

Данное выражение справедливо для  $0,001 < R_j < 10$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>. Тогда как на интервале  $10 \leq R_j < 100$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> имеем:

$$q_i = q_{i,0} + (0,18 - 0,032 \ln R_j) \cdot \frac{dq_i}{dR_j} \cdot (R_j - 1), \quad (9)$$

где  $q_{i,0}$  – начальный базовый расход воздуха в  $i$ -й выработке, соответствующей значению  $R_j = 1,0$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>.

Полученные зависимости (8) и (9) позволяют определять величину нового расхода воздуха в любой  $i$ -й ветви заданной расчётной схемы при изменении аэродинамического сопротивления регулятора  $R_{4,8}$  в заданном диапазоне без необходимости решения многомерной нелинейной системы уравнений. Так, для ветви 2-4 зависимости для определения расхода воздуха при изменении сопротивления  $R_{4,8}$  будут иметь вид:

– при изменении  $R_{4,8}$  на интервале от 0,001 до 10 даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>

$$q_{2,4} = 28,22 + [1 - 0,714 \ln R_{4,8} + 0,163(\ln R_{4,8})^2 - (6,56 \times 10^{-4}) \cdot (\ln R_{4,8})^3 - (3,47 \times 10^{-3}) \cdot (\ln R_{4,8})^4] \cdot (-1,7594) \cdot (R_{4,8} - 1); \quad (10)$$

– при изменении  $R_{4,8}$  на интервале от 10 до 100 даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>

$$q_{2,4} = 28,22 + (0,18 - 0,032 \ln R_{4,8}) \cdot (-1,7594) \cdot (R_{4,8} - 1). \quad (11)$$

При построении зависимостей вида (10) и (11) для любой  $i$ -й ветви заданной расчётной схемы в исходные формулы (8) и (9) начальные базовые значения расходов воздуха  $q_i$  и производные  $\frac{dq_i}{dR_{4,8}}$ , берутся из таблицы 1, которые определялись по изложенной выше методике. Аналогично могут быть получены расчётные формулы для остальных ветвей заданной вентиляционной схемы.

При изменении места расположения регулятора  $R_j$  для получения зависимостей вида (10) и (11) на основе формул (8) и (9) необходимо найти новое базовое значение расходов воздуха  $q_{i,0}$ , соответствующие значению сопротивления регулятора  $R_j = 1,0$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> для всех ветвей расчётной схемы.

Поскольку дифференцирование исходной системы уравнений, описывающих расчётную вентиляционную сеть, достаточно сложная процедура, то, придавая аэродинамическому сопротивлению регулятора  $R_j$  достаточно малое приращение, процесс вычисления базовых производных  $\frac{dq_i}{dR_j}$  можно осуществлять с

достаточной для практики точностью по формуле

$$\frac{dq_i}{dR_j} \cong \frac{q_{i,n} - q_{i,k}}{R_{j,n} - R_{j,k}}, \quad (12)$$

где  $q_{i,n}$  – базовый расход воздуха в  $i$ -й выработке при  $R_{j,n} = 1,0$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>, м<sup>3</sup>/с;

$q_{i,k}$  – расход воздуха в  $i$ -й выработке при  $R_{j,k} = 0,95$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>, м<sup>3</sup>/с.

Следует обратить внимание на то, что производные  $\frac{dq_i}{dR_j}$ ,  $j = \overline{1, p}$  являются условиями качественной оценки изменений, протекающих в вентиляционной сети под воздействием  $j$ -го регулятора. По их знаку легко выделить ветви, в которых расход воздуха

будет убывать или возрастать. Если  $\frac{dq_i}{dR_j} > 0$ , то в такой ветви с увеличением  $R_j$  будет увеличиваться и расход воздуха, что характеризует условно параллельную связь управляющей  $j$ -й ветви с управляемым потоком воздуха в  $i$ -й ветви. При  $\frac{dq_i}{dR_j} < 0$  результат

будет противоположным, что характеризует условно последовательную связь регулятора с управляемым потоком воздуха.

Выполненные расчёты показали, что получаемые аппроксимирующие уравнения с достаточной для практики точностью характеризуют связанность потоков воздуха в сложной вентиляционной сети в широком диапазоне изменения аэродинамического сопротивления регулятора. При этом отпадает необходимость на каждом шаге изменения аэродинамического сопротивления регулятора решать многомерные нелинейные системы уравнений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левицкий Ж.Г. Аэромеханика вентиляционных потоков. Караганда: КарГТУ, 2003. 228 с.
2. Гребенча М.К., Новоселов С.И. Курс математического анализа. М.: Высшая школа, 1960. 543 с.
3. Тарасевич Ю. Ю. Численные методы на Mathcad<sup>®</sup>. Астрахань: АПИУ, 2003. 70 с.

**УДК 622.831**

**В.Ф. ДЕМИН,  
Т.К. ИСАБЕК,  
В.В. ЖУРОВ,  
В.В. ДЕМИН,  
А.А. СКОРЯКИН**

## Исследование влияния угла наклона анкера на напряженное состояние массива горных пород с прямоугольной выработкой

**В**опрос устойчивости горных выработок при возрастании горного давления и увеличении напряженно-деформированного состояния массива в современных условиях имеет прикладное значение.

Важной задачей является определение напряженно-деформированного состояния массива с учетом влияющих факторов на устойчивость контуров горной выработки. В качестве расчетной схемы выбрана пря-

моугольная плоскость, находящаяся в плоско-деформированном состоянии и разбивающаяся сеткой треугольных элементов с соответствующими граничными условиями. Исследование особенностей деформирования породного массива вокруг подготовительных выработок с анкерным креплением при различных углах падения пласта и глубине анкерования, обоснование параметров анкерной крепи и определение рациональной области ее использования является актуальной задачей горного производства.

Исследовались проявления горного давления с установлением степени влияния геотехнологических факторов с использованием метода конечных элементов. Моделировалась технологическая схема очистных работ с возвратноточным проветриванием для условий пласта  $k_{10}$  шахты им. Костенко УД АО «АрселорМиттал Темиртау» при длине лавы 200 м до её прохода с использованием анкерной крепи.

Рассмотрена выработка, закрепленная анкерами (рисунок 1). Исследуем изменения напряжений массива горных пород в зависимости от угла наклона анкеров в кровле. Расчетные параметры: длина анкера 2,2 м; его диаметр 0,022 м; сечение выработки 17,5 м<sup>2</sup>; глубина разработки  $\gamma H = 8,7138$  МПа.

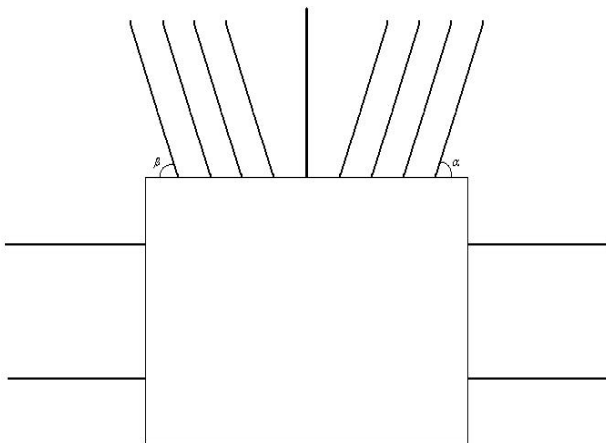
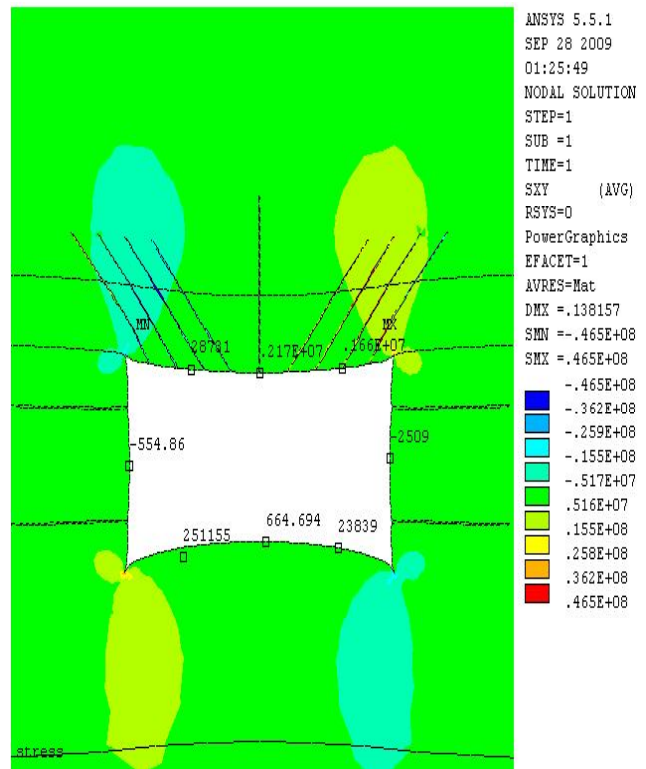


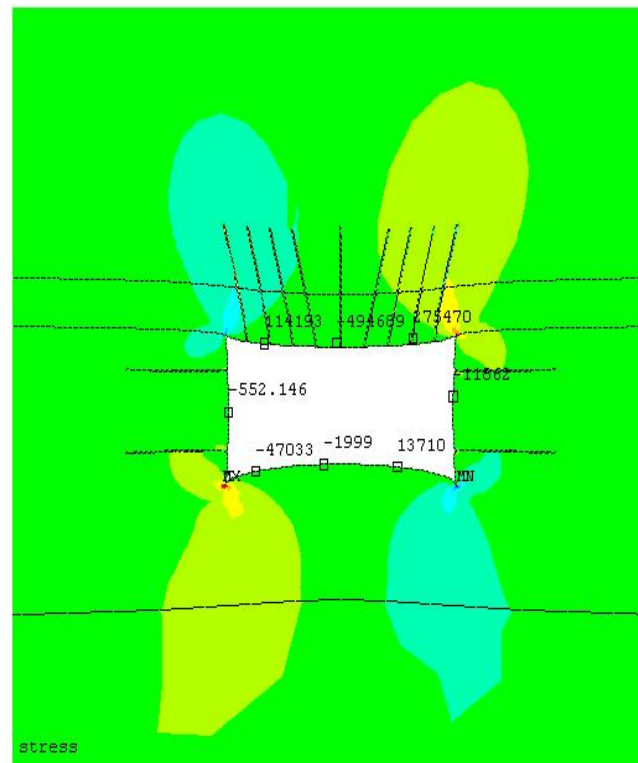
Рисунок 1 – Сечение прямоугольной выработки, закрепленной анкерами

В таблице 1 представлены расчетные значения максимальных напряжений и по параметрам модуля максимальных перемещений.

Из таблицы 1 следует, что при изменении угла наклона анкеров изменяются нормальные напряжения по оси «у» и касательные напряжения. Минимальные напряжения возникают, когда  $\alpha = \beta = 90^\circ$ . Ниже приведены распределения напряжений на примере касательных напряжений  $\tau_{xy}$  в массиве горных пород, соответствующих  $\alpha = \beta = 45^\circ$  (рисунок 2,а),  $\alpha = \beta = 75^\circ$  (рисунок 2,б),  $\alpha = \beta = 90^\circ$  (рисунок 3).



а



б

Рисунок 2 – Распределение напряжений  $\tau_{xy}$

Таблица 1 – Значения максимальных нормальных и касательных напряжений

$\alpha, \beta$ (градусах)	$\sigma_x$ (МПа)	$\sigma_y$ (МПа)	$\tau_{xy}$ (МПа)	$u_x$ (м)	$u_y$ (м)
30	93.6	19.7	54.1	0.0028	0.1382
45	93.4	28.2	46.5	0.0028	0.1382
60	93.4	26.1	30.6	0.0028	0.1382
75	93.4	9.05	29.1	0.0028	0.1382
90	93.4	5.73	29.1	0.0028	0.1382

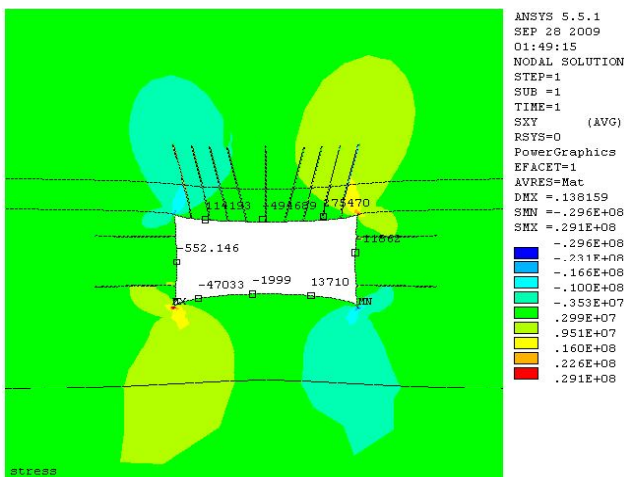


Рисунок 3 – Распределение напряжений  $\tau_{xy}$  при  $\alpha = \beta = 90^\circ$

Из проведенного исследования наиболее оптимальным углом расположения анкеров в кровле явля-

ются углы  $\alpha = \beta = 90^\circ$ .

Установлены зависимости максимальных нормальных напряжений по оси «у» в зависимости от угла наклона анкера:

$$\sigma_{\max}^y(\alpha) = 2.719 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^4 - 5.924 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha^3 + 0.44 \cdot \alpha^2 - 13.053 \cdot \alpha + 153.45. \quad (2)$$

В таблице 2 приведены сравнительные результаты, полученные по эмпирической зависимости и численными данными.

Как видно из таблицы 2, погрешность при угле наклона 45 и 60° составляет менее 10 %, а при угле наклона 30, 75, 90° составляет менее 3 %.

Выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния угля вмещающих породных массивов в зависимости от горно-геологических факторов позволяют в конкретных условиях эксплуатации устанавливать рациональные параметры крепления боковых пород для повышения устойчивости подготовительных горных выработок.

Таблица 2 – Сравнение результатов, полученных по эмпирической зависимости и численными данными

Угол наклона анкера (град.)	Максимальное касательное напряжение (МПа)		Погрешность (%)
	эмпирическая зависимость	численный метод	
30	55.589	54.1	-2.752
45	42.506	46.5	8.59
60	33.651	30.6	-9.972
75	29.026	29.1	0.255
90	28.629	29.1	1.62

☐ **ОЖ 622.271/622.682+622.684**

**С.С. ☐☐ ЛНИАЗ,  
И.Д. АРЫСТАН,  
С.Ю. АСАН,  
А.А. СПОРЯКИН**

### Қияқұламалы конвейерлерден құрастырылған үзілмелі-толассыз технологиялық кешеннің бейімделу жағдайлары

Үзілмелі-толассыз технологиялық кешендердің тиімділігін анықтайтын негізгі факторлар:

- тасымалдау жүктің көлемі;
- конвейерлі көтергілерді орнату бұрышы;
- тасымал жүктің түрі;
- кешеннің құрамындағы жабдықтардың техникалық және тұтынымдық көрсеткіштері;

– күрделі тау-кен жұмыстардың көлемі.

Ғылыми-техникалық мақалаларды және патенттерді талдау арқылы анықталғаны: кен массаны қияқұламалы конвейерлі таспалармен тасымалдаудағы қолданатын конвейерлердің құрылымдық түбегейлі айырмашылығы 18°-тан жоғары бұрышта тасымалданатын жүкті төменге қарай жылжып кетпеден сақтау. Бүгінгі таңда, әлемдік тау-кен саланың тәжірибесінде келесі қияқұламалы конвейерлер қолданады:

- жүкті көтеру бұрышы 25-27° кедір-бұдыр таспалы;
- көтеру бұрышы 90°-қа дейін, таспасы ұзындығы бойынша белгілі аралықта көлденең бөлінген;
- көтеру бұрышы 30-50° құбыр тәрізді;
- орнатылу бұрышы 50-90° тасымалданатын жүкті таспамен үстінен қысып ұстайтын.

АҚШ Тау-кен бюросының зерттеулері бойынша,

айтылған конвейерлі таспалардың арасында тау-кен өндіру кәсіпорындарында қолдануға тиімді екі нобайлық «сэндвич» тәрізді тасымал жүкті үстінен ұстап тұратын конвейерлі таспа анықталған.

Ресейдің белгілі ғылыми-зерттеу институттары: Екатеринбург қаласындағы Тау-кен істер институты, Мәскеудің Мемлекеттік Тау-кен университеті және т.б. ізденіс жұмыстарының нәтижелерінде аталған қияқұламалы конвейерлі таспа қолайлы деп саналады. Бұл ұстаным, Ресей Ғылыми Академиясының Орал бөлімшесінің Тау-кен істер институтының ғалымдары және Қашар аршығының мамандарымен бірлесіп орындалған ғылыми-ізденіс жұмыстарында қияқұламалы конвейерлі таспаны қолданудың экономикалық тиімділігі анықталынған.

Есептеулерде қияқұламалы конвейерлі таспалардың келесі түрлері үлгі ретінде алынған:

- екінобайлық конвейерлі таспамен жабдықталынған арнайы үстіңгі таспаны ұстайтын роликтер;
  - беті кедір-бұдырланған екінобайлы конвейерлі таспа;
  - көлденең қоршалған тактайша конвейерлер.
- Кестедегі мәліметтер бойынша, ұзындығы бойын-