

УДК 622.83.001.57

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗКИ НА КРЕПЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЧУРУБАЙ-НУРИНСКОГО РАЙОНА КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

В. А. Борисовец

Одной из актуальных проблем дальнейшего освоения Чурубай-Нуринского района является разработка рациональных типов крепи. Данные о проявлении горного давления в подготовительных выработках можно получить приближенным расчетным методом.

Необходимо определить величину нагрузки на крепь горизонтальных выработок (в рассматриваемых условиях) в зависимости от физико-механических свойств горных пород, окружающих выработку, размеров выработки и глубины ее заложения от поверхности, а также конструкции крепи, т. е. основных факторов, легко определяемых в производственных условиях. Для решения этой задачи привлечены результаты шахтных и лабораторных исследований, а также изложенные ранее данные [1, 2]. Кроме того, использованы существующие аналитические расчетные методы. Результаты определения величины вертикальной нагрузки по этим методам, а также результаты непосредственных измерений величины нагрузки P на крепь с помощью динамометров (рис. 1) в условиях вентиляционного горизонта шахты № 14 «Чурубай-Нуринская» приведены в таблице.

Как известно, после проведения горной выработки существовавшее до этого в породах напряженное состояние изменяется. Происходит мгновенное перераспределение напряжений, и вокруг выработки образуется зона неравномерного распределения напряжений. В результате концентрации напряжений на контуре выработки в породах развиваются неупругие деформации, приводящие к образованию зоны пониженных напряжений. При этом зона повышенных напряжений отодвигается в глубь массива. При проходке выработок по слабым аргиллитам можно предполагать наличие зоны пониженных напряжений значительных размеров.

При отсутствии крепи в выработке в породах кровли образуется зона разрушений. Породы, находящиеся в этой зоне разрушений, стремятся под действием собственного веса оторваться от лежащей выше толщи и заполнить выработку. Как следует из шахтных и лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов, над укрепленными выработками в таких условиях образуется свод обрушения, граница которого совпадает с границей зоны пониженных напряжений и очерчивается кривой, подобной параболе. Данные наблюдений подтверждаются и исследованиями А. А. Борисова [3], который обра-

зование над выработкой свода обрушения допускает лишь при наличии в кровле выработки однородных слабосвязанных пород, малых пределах прочности пород на разрыв и достаточно больших пролетах выработок. В. Риттер и позднее М. М. Протодьяконов строго математически доказали, что границей свода обрушения является парабола.

Определение величины вертикальной нагрузки на крепь

Шахта, выработка, пласт	Тип крепи	Характеристика породы	Нагрузка на крепь, т.м ²							
			по М. М. Протодьяконову	по П. М. Цимбаревичу	по В. Д. Слесареву	по А. С. Щукину	по Лабассу — Горюшицкому	по В. В. Орлову	по замерам динамометра ¹	по предлагаемому методу
№ 14 „Чурубай-Нуринская“. Южный полевой вентиляционный штрек, пласт D_6 , $D_n = 3540$ мм	Кольцевая сборная железобетонная шестишарнирная	$\gamma = 2,24$ т/м ³ ; $\sigma_{сж} = 70,1$ кг/см ² ; $\varphi = 16^\circ$; $C = 7$ кг/см ² . Слабые неустойчивые аргиллиты	7,6	23,0	27,3	31,5	45,8	69,5	17,5	20,2
№ 14 „Чурубай-Нуринская“. Южный полевой вентиляционный штрек, пласт D_6 , $D_n = 3800$ мм	Кольцевая металлическая четырехшарнирная из СП-28	То же	8,0	25,0	32,2	32,0	46,5	69,5	33,8	32,7
Приемная площадка вентиляционного горизонта. $D_n = 3720$ мм	Кольцевая сборная железобетонная рамно-блочная	$\gamma = 2,28$ т/м ³ ; $\sigma_{сж} = 41,2$ кг/см ² ; $\varphi = 15^\circ$; $C = 6$ кг/см ²	14,0	49,2	55,7	57,8	77,0	71,0	31,2	36,0

Примечание: γ — объемный вес, т/м³; $\sigma_{сж}$ — предел прочности на сжатие, кг/см²; φ — угол внутреннего трения, град; C — сцепление, кг/см².

¹ Нагрузка определена со стороны кровли как средняя арифметическая по нескольким динамометрам.

Механизм взаимодействия между породами, заключенными в пределах свода обрушения, и крепью зависит от прочностных характеристик пород, их структуры, сложения, глубины заложения выработки от поверхности, ее размеров, механической характеристики крепи и некоторых других факторов.

Возможность более или менее правильного определения ожидаемой нагрузки на крепь позволяет искусственно регулировать взаимодействие между породами, находящимися в пределах свода обрушения, и крепью путем создания крепи с необходимой механической характеристикой (жесткой, с ограниченной податливостью и податливой).

При определении ширины свода естественного равновесия расчетным методом П. М. Цимбаревича величина угла внутреннего трения не зависит от глубины заложения выработки, т. е. не учитывается изменение угла внутреннего трения, вследствие появления пластических свойств у пород с увеличением глубины.

Р. Квапил [4] считает, что из механических свойств горных пород существенное влияние на размеры свода обрушения оказывает угол внутреннего трения, который обуславливает большую или меньшую подвижность материала (породы). Величина угла внутреннего трения прямо пропорциональна прочности пород и, следовательно, степени сопротивляемости горных пород растяжению и обратно пропорцио-

нальна напряжению, которое действует на породу. Так как с глубиной напряжение возрастает, Р. Квапил делает вывод об уменьшении угла внутреннего трения на величину редуccionного (уменьшающего) угла ψ , для определения которого он предлагает специальную эмпирическую формулу.

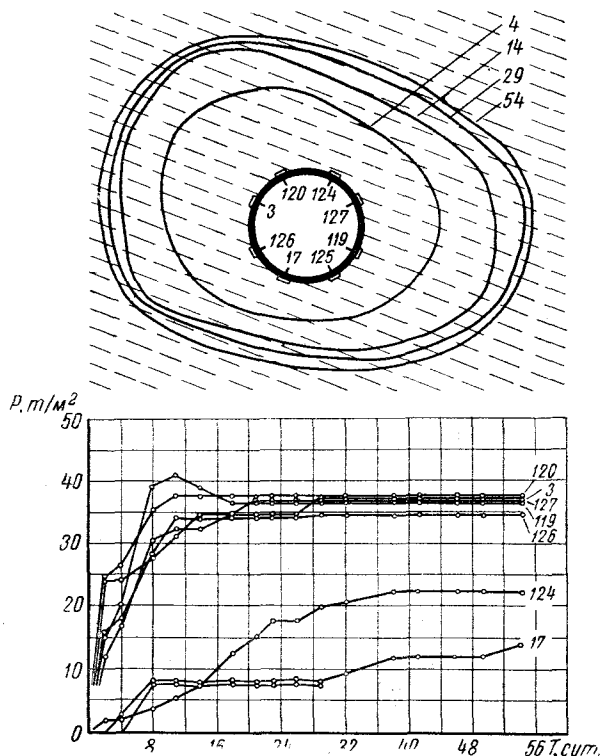


Рис. 1. Схема расположения динамометров, эпюры нормальных нагрузок и кривые изменения нагрузки во времени через 4, 14, 29, 54 дня на кольцевую металлическую четырехшарнирную крепь (средняя арифметическая по динамометрам 3, 120, 124, 127, 126, 17, 125, 119) из спецпрофиля южного полевого вентиляционного штрека. Пласт D_6 . Шахта № 14 «Чурубай-Нуринская»

В соответствии с расчетной схемой П. М. Цимбаревича (рис. 2) ширину свода обрушения можно выразить с учетом поправки Р. Квапила

$$a_1 = 2h \operatorname{tg} \left(45^\circ + \psi - \frac{\varphi}{2} \right) + l \quad (1)$$

или

$$a_1 = 2h \operatorname{tg} \alpha + l.$$

Высоту свода можно определить по М. М. Протодяконову

$$b = \frac{a_1}{2} = \frac{a_1}{2f}, \quad (2)$$

где f — коэффициент крепости пород (по М. М. Протодяконову).

Принимая давление на крепь в виде равномерно распределенной нагрузки с интенсивностью $p = \gamma b$, получим

$$p = \frac{\gamma a_1}{2f}, \quad (3)$$

где γ — объемный вес пород, m^3 .

Если в формулу (1) подставить численные значения из табл. 1 ($h=3,5$ м; $\varphi=16^\circ$; $\psi=2^\circ$; $l=3,5$ м), то в рассматриваемых условиях $a_1=9,5$ м, т. е. примерно трем диаметрам выработки в проходке (при круглом очертании выработки).

Исследованиями, проведенными автором на шести плоских моделях из эквивалентных материалов, имитирующих участок природы длиной L , применительно к рассматриваемым условиям было установлено, что после проходки вокруг выработки образуется зона пониженных и повы-

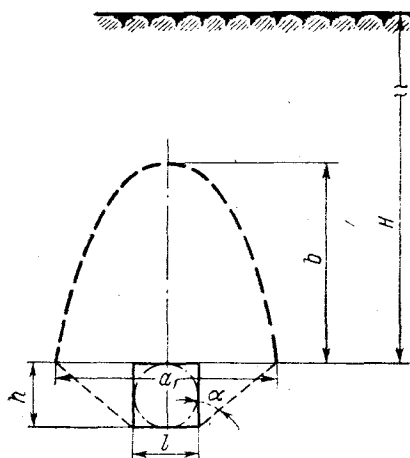


Рис. 2. К определению размеров свода обрушения по П. М. Цимбаревичу:

a_1 — ширина свода, м; b — высота свода, м; h — высота выработки, м; l — ширина выработки, м; H — расстояние выработки от поверхности, м; α — угол, характеризующий влияние глубины на уменьшение угла внутреннего трения пород φ , град.

$$\alpha = 45^\circ + \varphi - \frac{\varphi}{2};$$

ψ — редуцированный угол, на который уменьшается угол внутреннего трения с глубиной, град.

дет равна диаметру зоны пониженных напряжений, т. е. трем диаметрам выработки в проходке: $a_1=3D_n$.

Таким образом, для рассматриваемых условий формулу (3) с учетом выведенных закономерностей можно записать в виде

$$p = \frac{3\gamma D_n}{2f}. \quad (4)$$

Как известно, прочность горных пород в массиве отличается от прочности пород, полученной испытаниями на образцах. В массиве породы разбиты трещинами (особенно в пределах свода обрушения), имеют высокую естественную влажность и т. д. Л. Д. Шевяков предложил при определении величины нагрузки на крепь прочностные характеристики пород уменьшать в 2—3 раза. Исходя из этого, М. М. Протодьяконов предлагает удваивать обычное давление пород кровли. П. М. Цимбаревич значения углов внутреннего сопротивления для пород кровли и боковых рекомендует брать меньше существующих, обеспечивая таким образом известный запас. В. Д. Слесарев также предлагает уменьшить предел прочности пород растяжению в 2—3 раза.

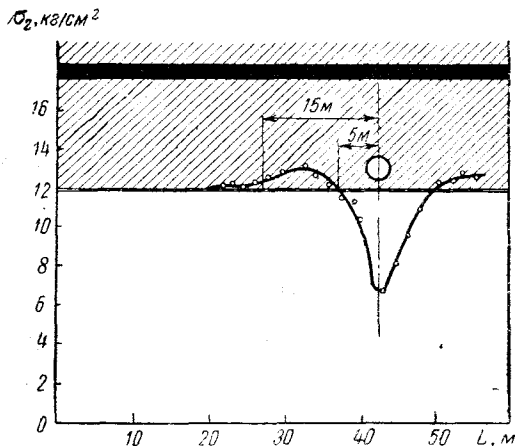


Рис. 3. Образование зоны пониженных и повышенных напряжений после проведения выработки на модели

шенных (сравнительно с вертикальными напряжениями σ_z в нетронутом массиве) напряжений (рис. 3). Радиус зоны пониженных напряжений достигал по горизонтальной оси выработки полутора ее пролетов. Допустим, граница зоны пониженных напряжений совпадает с границей свода обрушения. Тогда ширина свода бу-

Учитывая изложенное, принимаем коэффициент запаса n , равный двум. Тогда по формуле (4)

$$p = \frac{2 \cdot 3\gamma D_n}{2f} = \frac{3\gamma D_n}{f}. \quad (5)$$

В соответствии с этой формулой величина нагрузки будет справедлива для крепей, полностью воспринимающих давление пород (жестких и близких к ним конструкций крепи).

Для определения нагрузки на податливую крепь постоянного сопротивления трудно предложить какую-либо расчетную формулу, так как давление на такую крепь определяется предельной нагрузкой, при которой начинает проявляться податливость. Предельная же нагрузка различна и в каждом конкретном случае зависит от конструкции узлов податливости (их несущей способности). В существующей конструкции податливой крепи из специального желобчатого профиля каждый из узлов податливости крепи вступает в работу при различной нагрузке, так как хомуты на них затягиваются с разными усилиями. Кроме того, из-за отсутствия шарниров нагрузка по контуру крепи распределяется неравномерно. В результате крепь очень часто преждевременно деформируется под действием даже небольших нагрузок.

Нами (совместно с В. В. Смирняковым и Г. Г. Мирзоевым) разработаны и испытаны две конструкции узлов податливости постоянного сопротивления, работающие по принципу среза металлических шпилек и истечения песчано-битумной смеси [2]. Конструкции узлов позволяют в каждом конкретном случае в зависимости от ожидаемой нагрузки на крепь рассчитать необходимый диаметр шпилек или подобрать смесь соответствующего состава и выбрать соответствующую величину податливости, чтобы деформирование узлов податливости происходило при определенной предельной нагрузке, близкой к несущей способности крепи, и в течение необходимого времени. Кроме того, предложенные узлы податливости обеспечивают шарнирность крепи. Шарнирные крепи по сравнению с податливыми крепями постоянного сопротивления обладают ограниченной податливостью. Благодаря наличию шарниров элементы шарнирной крепи подвижны и имеют возможность «уходить» из-под нагрузки. Следовательно, в целом величина нагрузки на шарнирную крепь меньше, чем на жесткую [2]. Определить такую нагрузку можно достаточно точно введением в формулу (5) коэффициента $k_{ш}$, учитывающего наличие шарниров в конструкции крепи,

$$p = \frac{3\gamma D_n}{f} k_{ш}. \quad (6)$$

Коэффициент $k_{ш} < 1$ и зависит от числа шарниров. Значение коэффициента $k_{ш}$ найдено экспериментально — путем сравнения замеренных нагрузок на жесткие и шарнирные крепи и равно: для трех- и четырехшарнирных конструкций крепи 0,8—0,9; для пяти- и шестишарнирных 0,6—0,7.

Как видно из таблицы, вычисленные величины нагрузок близки к замеренным результатам по динамометрам. Это подтверждает надежность предложенного метода для приближенного определения величины нагрузки на крепь в рассматриваемых и аналогичных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирняков В. В., Борисов В. А. Горное давление в подземных выработках Тентекского и Чурубай-Нуринаского районов Карагандинского бассейна. Известия вузов, «Горный журнал», 1961, № 12.
2. Борисов В. А. Выбор типа крепи для горизонтальных горных выработок Тентекского и Чурубай-Нуринаского районов Карагандинского угольного бассейна. «Горнодобывающая промышленность Казахстана», 1962, № 1.
3. Борисов В. А. Новые методы расчета штанговой крепи. Госгортехиздат, 1962.
4. Квапил Р. Новые взгляды в теории горного давления и горных ударов. Углетехиздат, 1959.