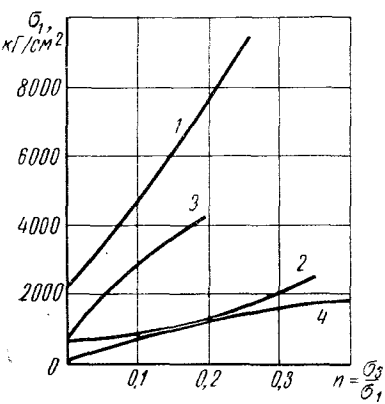
Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LI, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.838.53

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШИРОКИХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

В. П. Дудукалов

Широкими угольными целиками принято считать межэтажные и барьерные целики различного назначения, ширина b которых во много раз больше высоты m, а длина L значительно превышает ширину. В условиях пологого залегания пластов такие целики под действием активной сжимающей нагрузки — веса толщи вышележащих пород — работают на раздавливание. Материал обнаженных поверхностей целика находится при этом в напряженном состоянии, которое в первом приближении можно считать плоским сжатием. По мере удаления от плоскостей обнажения в глубь целика напряженное состояние переходит в объемное сжатие, и горизонтальная компонента напряжений возрастает от краев к середине целика. Характер напряженного состояния изменяется и по высоте целика: при удалении от контактов с вмещающими породами горизонтальная составляющая напряжений уменьшается.



Изменение предела прочности образцов на сжатие:

1 — песчаник; *2* — углистая порода (по А. Н. Ставрогину [1962]); *3* — песчаный сланец; *4* — уголь (по О. Мюллеру [1930]).

Таким образом, напряженное состояние в отдельных точках целика зависит от их координат, что свидетельствует о весьма сложной картине напряженного состояния массива в целом. В свою очередь напряженное состояние как в отдельных точках, так и всего целика соответствует определенному нагружению. При изменении характера нагружения изменится и картина напряженного состояния целика.

Определение пределов прочности на сжатие образцов различных горных пород в условиях объемного сжатия (см. рисунок) показывает, что разрушение материалов при изменении напряженного состояния n от 0 до 1 $\left(n = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}\right.$; σ_1 и σ_3 — наибольшее и соответственно наименьшее сжимающее напряжение$\left.\right)$ происходит при значительном увеличении аб-

солютных значений сжимающих напряжений. При этом, как известно, до настоящего времени не достигнуто разрушения материалов при равнокомпонентном состоянии (при $n = 1$). Предел прочности горной породы на сжатие $\sigma_{\text{пч. сж}}$ зависит от характера напряженного состояния

$$\sigma_{\text{пч. сж}} = f(n). \tag{1}$$

Предел прочности отдельных элементов целика является, кроме того, некоторой функцией их координат

$$\sigma_{\text{пч. сж}} = f(x, y). \tag{2}$$

Таким образом, угольный целик, однородный по составу материала, представляет собой неравнопрочную в различных своих точках конструкцию. Это дает основание представить целик простой геометрической формы, как весьма сложную конструкцию, сложенную из элементов с различными прочностными характеристиками. При этом как характеристики напряженного состояния отдельных элементов целика, так и прочностные характеристики их взаимообусловлены, что вытекает из сплошности строения массива целика и, следовательно, взаимного влияния элементов массива.

Отмеченные особенности работы целика имеют важное значение при оценке несущей способности широких целиков, для которых различие в напряженном состоянии отдельных частей и абсолютных значений напряжений (по краям и в центре) наиболее велико.

Функциональную зависимость пределов прочности на сжатие отдельных элементов от их расстояния от обнажения в глубь массива целика для предельного равновесия принято выражать в виде уравнения [Гмошинский, 1957; Wolker, 1955]

$$\sigma_{\text{сж}} = \sigma_0 e^{-\frac{2f}{\lambda m} x}, \tag{3}$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ — предельное значение сжимающего напряжения, равное пределу прочности на сжатие материала, удаленного на расстояние x от плоскости обнажения;

σ_0 — предел прочности горной породы в плоскости обнажения, принимаемый равным пределу прочности на одноосное сжатие;

f — коэффициент трения горной породы о породу по наиболее слабым контактам;

λ — коэффициент бокового распора, который В. Г. Гмошинский [1957] рекомендует определять по формулам

$$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}, \tag{4}$$

$$\lambda = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right), \tag{5}$$

где μ — коэффициент Пуассона;

ϱ — угол внутреннего трения.

Вывод уравнения (3) базируется на предположении, что напряженное состояние элементов целика зависит от бокового давления, которое определяется силами трения на контактах целика с вмещающими породами. Формула (3), представляющая функциональную зависимость только от одной переменной (координаты x), по существу, сводит задачу к одномерной, не учитывающей изменения предела прочности по высоте целика, что является отступлением от реальных условий. Кроме того, формула не учитывает влияния на напряженное состояние массива защемления целика породами кровли и почвы, сил сцепления и собственного веса материала

целика. Таким образом, формула (3) является приближенным решением задачи и представляет собой уравнение предельного равновесия горной породы в массиве, т. е. состояния, при котором еще сохраняются физические свойства неразрушенного материала.

В реальных условиях нагрузки на целик, особенно в краевых его зонах, где наблюдается концентрация напряжений, могут достигать величин, значительно превышающих предельные, и материал целика будет разрушаться. Полное либо частичное разрушение материала, как известно, ведет к изменениям физических свойств исходной горной породы, что прежде всего выражается в потере первоначальных физико-механических характеристик, изменении структуры и т. д. Разрушение краевой части целика приводит к уменьшению или полной потере способности материала воспринимать активные сжимающие нагрузки. Это соответственно снижает величину сил трения на контактах с вмещающими породами и тем самым значение горизонтальной составляющей напряжений, направленной от обнажения в глубь массива. В свою очередь это приведет к изменению напряженного состояния целика — уменьшатся значения n и снизятся пределы прочности на сжатие. В итоге ширина зон разрушения целика будет увеличиваться вплоть до наступления равновесия между напряжениями и пределом прочности материала.

Таким образом, процесс разрушения краевых частей целика протекает в условиях изменяющихся напряженных состояний всех элементов целика и соответственно при различных прочностных характеристиках элементов.

Уравнение (3) не отражает изменений несущей способности массива, подвергающегося частичному разрушению, поэтому не может быть использовано в качестве характеризующего его несущую способность в условиях, когда происходит частичное разрушение, обусловленное нагружением. При определении ширины зон разрушения целиков формула (3) даст заниженные результаты, что недопустимо в расчетах прочных размеров целиков [Гвирцман, 1964].

Характер нагружения целика, определяющий условия работы его материала, является основой для установления несущей способности целика. Зона концентрации напряжений в краевой части угольного пласта или целика, как известно, является результатом пригрузки пласта изгибающим моментом от зависающих над выработанным пространством консолей слоев кровли. Величина коэффициентов концентрации напряжений в точках, различно удаленных от обнажения целика, и, следовательно, характер эпюры напряжений зависят от многих факторов: физико-механических свойств пород кровли; величины пролета между целиками; глубины залегания и т. д. Решения задачи функциональной зависимости коэффициента концентрации напряжений от определяющих его факторов в настоящее время не существует.

Повышенная нагруженность краевых частей, по сравнению с нагрузкой в центре целика, является причиной частичного разрушения целиков и тем самым изменения их несущей способности. Так, по данным наблюдений ширины зон разрушения угля в пологопадающих пластах Донбасса мощностью 0,9—1,3 *м* [Гвирцман, 1964], разрушение угля распространяется в глубь пласта на 5—7 *м*, т. е. на глубину в 5,5 раза большую мощности пласта. При $b = 30$ *м*, $m = 1$ *м* и величине зоны разрушения $l = 5{,}5\,m$ разрушенная часть целика достигает 37% его общей ширины. При таком положении трудно судить о несущей способности целика и степени его надежности.

Развитие процессов сдвижения и обрушения слоев кровли в выработанном пространстве во времени определяет изменение характера нагружения целиков. Недостаточная изученность вопроса изменения нагрузки на

целики не позволяет правильно выбрать исходные данные для расчета их прочных размеров и, следовательно, технически правильно и экономически целесообразно определить размеры целика.

Выводы

1. При определении несущей способности широких целиков необходим учет ширины разрушаемых зон. Формула (3) для расчета ширины зон разрушения неправомерна, так как описывает только предельное прочное (неразрушенное) состояние массива, которым и ограничивается область ее применения.

2. Правильной оценке нагрузок на целики должны предшествовать дополнительные исследования и установление зависимости коэффициентов концентрации напряжений от определяющих их факторов.

3. Чтобы установить наиболее опасные нагрузки на целики, необходимо исследовать динамику развития нагружения целиков в зависимости от развития сдвижений слоев кровли.

ЛИТЕРАТУРА

Гвирцман Б. Я. О необходимых размерах барьерных целиков у затопленных выработок на пологих пластах Донбасса. Тр. ВНИМИ, сб. 52, 1964.

Гмошинский В. Г. Горное давление на пологий пласт в окрестностях выработки. Уголь, № 6, 1957.

Ставрогин А. Н. Некоторые особенности разрушения горных пород. Тр. ВНИМИ, сб. 49, 1962.

Wolker L. Mine and Quarry Engng, № 4—6, 1955.

Müller O. Gluckauf, № 47—48, 1930.