

УПРАВЛЕНИЕ РАЗЛЕТОМ ПОРОДЫ ПРИ БУРОВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Проанализированы особенности начального этапа строительства подземного сооружения. Теоретически обоснованы параметры криволинейно-уступной формы проходческого забоя. Выполнены лабораторные испытания ее влияния на дальность разлета породы при БВР.

Ключевые слова: подземное сооружение, БВР, технологическая часть выработки, криволинейно-уступная форма забоя, дальность разлета породы

Введение

До начала строительства подземного сооружения (туннеля, протяженной горной выработки или камеры) необходимо соорудить его технологическую часть, которая в дальнейшем будет использоваться для монтажа проходческого оборудования. Несмотря на небольшую протяженность (15...25 м), ее строительство занимает от 1-го до 3-х месяцев или до 10 % общей продолжительности работ. При этом трудоемкость процессов и операций в среднем в 3 раза выше, чем при проведении основной части выработки.

При строительстве новой выработки со стороны уже проведенной в последней усложняется эксплуатация подземного транспорта. Также увеличивается вероятность деформации крепи и коммуникаций обломками породы, разлетающейся при ведении взрывных работ в технологической части.

Постановка задачи

При применении традиционной формы проходческого забоя в его верхней части (так называемом «кутке») концентрируются напряжения, обусловленные формой стыковки кровли и забоя. Это увеличивает вероятность вывала породы. Дополнительные напряжения, вызванные увеличением пролета в месте сопряжения выработок, еще больше усложняют технологию буровзрывных работ и требуют усиления конструкции временной крепи.

Ежегодно только на шахтах Украины сооружают более 2400 сопряжений горных выработок, что предусматривает необходимость строительства такого же количества технологических частей. На выполнение этих работ затрачивается более 70 тыс. чел-смен. Поэтому сокращение длительности и трудоемкости строительства технологических частей подземных сооружений является актуальным.

Для решения этой задачи в [1] предложено придавать проходческому забою криволинейно-уступную форму (рис. 1).

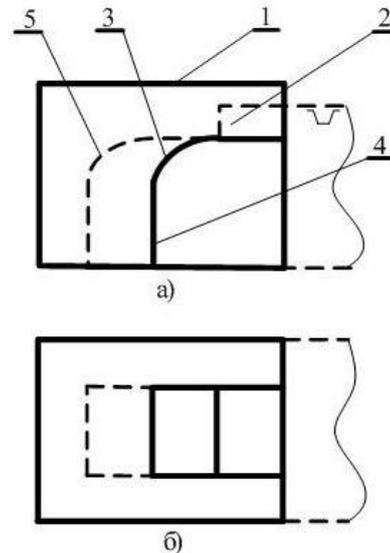


Рис. 1. Криволинейно-уступная форма проходческого забоя:
а) – вид сбоку; б) – вид сверху

Часть породного массива (1), прилегающая к выработке, выполняется в виде уступа (2), который сопрягается с цилиндрической поверхностью (3) определенного радиуса, перпендикулярной продольной оси выработки. Нижняя часть забоя (4) вертикальна. (5) – контур выработки после взрывания. При использовании забоя предложенной формы в первую очередь взрывают заряды в уступе, а затем – у почвы. После этого поочередно взрывают шпур рядами в направлении снизу вверх.

По Правилам безопасности высота вертикально – криволинейной части забоя должна быть не менее 1800 мм. Рациональная длина заходки – 1 м, т.к. по Правилам безопасности отставание постоянной рамной крепи от забоя не должно превышать 3 м. При расхождении длин заходок в уступе и криволинейно-

вертикальной части будет возникать необходимость для каждого взрывания разрабатывать новый паспорт БВР.

Учитывая, что минимальное расстояние шпуров от контура выработки составляет 150 мм, ЛНС для породы – не менее 300 мм, для угля – не менее 500 мм, а диаметр шпура – 42 мм, минимальная высота уступа принимается равной 500 мм. Максимальная высота уступа равна:

$$H_{уст.макс} = H_{вч} - 1800$$

где $H_{вч}$ – высота выработки вчерне, мм.

Площадь проходческого забоя складывается из площадей уступной S_y , криволинейной S_k и вертикальной $S_{верт}$ частей.

При полуциркульном своде уступная часть представляет собой сегмент круга. При 3-х центровом своде уступная часть – параболический сегмент. Ее площадь равна:

$$S_y = \frac{2}{3} \cdot H_{уст} \cdot B_{уст}$$

где $B_{уст}$ – ширина выработки вчерне, м.

Для определения площади криволинейной части проходческого забоя, S_k , использована схема, приведенная на рис. 2.

$$S_k = S_1 - S_2,$$

где $S_1 = l_{зах} \cdot r + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^2$, $S_2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^2$.

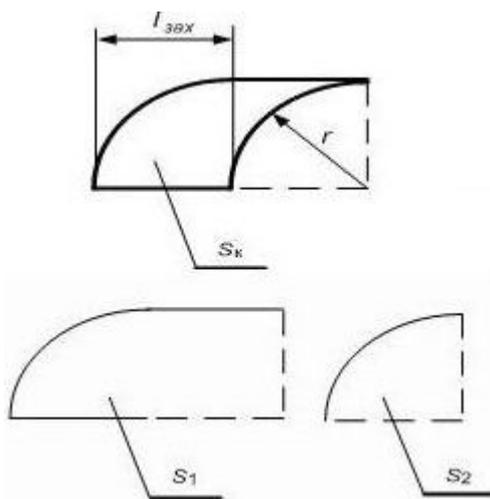


Рис. 2. Схема для определения площади криволинейной части забоя

Высота вертикальной части не должна быть меньше 1800 мм и определяется из выражения:

$$H_{верт} = H_{вч} - H_{уст} - r,$$

Площадь вертикальной части равна:

$$S_{верт} = H_{верт} \cdot B_{вч}.$$

С учетом изложенного, выполнен расчет объемов породы для типовых арочных сечений горных выработок при коэффициенте разрыхления $K_p = 1,7$, $l_{зах} = 1,0$ м и криволинейной части радиусом, равным 1 м. Объемы породы в разрыхленном состоянии получены умножением соответствующих площадей на $l_{зах}$ и обозначены как V_y , V_k и $V_{верт}$. Графической интерпретацией полученных результатов расчетов является номограмма, приведенная в [2].

При этом образованный при взрывании уступа породный вал является устойчивым, когда его объем, V_y , равен объему горной массы в остальных частях забоя ($V_{ост} = V_k + V_{верт}$). Если $V_y < V_{ост}$, то вероятность сноса вала обломками взорванной породы возрастает. При $V_y > V_{ост}$ породный вал мешает разлету породы из вертикально – криволинейной части забоя. Полученные в [2] зависимости показывают, что при увеличении $H_{уст}$ от 1-го до 2-х метров его объем возрастает с $9,5 \text{ м}^3$ до $18,9 \text{ м}^3$. Следовательно, увеличение высоты уступа на 0,1 м приводит к приращению его объема на $0,94 \text{ м}^3$.

Лабораторные исследования

Лабораторные исследования влияния криволинейно – уступной формы проходческого забоя на дальность разлета породы проведены во взрывной камере лаборатории БВР Донецкого Национального технического университета. Для проведения лабораторных экспериментов по оценке эффективности предложенной формы изготовлена модель выработки из эквивалентных материалов с соблюдением геометрического и физического (энергетического) подобия. Использовался метод, основанный на общем законе механического подобия и теории размерностей [3], согласно которому критерий подобия или инвариант вычисляется из выражения.

В основе моделирования методом эквивалентных материалов лежит общий закон механического подобия Ньютона и теория размерностей, позволяющие установить критерий подобия или инвариант подобия:

$$\frac{P_m}{q_m \cdot a_m \cdot L_m} = \frac{P_n}{q_n \cdot a_n \cdot L_n} = inv,$$

где P_m, P_n – силы, действующие в модели и в натуре; q_m, q_n – плотность материала модели и натуре; a_m, a_n – ускорение в модели и в натуре; L_m, L_n – линейные размеры в модели и в натуре.

Для подбора механических характеристик эквивалентного материала, обеспечивающего подобие механических процессов в модели, преобразуем инвариант подобия к виду:

$$\frac{N_m}{\gamma_m \cdot L_m} = \frac{N_n}{\gamma_n \cdot L_n} = k = inv,$$

где N_m, N_n – величины, соответствующие различным силовым характеристикам состояния модели и натуре; γ_m, γ_n – объемный вес материала в модели и в натуре; L_m, L_n – линейные размеры в модели и в натуре; k – критерий (инвариант) подобия процессов деформаций и разрушений пород в условиях действия сил тяжести и напряжений, возникающих в реальных и модельных условиях.

Таким образом, имея масштаб модели L_m/L_n , и заданное соотношение γ_m/γ_n , можно подобрать механические характеристики эквивалентного материала.

$$N_m = \frac{L_m}{L_n} \cdot \frac{\gamma_m}{\gamma_n} \cdot N_n.$$

Для изготовления модели (рис. 3) использовался металлический куб, боковыми гранями которого являлись листы размером $650 \times 650 \times 650$ мм, соединенные между собой 4-мя болтами по каждой грани. В куб помещалась металлическая матрица, имитирующая проходческий забой криволинейно-уступной формы.



Рис. 3. Модель проходческого забоя криволинейно-уступной формы

Изготовленная модель имитирует в масштабе 1:10 криволинейно-уступную форму проходческого забоя выработки со следующими размерами:

- площадь сечения вчерне $S_{вч} = 12,5 \text{ м}^2$;
- ширина выработки вчерне $B_{вч} = 4330 + 2 \times 123 + 2 \times 50 = 4676 \text{ мм}$;
- высота выработки вчерне $H_{вч} = 3344 + 123 + 2 \times 50 = 3576 \text{ мм}$;
- радиус верхняка $r_{1вч} = 2110 + 123 + 2 \times 50 = 2333 \text{ мм}$;
- высота уступа вчерне $h_{уст} = 3576 - 3000 = 576 \text{ мм}$;
- ширина уступа вчерне $B_{уст} = 2700 \text{ мм}$.

В качестве эквивалентного материала при моделировании использовалась цементно-песчаная смесь (Ц:П=1:3). Для определения ее прочности одновременно с изготовлением цементно-песчаной модели в специально изготовленную чугунную кубическую форму размером $70 \times 70 \times 70$ мм была залита такая же смесь объемом $343 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, массой 690 г с удельным весом $\gamma = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Изготовленные кубики затем раздавливались на механическом прессе – машине испытательной разрывной Р-5. Образцы испытывались до полного разрушения. Для расчетов принято среднее значение прочности модели, равное 23,80 МПа.

Для пересчета усилия прессы в прочность испытываемого образца применялась следующая зависимость:

$$\Pi = \frac{Y_{пр} \cdot \alpha}{S}$$

где Π – прочность испытываемого образца, МПа; $Y_{пр}$ – усилие прессы, кН; S – площадь контакта, м^2 ; α – поправочный коэффициент по ГОСТ 28570-90 «Бетоны, методы определения прочности по образцам». При стандартной кубической форме равен 1,0. При форме образца, отличной от кубической, равен 1,1.

В качестве временной крепи применялись анкера, изготовленные из Ст-5. Для их размещения было пробурено 12 шпуров длиной 150 мм и $\varnothing 6$ (два ряда по 6 шпуров в уступной и криволинейной частях забоя, расстояние между анкерами – 70 мм).

После набора раствором достаточной прочности было произведено натяжение анкеров при помощи гаек, навинчиваемых на резьбовую часть анкера длиной 22 мм. Под гайками раз-

мещались шайбы диаметром 20 мм с отверстием диаметром 4 мм. Прочность модели составила 23,8 МПа.

Через 7 суток после начала твердения при помощи динамометра было измерено усилие выдергивания анкера, которое составило 140 Н. Теоретически оно должно составлять 155 Н, что подтверждает достаточную сходимость результатов.

Затем, в соответствии с рассчитанным паспортом БВР, был пробурен 31 шпур длиной 100 мм и диаметром 8 мм. Шпуры бурились перпендикулярно груди забоя. Взрывание производилось при помощи электродетонаторов ЭДКЗ-0П в последовательности, соответствующей номерам шпуров. В качестве забойки применялась песчано-глинистая смесь.

Дальность разлета породы определялась при помощи мишеней, уложенных горизонтально на почву (рис. 4).



Рис. 4. Вид установки для исследования дальности разлета породы до взрывания

После этого выполнялись серии взрывов (по одному – два одновременно) с последующим измерением дальности разлета породы (рис. 5).

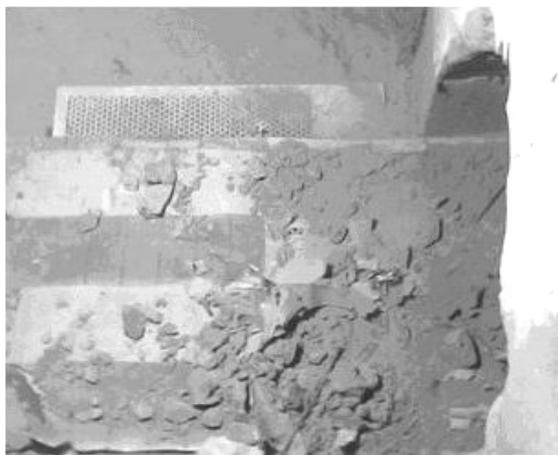


Рис. 5. Вид установки после взрывания шпуров в уступной части

При помощи горизонтальной мишени измерялась дальность разлета породы от забоя и от торца уступа.

Высота породного вала определялась в характерных местах: около забоя; под серединой и под торцом уступа; в месте с наибольшей высотой вала породы; на максимальном расстоянии от торца уступа.

Для определения объема породы применялся измерительный сосуд, заполненный водой.

Результаты

Анализ результатов экспериментов показал, что при взрывании шпуров в уступной части проходческого забоя можно выделить три зоны расположения взорванной породы:

1-я зона: около 20 % взорванной породы, расположена под уступом;

2-я зона: около 70 % взорванной породы, расположена от торца уступа на расстоянии $(0...2,5)H$, где H – высота выработки;

3-я зона: около 10 % взорванной породы, разлетается на расстояние $(2,5...4,0)H$.

В 1-й зоне объем вала равнялся 312 см^3 ; во 2-й зоне – 1130 см^3 ; в 3-й зоне – 160 см^3 .

Промышленные испытания по установлению дальности отброса взорванной горной массы были проведены в 15-ти тупиковых нарезных и подготовительных выработках 5-ти шахт ГП «Шахтерскуголь». Площадь поперечного сечения выработок в свету изменялась от 2,4 до 11,2 м², а высота H – от 0,85 до 3,4 м. Взрывания производились в забоях с одной и двумя открытыми поверхностями при общем расходе ВВ от 8,8 до 23,0 кг и глубине шпуров от 2,0 до 3,0 м. Обработка полученных результатов показала, что в выработках с одной открытой поверхностью дальность отброса основной массы породы (угля) равнялась $6H$ при максимальной высоте породного вала $0,5H$. В выработках с двумя открытыми поверхностями эти показатели равнялись $3H$ и $0,7H$, соответственно [4].

Предложенное техническое решение использовано при разработке «Инструкции по усовершенствованию буровзрывных работ при строительстве сопряжений горизонтальных и наклонных выработок на шахте «Россия» ГП «Селидовуголь» [5] и внедряется при сооружении сопряжения 3-го южного штрека пласта l_2^1 с наклонным квершлагом № 2 пластов $l_1 - l_2^1$ на этой шахте.

Выводы

Придание проходческому забою криволинейно-уступной формы с рекомендуемыми параметрами уступа по сравнению с традиционной обеспечивает сокращение дальности разлета взорванной породы в 2,4 раза. Следовательно, при строительстве технологических частей подземных сооружений при помощи буровзрывных работ в реальных условиях дальность разлета породы находится в интервале от 8 до 10 м. Такая форма проходческого забоя позволяет взрывать все шпурсы за один прием, что существенно сокращает затраты времени на производство буровзрывных работ. Кроме того пропорционально повышается кучность размещения взорванной породы. Это позволяет при строительстве технологических частей подземных сооружений вместо дорогостоящих погрузочных машин применять скреперные установки, производительность которых при этой дальности транспортирования на 25 % выше, чем у погрузочных машин ковшевого типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. с. 1528075 СССР Е21 В 9/00. Способ проходки горных выработок [Текст] / А. Г. Гудзь,

А. Н. Шкуматов и др. (СССР) – заявл. 21.12.1987; зарегистр. в Гос. реестре изобр. 8.09.1989.

2. Шкуматов, О. М. Обґрунтування параметрів прохідницького вибою криволінійно-уступної форми при будівництві спряжень гірничих виробок [Текст] / О. М. Шкуматов, О. К. Мороз, В. А. Галоян // Вісник Криворізького технічного університету. – 2009. – № 23. – С. 38–41.
3. Кузнецов, Г. Н. Моделирование проявлений горного давления [Текст] / Г. Н. Кузнецов и др. – Л.: Недра, 1968. – 278 с.
4. Шевцов, Н. Р. Установление дальности разлета породы при криволинейно-уступном проходческом забое с двумя открытыми поверхностями [Текст] / Н. Р. Шевцов, А. Н. Шкуматов, И. А. Черкасов // Тези доповідей 2-ї МНПК МВАС «Перспективи освоєння підземного простору». – Д.: НГУ, 2008. – С. 29-32.
5. Шкуматов, А. Н. Инструкция по совершенствованию взрывных работ при строительстве сопряжений горизонтальных и наклонных выработок на шахте «Россия» ГП «Селидовуголь» [Текст] / А. Н. Шкуматов, И. А. Черкасов. – ДонНТУ-Селидовуголь, 2008. – 41 с.

Поступила в редколлегию 28.06.2012.
Принята к печати 16.07.2012.

О. М. ШКУМАТОВ (Донецкий национальный технический университет)

УПРАВЛІННЯ РОЗЛЬОТОМ ПОРОДИ ПРИ БУРОВИБУХОВІЙ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

Проаналізовані особливості початкового етапу будівництва підземної споруди. Теоретично обґрунтовані параметри криволінійно-уступної форми прохідницького вибою. Виконані лабораторні випробування її впливу на дальність розльоту породи при БВР.

Ключові слова: підземна споруда, БВР, технологічна частина виробки, криволінійно-уступна форма вибою, дальність розльоту породи

A. N. SHKUMATOV (Donetsk National Technical University)

THE CONTROL OF THE ROCK'S DISCHARGE DURING THE EXPLOSIVE TECHNOLOGY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS BUILDING

The specialties of the beginning stage of the underground construction building are analyzed. The parameters of the curve – terrace form of an excavation's face are theoretically substantiated. Laboratory researches of the developed form effect on a range of rock debris scattering are executed.

Keywords: underground construction, explosive technology, technological part of excavation, curve – terrace form, distance of the rock discharge