

УДК 622.831

В.Ф. Демин, А.С. Смагулова, Т.В. Демина

ВЛИЯНИЕ ГЛАВНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК

Заложение участковых подготовительных выработок параллельно направлениям максимальных горизонтальных напряжений благоприятно сказывается на их устойчивости. В процессе решения поставленных задач установлено, что неблагоприятным углом расположения выработки для Саранского участка Карагандинского угольного бассейна является 72° относительно оси север-юг и более оптимальным — по направлению вскрест данному значению угла. Разработана программа, позволяющая наглядно и в гибком режиме отследить результаты расчета, полученные с помощью установленной закономерности напряжений от угла заложения выработок.

Ключевые слова: массив горных пород, напряжения, деформации, главные горизонтальные напряжения, угол заложения выработок, геомеханические закономерности, напряженно-деформированное состояние, устойчивость выработок.

Оценка исследований, проведенных зарубежом и в Казахстане

Возникающие тектонические поля напряжений на рудниках и шахтах являются причиной проявлений повышенного горного давления и разрушений. Исследования, выполненные на шахтах США, Австралии [1, 2] и других стран с развитой угольной промышленностью, показывают, что ориентация главных горизонтальных напряжений относительно выемочных выработок является основным фактором, определяющим их дефектность.

Способами определения значений и направления горизонтальных напряжений на шахтах считаются методы разгрузки, гидроразрыва и другие способы. Но все эти методы трудноосуществимы, так как требуют больших затрат времени.

Достаточно надежен метод оценки напряженного состояния, основанный на анализе визуально наблюдаемых трещин в кровле и стенках горных выработок. На этом принципе основан применяемый в США метод картирования, который позволяет установить наличие и направление горизонтальных напряжений и дать относительную оценку их значений [1].

В СССР метод изучения палеотектонических полей напряжений впервые применил А.С. Забродин (ВНИМИ) в 1950-х гг. [2], который был основан на определении пространственного положения тектонических трещин (шахты Кузбасса) и решения обратной задачи теории предельного равновесия.

В США выявили [1, 2], что выработка, расположенная параллельно оси север-юг более устойчива, чем выработка расположенная перпендикулярно. Значения максимальных главных напряжений в 2—3 раза больше при перпендикулярном расположении, чем при параллельном расположении, то есть ус-

тойчивость выработок зависит от направления их проходки относительно направления действия в массиве максимальных напряжений.

В Карагандинском угольном бассейне для изучения влияния направления заложения выработок относительно направления максимальных горизонтальных напряжений на их устойчивость на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» были проведены наблюдения по устойчивости за 50 выработками, которые были подразделены на проведенные параллельно направлению максимальных горизонтальных напряжений (север-юг) и перпендикулярно им.

Оценка исследований выполнялась с учетом следующих горно-геологических и горнотехнических факторов:

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

При размещении выработок вне зоны влияния очистных работ направление их заложения не играет существенной роли на их устойчивость. В зоне влияния очистных работ выработки, пройденные параллельно направлению север-юг, более устойчивые. В них конвергенция со стороны кровли-почвы на 37 %, а со стороны боков на 34 % меньше, чем в перпендикулярных выработках. Заложение участковых подготовительных выработок параллельно направлениям максимальных горизонтальных напряжений благоприятно сказывается на их устойчивости.

Распределение исследуемых выработок на группы производилось с учетом того, что выработки, располагаемые параллельно относительно направления север-юг, были отнесены выработки, заложенные в диапазоне углов $0^\circ \pm 45^\circ$ и $180^\circ \pm 45^\circ$, выработки, попадающие в остальные диапазоны, отнесены к перпендикулярным (за 0° принимался север).

Постановка исследований

Для исследования поведения горных выработок на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» были определены эмпирические зависимости, устанавливающие влияние расположения выработок относительно действующих главных горизонтальных напряжений.

Единицей измерения конвергенции приняты, м; углы расположения выработок, в град.

Исходными данными являются параметры, установленные в ходе экспериментальных замеров: переменный фактор (угол расположения выработки относительно главных напряжений); постоянные факторы (расположение выработки: в целике, в зоне влияния очистных работ); результативные факторы (конвергенция кровли, почвы и боков выработок).

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

Для обработки данных использованы методы корреляции, при этом определенный коэффициент корреляции не приближен к единице, т.к. имеет место нелинейная регрессия [3]. Для определения вида связи построена корреляционная решетка, анализ значений которой свидетельствует о параболиче-

ской зависимости и для расчета зависимости использован метод наименьших квадратов. Общее уравнение параболы имеет вид

$$y = a\theta^2 + b\theta + c. \quad (1)$$

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

$$a * m_{40} + b * m_{30} + c * m_{20} = m_{21}; \quad (2)$$

$$a * m_{30} + b * m_{20} + c * m_{10} = m_{11};$$

$$a * m_{20} + b * m_{10} + c = m_{01}.$$

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

$$U_B(\theta) = -0.000107 * \theta^2 + 0.016 * \theta + 0.04. \quad (3)$$

Сравнение фактических y_i и теоретических u_T значений конвергенций, рассчитанных по уравнению параболы, свидетельствуют об удовлетворительном их совпадении [3]. Определены дисперсии: случайных отклонений $b_\theta^2 = 0,001$; исходных значений $b_y^2 = 0,026$; учетная параболической зависимостью $b_{зак}^2 = 0,025$. Корреляционное отношение составляет $\eta = 0,98$, а индекс детерминации $d = 0,96$, при доле вариации Y за счет X .

Определяются стационарные точки функции $y(x)$ (3), для чего составляется уравнение, проинтегрировав $y(x)$ по аргументу x :

$$y'(x) = -0,000215 * x + 0,016 = 0.$$

Решая которое получается стационарная точка $x_0 = 74,56 \approx 75^\circ$ — рис. 1. Вторая производная заданной функции $y(\theta)$ дает: $y''(\theta) = -0,00022$. Так как $y'' < 0$, то в точке θ_0 имеет место максимум (экстремум).

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

Исследовано влияние направления заложения выработок относительно главных горизонтальных напряжений на конвергенцию их боков. Зависимость также определяется параболическим уравнением, значения параметров которой были найдены методом наименьших квадратов (график зависимости приведен на рисунке 1) [7-9]:

$$U_Z(\theta) = -0,0001 * \theta^2 + 0,016 * \theta - 0,075. \quad (4)$$

Определены дисперсии: случайных отклонений $b_\theta^2 = 0,0038$; исходных значений $b_y^2 = 0,0447$; учетная параболической зависимостью $b_{зак}^2 = 0,0409$.

Корреляционное отношение составляет $\eta = 0,96$, а индекс детерминации $d = 0,92$, то есть доля вариации Z за счет X .

Стационарной точкой функции $z(\theta)$ (4) является $\theta_0 = 72,7 \approx 73^\circ$. Также найдем вторую производную заданной функции $z(x)$: $z''(\theta) = -0,00022$. Так как $z'' < 0$, то в точке θ_0 имеет место максимум (см. рис. 1).

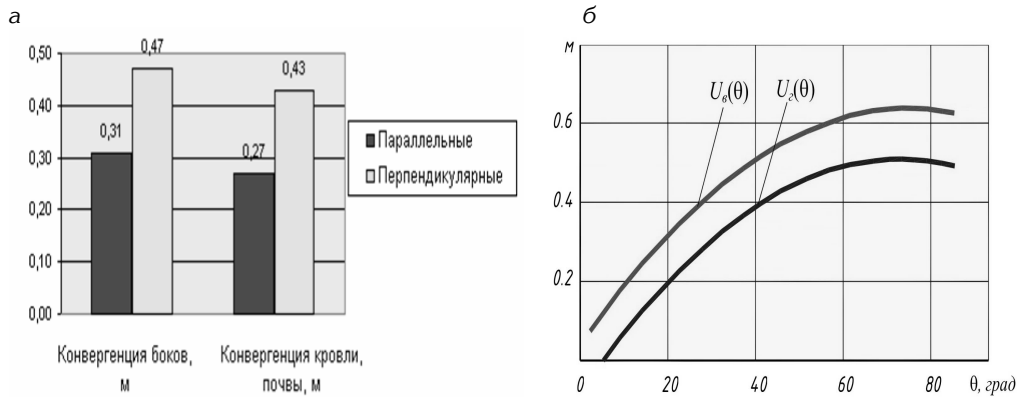


Рис. 1. Зависимость конвергенции кровли и почвы (а- экспериментальные данные), $U_y(\theta)$ – эмпирическая обработка, конвергенции боков $U_x(\theta)$, от угла заложения выработок (θ) относительно главных горизонтальных напряжений

Определение напряжений по установленным перемещениям

Используя уравнение теории упругости осуществляется переход от перемещений к напряжениям. По формулам (5) вычисляются деформации

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

по закону Гука (6) определяются напряжения σ_x , σ_y и τ_{xy} .

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

Определены эмпирические зависимости напряжений σ_y , σ_x , τ_{xy} , МПа, от угла заложения выработки (при $r=0,9$), формулы (7), (8), (9) – рисунок 2

$$\sigma_y(\theta) = -2,4 \cdot 10^{-2} \cdot \theta^2 + 3,4 \cdot \theta + 1,9. \quad (7)$$

$$\sigma_x(\theta) = -1,9 \cdot 10^{-2} \cdot \theta^2 + 2,7 \cdot \theta - 6,2. \quad (8)$$

$$\tau_{xy}(\theta) = -1,17 \cdot 10^{-2} \cdot \theta^2 + 1,63 \cdot \theta - 3,11. \quad (9)$$

Из графиков (рис. 2) видно, что наибольшее влияние угол заложения выработки оказывает на σ_y . Выработка будет под максимальным влиянием горизонтальных напряжений при угле заложения $\theta=70^\circ$ относительно оси север-юг. Максимальное значение напряжения σ_y (120МПа) достигает при значении угла заложения 71° . Для σ_x и τ_{xy} имеет место максимум при значении угла 70° , значения в точке максимума составляют 86,5 МПа и 53,6 МПа соответственно. Максимальное значение напряжения σ_y в 1,4 раза больше, чем максимальное значение σ_x и в 2,3 раза больше, чем максимальное значение τ_{xy} . В зоне от 0° до 70° — функция возрастает, далее идет на убывание (используется шкала от 0° до 90°) [4].

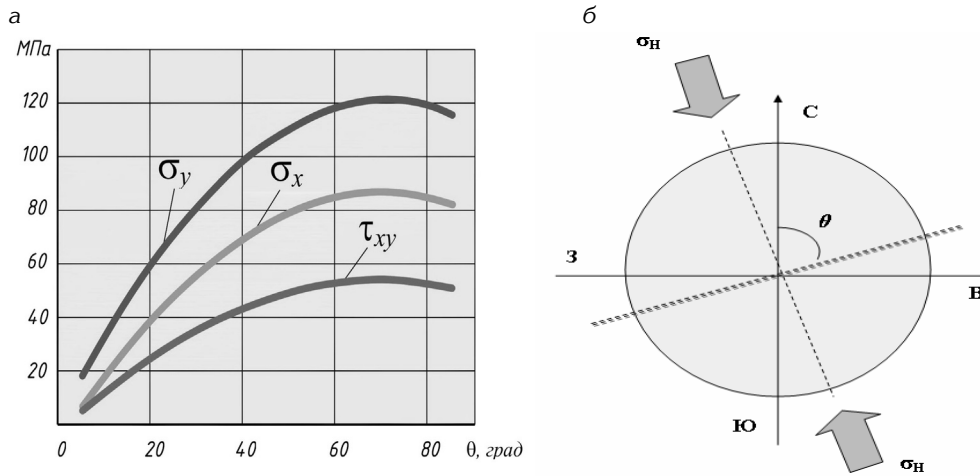


Рис. 2. Графики зависимостей напряжений σ_y , σ_x , τ_{xy} от угла заложения выработки: а – эмпирически; б – графически

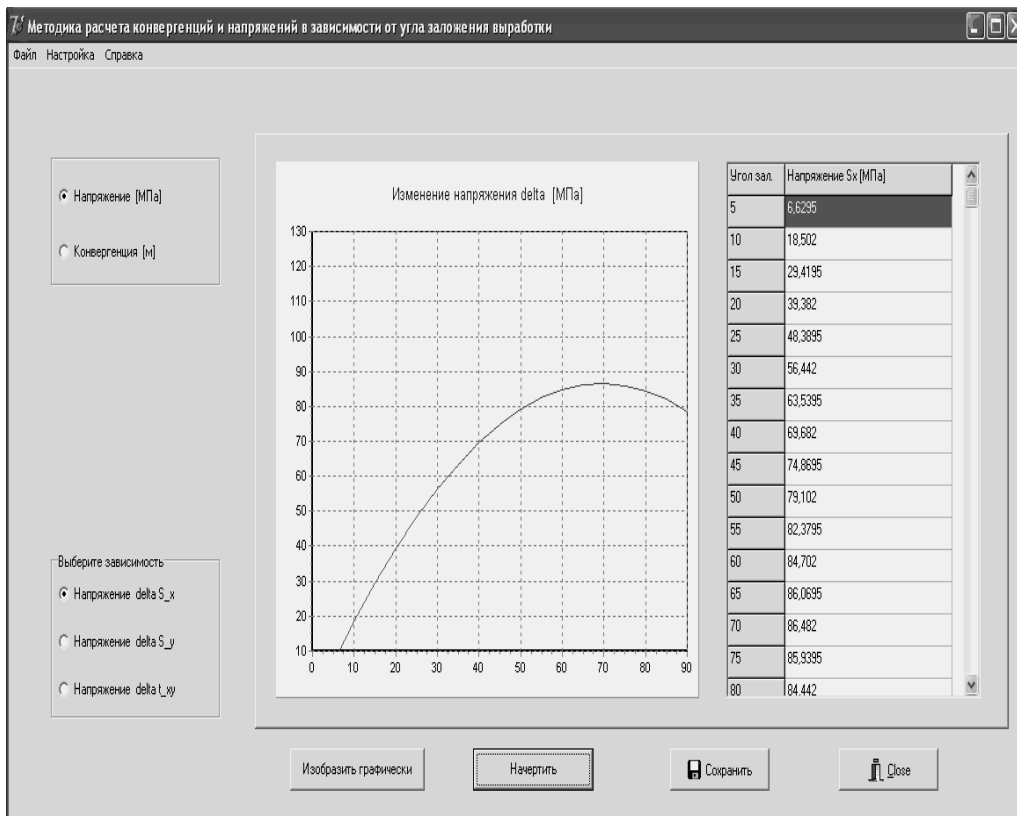


Рис. 3. Основная форма программы

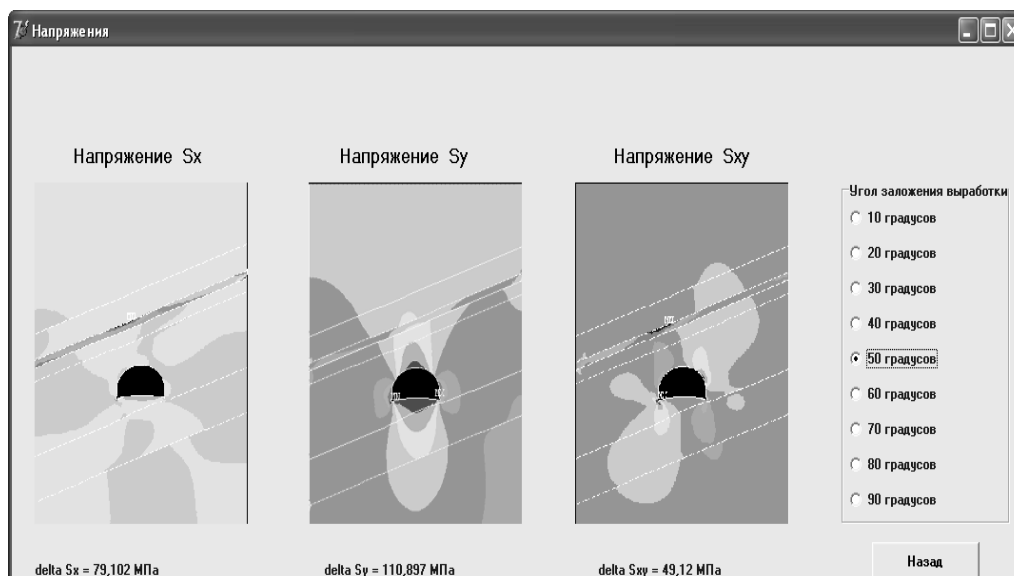


Рис. 4. Дополнительная форма для вывода значений напряжений посредством МКЭ

Для наглядности и мобильности, а также для уменьшения времени расчетов была разработано программное обеспечение, для определения напряжений в зависимости от угла заложения выработки и от значения модуля упругости окрестности выработок [5]. Интерфейс основного окна программы представлен на рис. 3.

Основная форма программы (см. рис. 3) позволяет вычислить напряжения и конвергенции в зависимости от угла заложения выработки. Результаты выводятся в табличной форме и в виде графика виде, также можно их сохранить в отдельном файле [6]. Кроме того можно просмотреть результаты в наглядном виде на дополнительной форме (рис. 4).

На дополнительной форме для вывода значений напряжений используется метод конечных элементов (МКЭ).

Полученные эмпирические зависимости могут быть использованы при корректировке действующей «Инструкции по расчету параметров крепления горных выработок с анкерной крепью, Караганда, 2008. –70 с. [10]».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латышов О.Г. Разрушение горных пород.–М.:Теплотехник, 2007-672 с.
2. Баклашов И.В. Геомеханика. — М.: МГТУ,2001. — Т.1, 2. – 208 с., 249 с.
3. Ремезов А.В. Задачи по развитию и внедрению форм анкерного крепления на новом техническом уровне // Уголь. 1996. — № 6. – С. 14-16.
4. Широков А.П., Кунцевич В.И., Шемякин В.И и др. О классификации анкерной крепи по конструктивным признакам // Шахтное строительство. — №1. — 1975. — С. 13-18.
5. Временная инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. — Караганда, 1998. –С. 45–49.
6. Заславский Ю.З. и др. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. — Киев: Техника, 1972. – С. 45–48.

7. Демин В.Ф., Смагулова А.С., Толухан Б. Использование ГМК Ansys для оценки геомеханического состояния горного массива на руднике «Нурказган» // Научные труды Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана». — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2009. — Часть 2. — С. 199-201.

8. Демин В.Ф., Смагулова А.С. Исследование влияния главных максимальных горизонтальных напряжений на горные выработки // Международный научный журнал

«Актуальные проблемы современности». Серия «Технические науки». — Караганда: Изд-во Болашак-Баспа, № 6(56). 2010. — С. 43-46.

9. Яворский В.В., Демин В.Ф., Смагулова А.С., Сагинов К.А. Методы моделирования базовых параметров и выбора схем реализации горных выработок // Монография. — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2007. — 157 с.

10. Инструкция по расчету параметров крепления горных выработок с анкерной крепью, Караганда, 2008. — 70 с. **ИЗБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Демин Владимир Федорович — доктор технических наук, профессор, академик Международной академии информационных наук,
Смагулова Асемгуль Сериковна — кандидат технических наук, старший преподаватель,
Демина Татьяна Владимировна — кандидат технических наук, старший преподаватель,
Карагандинский государственный технический университет, kargtu@kstu.kz



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

АВТОМАТИЗАЦИЯ БЕСКОНТАКТНОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Иванов Лев Викторович — аспирант,

Коньшин Борис Федорович — кандидат технических наук, доцент,

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

Рассмотрены проблема точности автоматизированной обработки фотопланиграммы при определении удельной блочности и проблема автоматизации обработки изображений взрываемого массива карьера для получения оперативной информации о его состоянии. Проведен анализ слабых мест алгоритмов обработки и способов их устранения и анализ существующих методов обработки изображения и выбор метода, наиболее полно соответствующего поставленной задаче с учетом специфики изображений.

Ключевые слова: горный массив, гранулометрический состав, фотопланиграмма, фильтрация.

AUTOMATION OF NON-CONTACT ANALYSIS OF THE STATE OF ROCK MASSIF

Ivanov L.V., Kon'shin B.F.

Considered the problem of accuracy of the automated processing fotoplanigramm in determining the specific and the problem of automation of processing of images of the explosion of the ar-ray career to receive the operative information about his condition. The analysis of the weaknesses of processing algorithms and ways of their elimination and analysis of existing methods of image processing, and the choice of method, the most-in-full of the relevant task given the specifics of the image.

Key words: mining range, granulometric composition, filtering, fotoplanigramma.