высотой до 100 м можно считать, что скорости в пределах потенци-

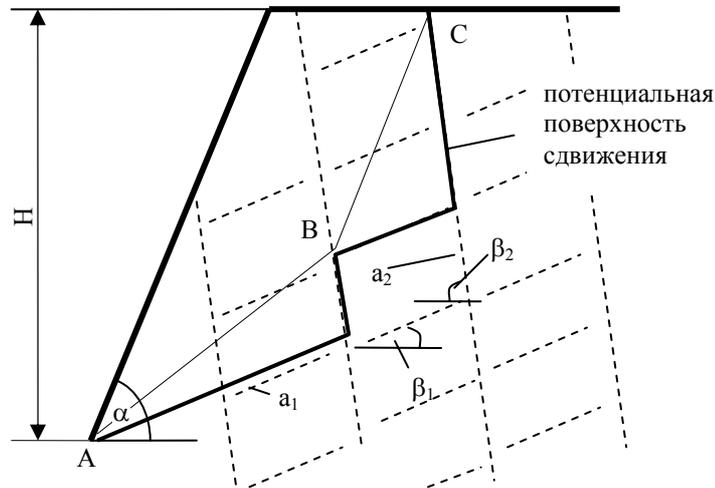


Рис. 1. Геометрические параметры уступа

альной поверхности скольжения имеют единое направление. Аналогично, единое направление будут иметь и инерционные нагрузки, только противоположного знака, т.к. ускорения и скорости сдвинуты по фазе на 180° . Для учета этого фактора вводится коэффициент фазы волны напряжений (k_σ) и инерционных сил $k_f = -k_\sigma$.

Решение задачи осуществляется в рамках теории предельного равновесия методом алгебраического сложения сил путем расчета коэффициента запаса устойчивости.

Основные соотношения для определения коэффициента запаса устойчивости

Разрушение уступа может произойти в виде сдвига или опрокидывания (далее сдвижение) в сторону выработанного пространства. Потенциальная поверхность сдвижения может представлять собой ломаную линию, состоящую из площадок трещин систем 1 и 2.

Основными факторами, определяющими устойчивость уступа, являются: структурные — углы падения и

расстояния между трещинами систем 1 и 2 ($\beta_1, \beta_2, a_1, a_2$); физико-механические — объемный вес пород (γ_n), сопротивление сдвигу по наклонным трещинам (C), углы трения (φ), межблоковая прочность (сопротивление отрыва по трещинам σ_0); геометрические — высота и угол откоса уступа (H, α). Схема геометрических параметров уступа и поверхности сдвижения приведена на рис. 1.

Огибающая поверхность сдвижения в общем случае может состоять из двух участков — AB и BC ($j=1,2$ — номер участка AB или BC), характеризующихся количеством исходных интервалов $a_k - n_{kj}$ ($k = 1,2$ — номер системы трещин). Геометрическая схема задачи показана на рис. 2, на рис. 3 — схема параметров опорного блока по поверхности сдвижения.

Далее под поверхностью сдвижения понимается поверхность, огибающая сверху фактическую поверхность, состоящую из опорных блоков с ломаной поверхностью $A_{1i}A_{3i}A_{2i}$ в основании (i — номер опорного блока).

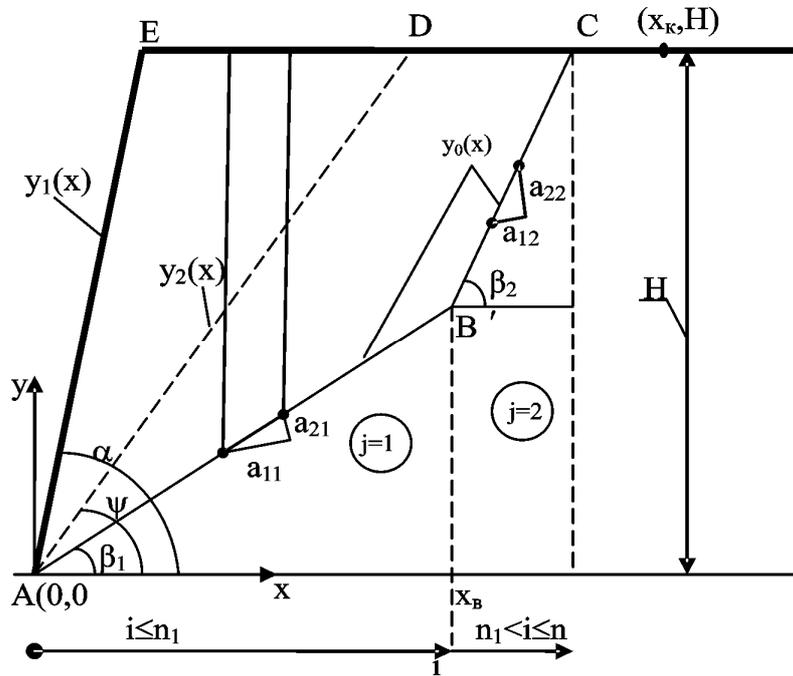


Рис. 2. Геометрические параметры задачи

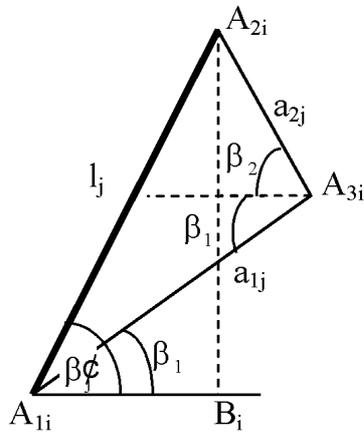


Рис. 3. Схема параметров опорного блока

Поверхность сдвижения будет определена, если кроме a_k , β_j задать n_{kj} и количество опорных блоков в АВ — n_1 , тогда ее параметры можно рассчитать по соотношениям (1–8):

$$L'_1 = n_1 \times l_1, \quad (1)$$

$$j = \begin{cases} 1, & i \leq n_1, \\ 2, & n_1 < i; \end{cases} \quad (2)$$

$$l_j = \frac{\sqrt{a_{1j}^2 + a_{2j}^2 - 2 \times a_{1j} \times a_{2j} \times \cos(\beta_2 + \beta_1)}}{\cos(\beta_2 + \beta_1)}, \quad (3)$$

$$a_{kj} = a_k \times n_{kj}, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \beta'_j = \frac{A_{2i} B_i}{A_{1i} B_i} = \frac{a_{1j} \times \sin \beta_1 + a_{2j} \times \sin \beta_2}{a_{1j} \times \cos \beta_1 - a_{2j} \times \cos \beta_2}, \quad (5)$$

$$L'_2 = (H - L'_1 \times \sin \beta'_1) / \sin \beta'_2, \quad (6)$$

$$n_2 = L'_2 / l_2, \quad (7)$$

$$n = n_1 + n_2, \quad (8)$$

где: L'_j — длина j -го участка, n_2 — количество опорных блоков в ВС, l_j — длина опорного блока j -го участка, a_{kj} — длина стороны опорного блока

с k -й системой трещин, n — общее количество опорных блоков.

Уравнения поверхности уступа, депрессионной и сдвигения можно представить соотношениями (9)-(11)

$$y_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq x_A, \\ x \times \operatorname{tg} \alpha, & x_A < x \leq x_E, \\ H, & x_E < x; \end{cases} \quad (9)$$

$$y_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq x_A, \\ x \times \operatorname{tg} \psi, & x_A < x \leq x_D, \\ H, & x_D < x; \end{cases} \quad (10)$$

$$y_0(x) = \begin{cases} 0, & x \leq x_A, \\ x \times \operatorname{tg} \beta'_1, & x_A < x \leq x_B, \\ y_B + (x - x_B) \times \operatorname{tg} \beta'_2, & x_B < x \leq x_C, \\ H, & x_C < x; \end{cases} \quad (11)$$

где координаты точек А, В, С, D, Е вычисляются по формулам (12):

$$\begin{aligned} x_A &= 0; & y_A &= 0; \\ x_B &= L'_1 \times \cos \beta'_1; & y_B &= L'_1 \times \sin \beta'_1; \\ x_C &= x_B + \frac{(H - y_B)}{\operatorname{tg} \beta'_2}; & y_C &= H; \\ x_E &= \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha}; & y_E &= H; \\ x_D &= \frac{H}{\operatorname{tg} \psi}; & y_D &= H. \end{aligned} \quad (12)$$

Расчетная схема сил действующих на i -й элементарный блок, определяемый размером опорного блока, в состоянии предельного равновесия показана на рис. 4, где обозначены: $\bar{e}_k, \bar{n}_k, \bar{e}_v$ — направляющие векторы k -й системы трещин, перпендикулярных к ним и скорости сейсмической волны; \bar{P}_i — сила тяжести; \bar{F}_{si} — сила инерции от сейсмической волны; $\bar{P}_{\text{ож}1i}, \bar{P}_{\text{ож}2i}$ — силы

давления жидкости на левую и правую боковую поверхность элементарного столба вышележащих пород над опорным блоком; $\bar{P}_{1ji}, \bar{P}_{2ji}$ — силы давления жидкости на нижнюю и боковую поверхность опорного блока; $\bar{T}_{1si}, \bar{N}_{1si}$ — касательная и нормальная составляющие волновых напряжений; $\bar{T}_{ki}^{np}, \bar{N}_{ki}^{np}$ — предельные удерживающие силы на k -й поверхности опорного блока; точки O, O_1, O_2 — центры масс и приложения сил давления жидкости для элементарного блока; $h_{\text{п}i}, h_{\text{ж}i}, \tilde{h}_i$ — высота налегающих пород, обводнения в середине опорного блока и положения центра масс; h_{1i}, h_{2i} — высота обводнения с левой и правой боковой поверхности элементарного столба вышележащих пород над опорным блоком; Δx_i — длина горизонтальной проекции элементарного участка огибающей поверхности.

В предельном положении, полагая формирование отрыва по участкам системы трещин 2 поверхности сдвигения, принимается, что сейсмические напряжения на этих участках отсутствуют.

Активными силами являются:

$$\begin{aligned} \bar{P}_i &= -P_i \bar{j}; & \bar{P}_{\text{ож}1i} &= P_{\text{ож}1i} \bar{i}, & \bar{P}_{\text{ож}2i} &= -P_{\text{ож}2i} \bar{i}; \\ \bar{P}_{1ji} &= P_{1ji} \bar{n}_1, & \bar{P}_{2ji} &= -P_{2ji} \bar{n}_2; & \bar{F}_{si} &= -F_{si} \bar{e}_v; \\ \bar{N}_{1si} &= N_{1si} \bar{n}_1; & \bar{T}_{1si} &= -T_{1si} \bar{e}_1; \end{aligned} \quad \text{где } \bar{i}, \bar{j} \text{ — направляющие векторы осей } x \text{ и } y. \text{ Удерживающими силами в предельном состоянии будут: } \bar{T}_{1i}^{np} = T_{1i}^{np} \bar{e}_1; \bar{N}_{1i}^{np} = -N_{1i}^{np} \bar{n}_1; \bar{N}_{2i}^{np} = N_{2i}^{np} \bar{n}_2. \text{ Удерживающая сила } T_{1i}^{np} \text{ по поверхности трещин системы 1 зависит от нормальной реакции } \bar{N}_{1i} = N_{1i} \bar{n}_1.$$

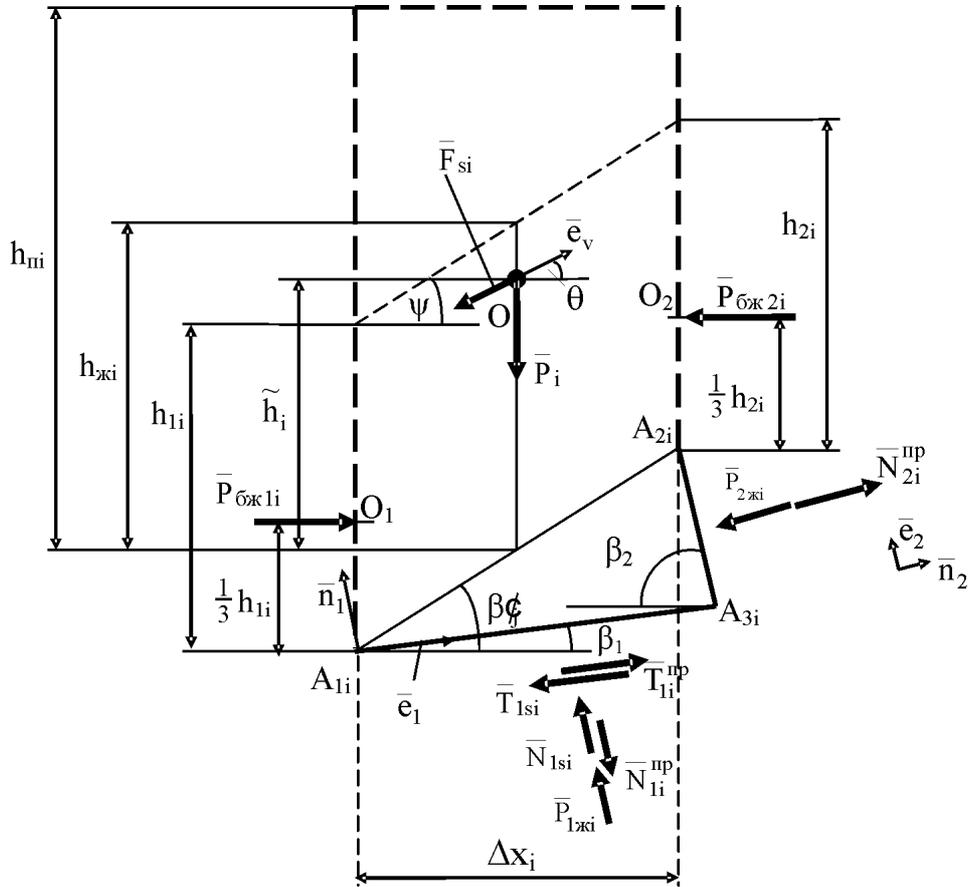


Рис. 4. Схема сил действующих на элементарный блок в состоянии предельного равновесия

Координаты направляющих единичных векторов вычисляются по формулам: $\vec{i} = (1; 0)$; $\vec{j} = (0; 1)$; $\vec{e}_1 = (\cos \beta_1; \sin \beta_1)$; $\vec{n}_1 = (-\sin \beta_1; \cos \beta_1)$; $\vec{e}_2 = (-\cos \beta_2; \sin \beta_2)$; $\vec{n}_2 = (\sin \beta_2; \cos \beta_2)$; $\vec{e}_v = (\cos \theta; \sin \theta)$.

Сумма сдвигающих сил i -го блока — сумма проекций активных сил на направление сдвига ($-\vec{e}_1$)

$$F_{сдвi} = T_{1si} + P_i \times \sin \beta_1 + P_{2жи} \times \sin(\beta_1 + \beta_2) - F_{si} \times \sin(\theta - \beta_1) + (P_{бж2i} - P_{бж1i}) \times \cos \beta_1 \quad (13)$$

Сумма удерживающих сил i -го блока — сумма проекций удержи-

вающих сил на направление противоположное направлению сдвига (\vec{e}_1)

$$F_{удi} = T_{1пр} + N_{2пр} \times \sin(\beta_1 + \beta_2). \quad (14)$$

Сумма опрокидывающих моментов i -го блока — сумма моментов активных сил относительно точки A на направление опрокидывания

$$M_{опpi} = M_{Az}(\vec{P}_i) + M_{Az}(\vec{F}_{si}) + M_{Az}(\vec{N}_{1si}) + M_{Az}(\vec{T}_{1si}) + \sum_{k=1,2} [M_{Az}(\vec{P}_{бжki}) + M_{Az}(\vec{P}_{жki})]. \quad (15)$$

Сумма удерживающих моментов i -го блока — сумма моментов удерживающих сил относительно точки A на направление противоположное направлению опрокидывания

$$M_{yzi} = - \sum_{k=1,2} \left[M_{Az} (\bar{T}_{1i}^{np}) + M_{Az} (\bar{N}_{1i}^{np}) + M_{Az} (\bar{N}_{2i}^{np}) \right], \quad (16)$$

где момент силы \bar{F} относительно т.А вычисляется по формуле

$$M_{Az} (\bar{F}) = (\bar{r}_{AF} \times \bar{F})_z = r_{AFx} \times F_y - r_{AFy} \times F_x, \quad (17)$$

где \bar{r}_{AF} — радиус-вектор приложения сил.

Схема радиус-векторов приложения сил показана на рис. 5, в соответствии с которым

$$\begin{aligned} \bar{r}_{0i} &= (x_i; Y_{0i} + \tilde{h}_i); \\ \bar{r}_{0ki} &= \overline{AA_{ki}} + (0; +\frac{1}{3} h_{ki}); \\ \bar{r}_{ki} &= (\overline{AA_{ki}} + \overline{AA_{3i}}) / 2; \end{aligned} \quad (18)$$

Коэффициенты запаса устойчивости уступа при скольжении и опрокидывании, равные отношению удерживающих сил к сдвигающим и удерживающих моментов к опрокидывающим определяются по формулам (19):

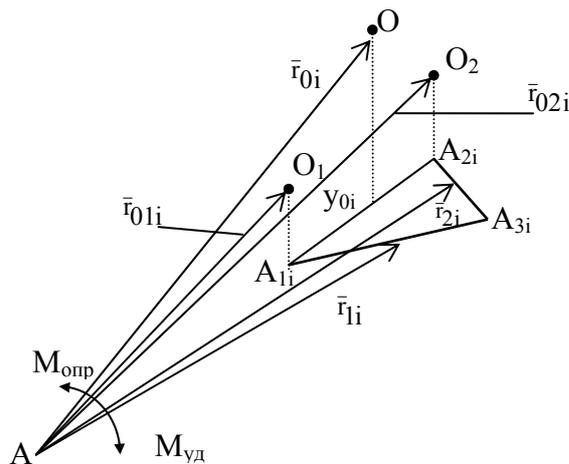
$$k_F = \frac{\sum_{i=1}^n F_{yzi}}{\sum_{i=1}^n F_{сдвi}},$$

$$k_M = \frac{\sum_{i=1}^n M_{yzi}}{\sum_{i=1}^n M_{опрi}}. \quad (19)$$

Итоговый коэффициент запаса устойчивости k будет равен минимальному из k_F и k_M

$$k = \min \{ k_F; k_M \}. \quad (20)$$

Рис. 5. Схема для определения радиус-векторов



Определение нагрузок

Сейсмические напряжения на поверхности опорного блока можно определить по известным соотношениям преобразования тензора напряжений. В соответствии с рис. 6, на котором обозначены σ_r , σ_t — радиальная и тангенциальная составляющие волновых напряжений, σ_n , τ — нормальные и сдвиговые напряжения на поверхности опорного блока, $\bar{\theta}_1$ — угол между направлением волны и поверхностью опорного блока, их можно определить по формулам (21):

$$\begin{aligned} \sigma_{s1i} &= \sigma_r \times \sin^2 \bar{\theta}_1 + \sigma_t \times \cos^2 \bar{\theta}_1 = \\ &= \sigma_r \times (\sin^2 \bar{\theta}_1 + k_t \times \cos^2 \bar{\theta}_1) \\ \tau_{s1i} &= \sigma_r \times (1 - k_t) \times \sin \bar{\theta}_1 \times \cos \bar{\theta}_1, \quad (21) \end{aligned}$$

где $\sigma_r = \frac{\gamma_{пж}}{2 \times g} \times C_p \times V$; $\sigma_t = k_t \times \sigma_r$,

$k_t = \nu / (1 - \nu)$, $\nu = 0,2 \div 0,3$, $\gamma_{пж}$ — объемный вес пород с учетом обводненности, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $\bar{\theta}_1 = \theta - \beta_1$.

Для учета упрочнения пород введем параметр состояния массива

$$k_s = \begin{cases} 0, & \text{до взрыва} \\ 1, & \text{взрыв} \\ 2, & \text{после взрыва} \end{cases}, \quad (22)$$

тогда прочность при отрыве и сцепление можно представить в виде

$$\sigma'_0 = \begin{cases} \sigma_0, & k_s = 0; \\ k_{\sigma} \times \sigma_0, & k_s = 1; \\ 0, & k_s = 2; \end{cases}$$

$$C = \begin{cases} C_0, & k_s = 0; \\ k_C \times C_0, & k_s = 1; \\ C_1, & k_s = 2. \end{cases} \quad (23)$$

С учетом веса породы, давления и веса воды, напряжений и инерционных сил сейсмических волн, полагая, что при отрицательной (растягивающей) нагрузке N , удерживающее усилие $\bar{T}_{1i}^{np} = 0$, будем иметь для сил:

$$N_{ki}^{np} = a_{kj} \times \sigma'_0; \quad (24)$$

$$T_{1i}^{np} = C \times a_{1j} + N'_{1i} \times tg\varphi; \quad (25)$$

$$N_{1i} = -N_{1si} + P_i \times \cos \beta_1 - P_{1ji} - (P_{\sigma j 2} - P_{\sigma j 1}) \times \sin \beta_1 - F_{si} \times \sin(\theta - \beta_1); \quad (26)$$

$$N'_{1i} = \begin{cases} N_{1i}, & N_{1i} \geq 0; \\ 0, & N_{1i} < 0 \end{cases} \quad (27)$$

$$P_i = [\gamma_{\pi} \times (h_{\pi i} - h_{ji}) + \gamma_{\pi j k} \times h_{ji}] \times \Delta x_i, \quad (28)$$

$$P_{kj i} = a_{kj} \times p_{ji} \times k_j, \quad (29)$$

$$P_{\sigma j ki} = \frac{1}{2} h_{ki}^2 \times p_{ji} \times k_j, \quad (30)$$

$$F_{si} = \frac{1}{g} P_i \times \omega \times V \times k_f, \quad (31)$$

$$N_{1si} = a_{1j} \times \sigma_{s1i} \times k_{\sigma}, \quad (32)$$

$$T_{1si} = a_{1j} \times \tau_{s1i} \times k_{\sigma}, \quad (33)$$

где k_{σ} — параметр фазы сейсмических напряжений (0 — сжатие, -1 — растяжение), $p_{ji} = \gamma_j \times h_{ji}$ — давление жидкости, $\gamma_{\pi j k} = \gamma_j \times k_{\pi} + \gamma_{\pi \pi}$ — объемный вес обводненных пород, $h_{\pi i} = y_{1i} - y_{0i}$ — высота налегающих на блок пород, $h_{ji} = (y_{2i} - y_{0i}) \times k_j$ — высота обводнения в призме сдвига, k_j — параметр обводненности массива (0 — отсутствие воды, 1 — наличие), $\Delta x_i = l_i \times \cos \beta'_i$.

Геометрические величины

Учитывая $A(0;0)$, $\overline{AB} = (x_B; y_B)$, полагая $0 \leq \beta'_i \leq 90^\circ$, обозначив: x_i , y_{0i} — координаты середины опорного блока и введя обозначения:

$$\beta''_i = \begin{cases} \beta'_1, & i \leq n_1, \\ \beta'_2, & n_1 < i \leq n, \\ 0, & n < i; \end{cases} \quad l'_i = \begin{cases} l_1, & i \leq n_1, \\ l_2, & n_1 < i \leq n, \\ 0, & n < i; \end{cases}$$

$$a_{1i} = \begin{cases} a_{11}, & i \leq n_1, \\ a_{12}, & n_1 < i \leq n, \\ 0, & n < i; \end{cases} \quad (34)$$

будем иметь

$$\tilde{h}_i = \frac{[\frac{1}{2}(h_{\pi i} - h_{ji}) + h_{ji}] \times (h_{\pi i} - h_{ji}) \times \gamma_{\pi} + \frac{1}{2} h_{ji}^2 \times \gamma_{\pi j k}}{h_{ji} \times \gamma_{\pi j k}}; \quad (35)$$

$$h_{ki} = \begin{cases} h_{ji} - \frac{1}{2} l'_i \times \sin \psi + \frac{1}{2} l'_i \times \sin \beta''_i, & k=1; \\ h_{ji} + \frac{1}{2} l'_i \times \sin \psi - \frac{1}{2} l'_i \times \sin \beta''_i, & k=2; \end{cases} \quad (36)$$

$$x_{A1i} = x_i - \frac{1}{2} \times l'_i \times \cos \beta''_i; \quad y_{A1i} = y_{0i} - \frac{1}{2} \times l'_i \times \sin \beta''_i;$$

$$x_{A2i} = x_{A1i} + l'_i \times \cos \beta''_i; \quad y_{A2i} = y_{A1i} + l'_i \times \sin \beta''_i; \quad (37)$$

$$x_{A3i} = x_{A1i} + a_{1i} \times \cos \beta_1, \quad y_{A3i} = y_{A1i} + a_{1i} \times \sin \beta_1;$$

$$x_i = x_{i-1} + \frac{1}{2} \times l'_{i-1} \times \cos \beta''_{i-1} +$$

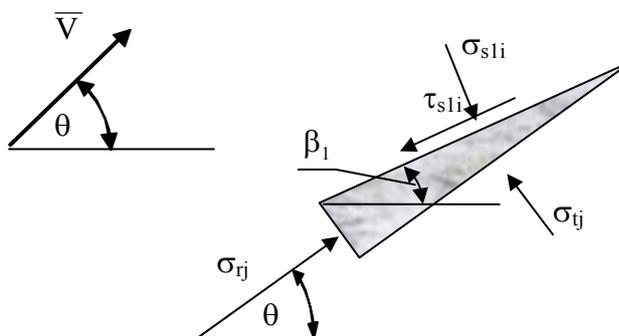
Рис. 6. Схема тензора волновых напряжений

$$+ \frac{1}{2} \times l'_i \times \cos \beta''_i; \quad (38)$$

$$y_{0i} = y_{0\ i-1} + \frac{1}{2} \times l'_{i-1} \times \sin \beta''_{i-1} + \frac{1}{2} \times l'_i \times \sin \beta''_i. \quad (39)$$

Результаты моделирования для условий карьера «Удачный» Якутии

При моделировании ставились следующие задачи: определение наиболее вероятной поверхности сдвига, определение влияния на коэффициент запаса устойчивости параметров блочности, обводненности и сейсмических волн, определение допустимых значений параметров уступов H и α .



Исходными параметрами при моделировании являются: геометрические — H , α , a_1 , a_2 , β_1 , β_2 ; физико-механических свойств (ФМС) — γ_n , γ_j , C_0 , C_1 , φ , σ_0 , C_p , v ; обводненности — ψ , k_n ; сейсмические — V , ω , θ , k_d ; поверхности сдвига — n_{jk} , $j=\{1;2\}$, $k=\{1;2\}$, n_1 и состояния модели — k_{jk} ,

Таблица 1

Исходные значения варьируемых параметров

Параметры		Значения	
		базовое	интервал вариации
обводненности	k_n , %	10	[0;15]
сейсмические	V , м/с	0,055	[0,04;0,15]
	θ , °	20	[20;50]
	k_d	1,4	[1,3;1,6]
геометрические	H , м	45	[15;45]
	α , °	75	[75;90]
	a_1 , м	1	[0,25;3,3]
	a_2 , м	1	[0,25;3,3]
	β_1 , °	20	[20;50]
	β_2 , °	90	[75;95]

Таблица 2

Коэффициенты запаса устойчивости в зависимости от параметров моделирования

Варьируемые параметры	Параметры состояния				
	k_s				
	0	1		2	
	k_{jk}				
	0	0	1	0	1
базовые значения	6,25	0,61	0,52	2,52	0,3
углы наклона трещин	4,35	0,36	0,26	-	-
размеры блоков	3,16	0,21	0,18	-	-

k_s , k_σ , k_f . Из них: параметры ФМС задавались постоянными (p_1); геометрические, сейсмические, кроме ω , и k_H (водонасыщение) варьировались (H, α, p_2); параметры поверхности сдвижения определялись в зависимости от параметров состояния и варьируемых.

Моделирование проводилось в следующем порядке.

Задаются значения постоянных параметров и базовые значения варьируемых параметров.

Задаются параметры состояния модели: $k_{ж}$, k_s , k_σ .

Определяются параметры наиболее вероятной поверхности сдвижения по минимальному значению коэффициента запаса k методом перебора значений параметров поверхности сдвижения.

Варьируются значения варьируемых параметров — обводненности, сейсмичности, для которых рассчитывается коэффициент запаса устойчивости k в соответствии с п.3.

По результатам моделирования по п.п. 1-4 строятся аппроксимирующие зависимости $k=f(p_1, p_2, H, \alpha)$, по которым определяются допустимые геометрические параметры уступов в соответствии с условием $k_{доп}=f(p_1, p_2, H_{доп}, \alpha_{доп})$, где

допустимый коэффициент запаса устойчивости $k_{доп}=2$.

В расчетах приняты следующие значения исходных данных: ФМС: $\gamma_n=2,5$ т/м³, $\gamma_{ж}=1$ т/м³, $C_0=20$ т/м², $C_1=10$ т/м², $\varphi=30^\circ$, $\sigma_0=30$ т/м², $C_p=3500$ м/с, $\omega=62,8$ с⁻¹, $\nu=0,25$; угол поверхности обводненности принимался на 2° меньше угла откоса $\psi=\alpha-2^\circ$; значения остальных варьируемых параметров в соответствии с постановкой задачи и инженерно-геологическими условиями карьера «Удачный» и основные результаты моделирования представлены в табл.1 и 2.

Анализ результатов моделирования показал:

- наиболее вероятная поверхность сдвижения проходит по пологим террасам системы 1;
- на устойчивость уступов параметры блочности, обводненности и сейсмические оказывают существенное влияние как в отдельности, так и в совокупности;
- при углах откосов уступов более 75° устойчивыми при действии сейсмических нагрузок при отсутствии обводненности будут уступы высотой не выше 17 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М.: Недра, 1965. — 378 с.

2. Миронов П.С. Взрывы и сейсмобезопасность сооружений. — М.: Недра, 1973, — 186 с. **ГЛАВ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Коноваленко В.Я. — кандидат технических наук, заведующий лабораторией геомеханики, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», e-mail: v.konovalenko@yna.alrosa-mir.ru

