

Рисунок 3 – Влияние глубины разработки на величину напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , возникающих вокруг контура выработки, закрепленной металлоарочной (а) и анкерной (б) крепью

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин В.Ф., Смагулова А.С. Исследование влияния главных максимальных горизонтальных напряжений на горные выработки // Междунар. науч. жур. «Актуальные проблемы современности». Сер. «Технические науки». Караганда: Болашак-Баспа, 2010. № 6(56). С. 43–46.

УДК 622.281(574.32)

## Устойчивость выработок различных направлений относительно главных максимальных горизонтальных напряжений

**В.Ф. ДЕМИН**, д.т.н., профессор кафедры РМПИ,  
**А.С. СМАГУЛОВА**, к.т.н., ст. преподаватель кафедры ИС,  
**В.В. ДЕМИН**, к.т.н., доцент кафедры РМПИ,  
**Ю.Ю. СТЕФЛЮК**, магистрант специальности «Горное дело»,  
 Карагандинский государственный технический университет

**Ключевые слова:** выработка, крепление, устойчивость выемочных выработок, главные горизонтальные напряжения, технология крепления и поддержания, геомеханические условия, напряженно-деформированное состояние, прочность вмещающих пород, конвергенция кровли и почвы.

Ряд исследований [1, 2], проведенных в последние годы на шахтах и рудниках различных стран, указывают на влияние взаимной ориентации главных горизонтальных напряжений и горных выработок, что часто является одним из главных факторов, определяющих устойчивость выработок.

Установлено, что выработки, расположенные параллельно оси север-юг более устойчивы, чем выработки расположенные перпендикулярно им. Значения максимальных главных напряжений в 2-3 раза больше при перпендикулярном расположении [3], чем при параллельном.

В Карагандинском угольном бассейне с целью изучения влияния направления заложения выработок относительно направления максимальных горизон-

тальных напряжений на шахтах УД АО «Арселор-Миттал Темиртау» были проведены наблюдения в 55 выработках на предмет их дефектности. Выработки были разбиты на проведенные параллельно направлению максимальных горизонтальных напряжений (север-юг) и перпендикулярно им.

Анализ результатов производился с учетом следующих факторов [4]:

- расположение выработки: в целике, в присечку, в зоне влияния очистных работ, вне ее;
- вид крепления: металлическое рамное, смешанное (металлоарочное-анкерное) и анкерное.

При расположении выработок вне зоны влияния очистных работ направление их заложения не играет существенной роли на их устойчивость. В зоне влия-

ния очистных работ выработки, пройденные параллельно направлению север-юг, более устойчивые. Так, в них конвергенция со стороны кровли-почвы на 37%, а со стороны боков на 34% меньше, чем в перпендикулярных выработках. Анализ работы приведен на диаграмме (рисунок 1).

В результате проведенных исследований поведения горных выработок на шахтах УД АО «Арселор-Миттал Темиртау» были установлены эмпирические зависимости, характеризующие влияние угла расположения выработок относительно главных горизонтальных напряжений.

Для расчета зависимости был использован метод наименьших квадратов. Общее уравнение параболы имеет вид

$$y = ax^2 + bx + c. \quad (1)$$

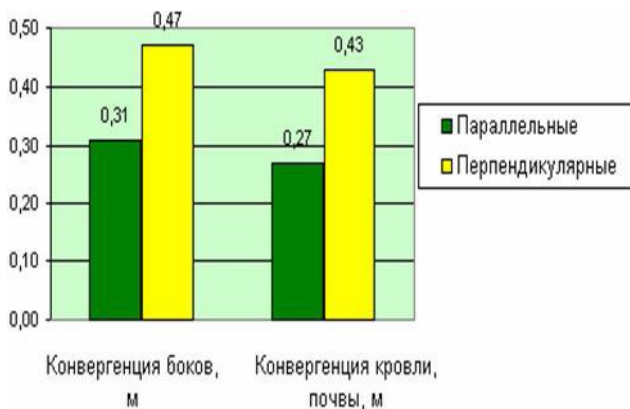


Рисунок 1 – Конвергенция выработок, располагающихся в зоне влияния очистных работ

Обобщая вычисления, получим систему трех уравнений с тремя неизвестными (коэффициенты перед неизвестными выражены через смешанные начальные моменты)

$$\begin{aligned} a \times m_{40} + b \times m_{30} + c \times m_{20} &= m_{21}; \\ a \times m_{30} + b \times m_{20} + c \times m_{10} &= m_{11}; \\ a \times m_{20} + b \times m_{10} + c &= m_{01}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для того чтобы найти коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$  в уравнении параболы (1), нужно вычислить все компоненты, входящие в систему (2), и решить ее. Уравнение аппроксимирующей параболы имеет вид (график зависимости приведен на рисунке 2):

$$y(x) = -0.0001073 \times x^2 + 0.016 \times x + 0.04. \quad (3)$$

Сравнение фактических  $y_i$  и теоретических  $y_T$  значений конвергенций, рассчитанных по уравнению параболы, свидетельствует об удовлетворительном их совпадении.

Определим дисперсии: случайных отклонений  $\sigma_y^2 = 0,001$ , исходных значений  $\sigma_y^2 = 0,026$ , учтенные параболической зависимостью  $\sigma_{зак}^2 = 0,025$ . Корреляционное отношение составит  $\eta = 0,98$ , индекс детерминации  $d = 0,96$ , доля вариации  $Y$  за счет  $X$ .

Найдем стационарные точки функции  $y(x)$  (3). Для этого составим уравнение, продифференцировав  $y(x)$  по аргументу  $x$ :

$$y'(x) = -0.000215 \times x + 0.016 = 0.$$

Решая его, получим стационарную точку  $x_0 = 74.557 \approx 75^\circ$ . Найдем вторую производную заданной функции  $y(x)$ :  $y''(x) = -0.000215$ . Так как  $y'' < 0$ , то в точке  $x_0$  имеет место максимум (согласно достаточному условию экстремума) (рисунок 2).

Определение зависимости конвергенции боков от угла заложения выработок относительно главных максимальных горизонтальных напряжений.

Исследовано также влияние направления заложения выработок относительно главных горизонтальных напряжений на конвергенцию боков. Данная зависимость также определяется параболическим уравнением (см. рисунок 2):

$$z(x) = -0.00011 \times x^2 + 0.016 \times x - 0.075. \quad (4)$$

Определим дисперсии: случайных отклонений  $\sigma_z^2 = 0,0038$ , исходных значений  $\sigma_z^2 = 0,0447$ , учтенные параболической зависимостью  $\sigma_{зак}^2 = 0,0409$ . Корреляционное отношение  $\eta = 0,96$ , индекс детерминации  $d = 0,92$ , доля вариации  $Z$  за счет  $X$ .

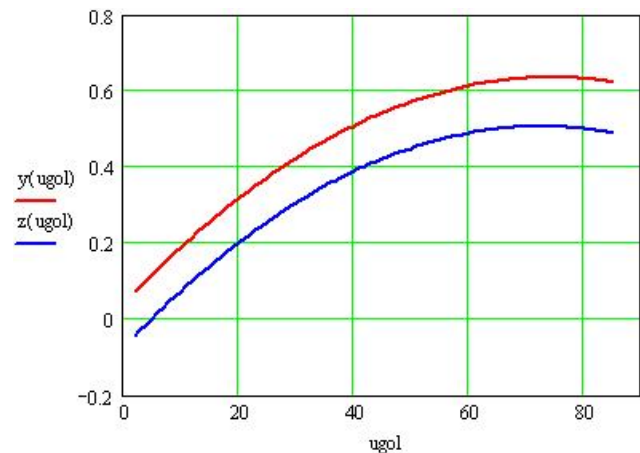


Рисунок 2 – Зависимость конвергенции кровли и почвы  $y(\text{угол})$ , а также конвергенции боков  $z(\text{угол})$  от угла заложения выработок относительно главных горизонтальных напряжений

Стационарной точкой функции  $z(x)$  (4) является  $x_0 = 72.7 \approx 73^\circ$ . Также найдем вторую производную заданной функции  $z(x)$ :  $z''(x) = -0.00022$ . Так как  $z'' < 0$ , то в точке  $x_0$  имеет место максимум (см. рисунок 2).

Произведем определение напряжений по найденным из эксперимента перемещениям. Можно, используя уравнения теории упругости, перейти от перемещений к напряжениям. Формулы дают возможность вычислить деформации:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; \quad (5)$$

и далее по закону Гука (6) определены напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ .

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y); \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x); \\ \tau_{xy} &= G\gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)}\gamma_{xy}.\end{aligned}\quad (6)$$

Таким образом, установлены зависимости напряжений  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xy}$  от угла заложения выработки, которые приведены в формулах (7), (8), (9). Напряжения заданы в [МПа].

$$\begin{aligned}\sigma_y(ugol) &= -2.393 \times 10^{-2} \times ugol^2 + \\ &+ 3.376 \times ugol + 1.922 [МПа].\end{aligned}\quad (7)$$

$$\sigma_x(ugol) = -1.91 \times 10^{-2} \times ugol^2 + 2.661 \times ugol - 6.198. \quad (8)$$

$$\tau_{xy}(ugol) = -1.169 \times 10^{-2} \times ugol^2 + 1.629 \times ugol - 3.105. \quad (9)$$

Коэффициенты корреляции составляют  $r = 0.9$ .

Графики зависимостей напряжений от угла заложения выработки представлены на рисунке 3.

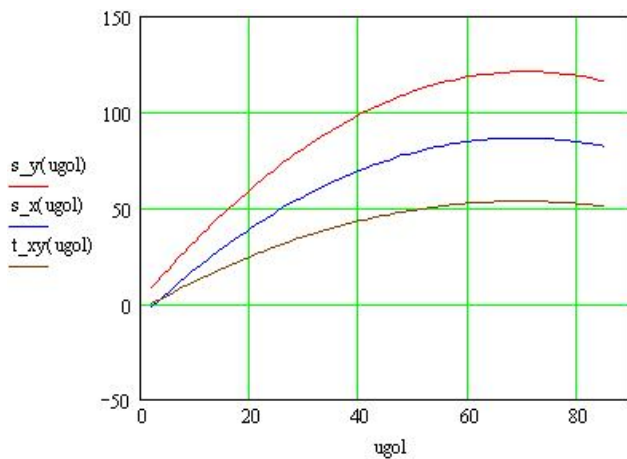


Рисунок 3 – Графики зависимостей напряжений

$\sigma_y$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xy}$  от угла заложения выработок

Как видно из графиков (см. рисунок 3), наибольшее влияние угол заложения выработки оказывает на  $\sigma_y$ . Максимальное значение 121,0 МПа – напряжение  $\sigma_y$  достигает при значении угла заложения 71°. Для  $\sigma_x$  и  $\tau_{xy}$  имеет место максимум при значении угла 70°, значения в точке максимума составляют 86,5 МПа и 53,7 МПа соответственно. Таким образом максимальное значение напряжения  $\sigma_y$  в 1,4 раза больше, чем максимальное значение  $\sigma_x$ , и в 2,3 раза больше, чем максимальное значение  $\tau_{xy}$ . В зоне от 0° до 70° – функция возрастает, далее идет на убывание (используется шкала от 0° до 90°).

Для уменьшения времени расчетов при определении напряжений в зависимости от угла заложения выработки и от значения модуля упругости окрестности выработок разработано программное обеспечение. Интерфейс основного окна программы представлен на рисунке 4.

Основная форма программы позволяет вычислить напряжения и конвергенции в зависимости от угла заложения выработки. Результаты выводятся в табличной форме и в виде графика, также можно их сохранить в отдельном файле и просмотреть в наглядном виде на дополнительной форме (рисунок 5).

Для вывода значений напряжений используется метод конечных элементов.

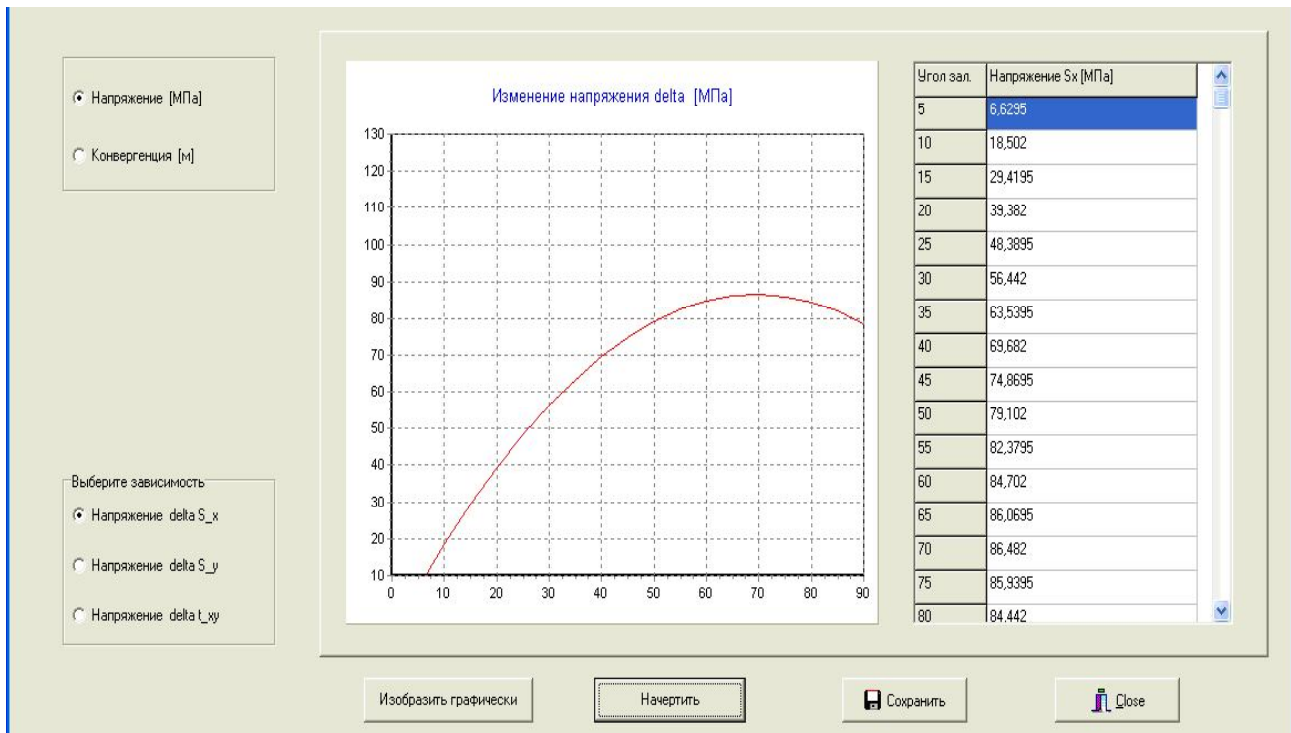


Рисунок 4 – Основная форма программы

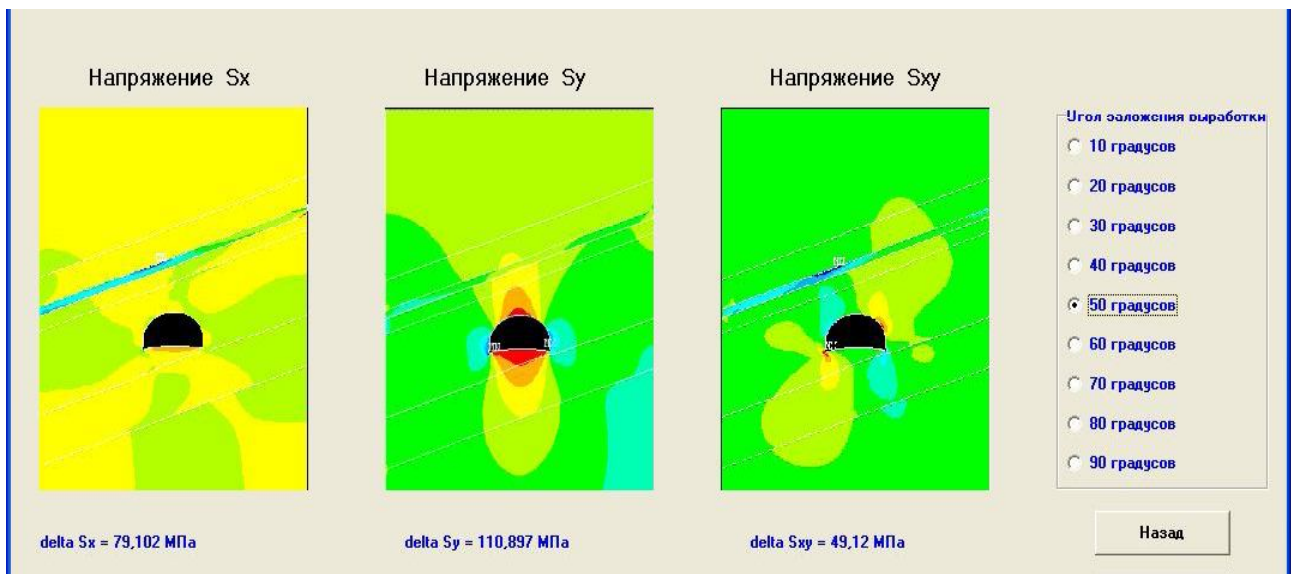


Рисунок 5 – Форма для вывода значений напряжений

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов И.М., Егоров П.В., Винокур Б.Ш. Предотвращение горных ударов на рудниках. М.: Недра, 1984. 230 с.
2. Макаров Л.Б. Практическая геомеханика: Пособие для горных инженеров. М.: Горная книга, 2006. 391 с.
3. Артемьев В. Б., Коршунов Г. И., Логинов А. К., Ютяев Е. П., Шик В. М. Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах. СПб: Наука, 2009. 231 с.
4. Демин В.Ф., Смагулова А.С. Разработка программного обеспечения для расчета параметров крепления горных выработок в зависимости от влияющих факторов // Междунар. науч. жур. «Актуальные проблемы современности». Сер. «Технические науки». Караганда: Болашак-Баспа, 2010. № 7(57). С. 25-28.

УДК 622.014.2:550.835.41