

УДК 622.235.113.6

## РАСЧЁТ КОНСТРУКЦИИ ПРЯМОГО ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ВРУБА

Вохмин С.А., Курчин Г.С., Кирсанов А.К., Грибанова Д.А.

*ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Красноярск, Россия (660025 г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95), e-mail: KurchinGS@mail.ru*

Для обеспечения лучших показателей проходческих работ и безопасности ведения взрывных работ в горном деле особое внимание уделяют совершенствованию методики расчёта врубовой полости. В настоящей работе предлагается новая методика расчёта конструкции прямого призматического вруба, отвечающего горно-геологическим и горнотехническим особенностям при ведении проходческих работ горизонтальных и наклонных горных выработок. Особенностью данной методики является то, что расчет базируется не на определении удельного расхода ВВ, а на установлении величины радиусов зон разрушения массива при взрыве удлинённого цилиндрического заряда ВВ. В работе представлены разработанные конструктивные параметры врубовых шпуров. Предлагаемое технологическое решение позволяет увеличить эффективность образования врубовой полости и работу взрыва с высоким коэффициентом использования шпура, снизить расход взрывчатого вещества, расход бурения и уменьшить разлёт породы после взрыва. Предлагаемая методика прошла масштабную промышленную апробацию на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», в результате чего были достигнуты улучшения качества взрыва по указанным параметрам.

Ключевые слова: буровзрывные работы, прямой вруб, параметры шпуров, методика расчёта, заряд, взрыв.

## THE CALCULATION OF CONSTRUCTION STRAIGHT PRISMATIC CUT

Vokhmin S.A., Kurchin G.S., Kirsanov A.K., Gribanova D.A.

*Institute of mining, geology and geotechnologies the Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia (660025, avenue the Krasnoyarsk worker, 95), e-mail: KurchinGS@mail.ru*

To ensure the best performance of tunnel works and safety of blasting in mining pay special attention to improving the methodology of calculation of cut cavity. In this paper, we propose a new method of calculating the cut prismatic structure directly responsible mining and geological and mining features in the manufacture of tunnel works horizontal and inclined mine excavations. A feature of this method is that the calculation is not based on the determination of the specific consumption of explosives, and to establish the value of the array radius fracture zones in the explosion of an elongated cylindrical explosive charge. The paper presents the design parameters developed by the borehole cut. The proposed technological solution allows to increase the efficiency of formation and work cut cavity explosion with a high utilization rate of the hole, to reduce the consumption of explosives, drilling rate, and reduce the dispersion of the breed after the explosion. The proposed methodology was held large-scale industrial approbation in the mines of the Polar Division «Norilsk Nickel», with the result that has been achieved to improve the quality of the explosion on the specified parameters.

Keywords: drilling and blasting, burn cut, the parameters of blast hole, the method of calculation, the charge hole, explosion.

Ведущей отраслью горной промышленности на данный момент можно назвать взрывное дело. Постоянный рост потребности в различного рода полезных ископаемых требует увеличения объёмов добычи минерального сырья, что, в свою очередь, предопределяет рост горнопроходческих работ. В связи с этим важное значение приобретает совершенствование технологии проходки как уже на действующих, так и на проектируемых рудниках.

Анализ результатов исследований различных авторов показывает, что подавляющий объём проходческих работ на подземных рудниках осуществляется с применением буровзрывных работ (БВР), и в ближайшей перспективе этот способ остаётся основной

технологией проведения горизонтальных и наклонных горных выработок. В последние годы активно ведутся исследования по разработке новых теорий и методик расчёта оптимальных параметров БВР и совершенствованию их конструктивных элементов.

Наиболее ответственным элементом взрывного разрушения пород при проходке горных выработок является формирование врубовой полости. Эффективная работа вруба во многом предопределяет эффективность взрыва в целом.

Так как врубовая полость является наиболее важной составляющей всего паспорта БВР, которая во многом и определяет основные качественные характеристики произведённого взрыва – шаг подвигания забоя за цикл, требуемый развал породы и качественное её дробление, достаточная устойчивость выработки и оконтуривание её в соответствии с проектом, то разработка методики расчёта конструкции взрывного вруба является весьма актуальной.

На сегодняшний день из всех многочисленных типов врубов наиболее прогрессивными являются прямые врубы с компенсационными шпурами или скважинами, пробуренными перпендикулярно к плоскости забоя выработки.

Как показывает практика ведения взрывных работ, такие врубы характеризуются наибольшей работоспособностью в крепких породах, являются простыми в исполнении и позволяют обеспечить высокий коэффициент использования шпура (КИШ). Из всех известных конструкций прямые врубы характеризуются высокой работоспособностью, универсальностью применения, стабильными показателями и простотой ориентации в пространстве [4, 5, 7].

Однако всё многообразие существующих конструкций прямых врубов объединяет один недостаток – отсутствие методики обоснованного выбора их параметров и расчёта [4]. Наиболее часто встречаются методики, базирующиеся на первоочередном определении удельного расхода ВВ.

Недостатком этого подхода является использование в формулах расчёта удельного расхода ВВ коэффициентов, имеющих весьма широкий диапазон изменения, и принимаемые их значения в большей мере зависят от уровня подготовки и интуиции специалиста. В результате параметры БВР устанавливаются по усредненным значениям, что отрицательно сказывается на эффективности взрывных работ. Кроме того, упомянутые методики не учитывают необходимость изменения параметров БВР при изменении глубины шпуров.

В этой связи первым шагом в решении поставленной задачи стала разработка алгоритма расчёта параметров прямого вруба с компенсационными скважинами.

Для создания методики расчёта параметров и конструкции прямого призматического вруба были проанализированы труды ведущих учёных, занимающихся исследованиями в

области изучения оптимальных параметров БВР [1-9]. В результате этого были установлены зависимости, позволяющие с высокой степенью точности определить оптимальные параметры прямого призматического вруба с компенсационными скважинами.

Одной из особенностей предлагаемой методики расчёта является учёт зависимости зон разрушения породного массива при взрыве удлинённых цилиндрических зарядов, предложенной Б.Н. Кутузовым и А.П. Андриевским [3]. Авторы объясняют процесс разрушения горной породы при взрыве формированием двух основных зон: смятия и трещинообразования.

Предлагаемая методика определения параметров прямого взрывного вруба базируется на последовательном выполнении следующих операций.

1. Поскольку разрушаемый массив до начала момента взрыва имеет лишь одну открытую поверхность, то в первую очередь определяется число компенсационных шпуров (скважин) во врубе, для создания дополнительной свободной поверхности и частичного перемещения энергии взрыва на эту свободную зону. На основании анализа практики работы рудников ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» и ряда промышленных экспериментов, проведённых авторами, установлено, что оптимальное число компенсационных шпуров (скважин) можно определить по формуле:

$$N_0 = \frac{0,5 \cdot l_0 - 0,2 \cdot d_0 \cdot l_0^2 + 1,3}{d_0 \cdot 0,087}, \text{ шт.}, \quad (1)$$

где  $l_0$  – длина холостого шпура (скважины), м;  $d_0$  – диаметр холостого шпура (скважины), м.

2. При отклонении шпуров от проектного положения возможна некорректная работа взрывного вруба, вследствие чего может наблюдаться недостаточное разрушение и выброс плохо проработанных остатков горной массы и уменьшения КИШ, а в случае значительного сближения шпуров происходит запрессовка соседних шпуров или повреждение зарядов, взрывааемых с замедлением [5, 7].

Таким образом, для этого типа взрывного вруба ключевым фактором, определяющим его работоспособность, является выбор оптимального расстояния между заряжаемыми и компенсационными шпурами (скважинами).

По результатам промышленных экспериментов установлено, что расстояние между холостыми шпурами вруба необходимо определять по формуле:

$$h = d_0 + d - \frac{\pi \cdot d^2}{12 \cdot d_0}, \text{ м}, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр заряжаемого шпура, м.

Оптимальное расстояние между холостыми и заряжаемыми шпурами вруба рассчитывается как  $(2 \div 3) \cdot d_0$  [9].

3. Общее число врубных шпуров, размещённых на плоскости забоя рассчитывается по выражению:

$$N_{вр} = \frac{0,04 \cdot S \cdot k_v}{\pi \cdot R_{см}^2}, \text{ шт.}, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки,  $m^2$ ;  $k_v$  – коэффициент, учитывающий вязкость пород;  $R_{см}$  – радиус зоны смятия, определяемый по формуле [6].

На рисунке 1 представлена схема построения прямого призматического вруба, по предлагаемым формулам.

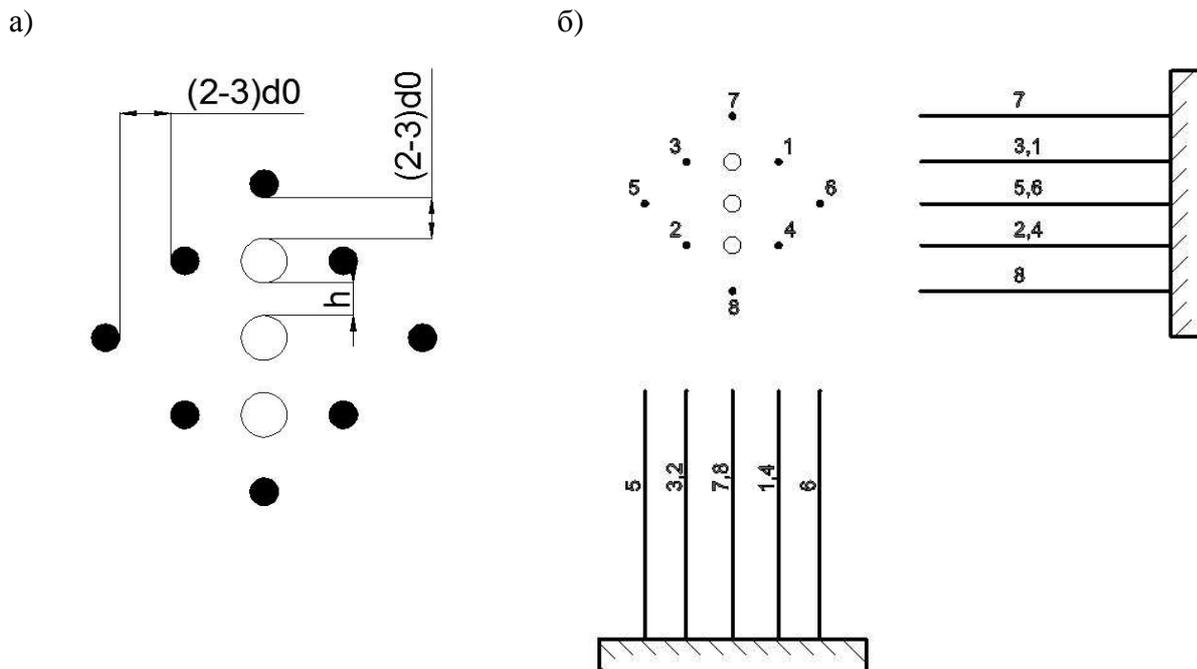


Рис. 1. Схема построения прямого вруба

а) Схема построения взрывного вруба по выведенным формулам; б) Схема расположения взрывного вруба в забое

4. Глубина шпуров определяется исходя из возможностей технологического оборудования.

5. Длина заряда в шпуре рассчитывается по формуле

$$L_z = l_{ш} - 0,5W - l_{заб} - l_{б}, \text{ м}, \quad (4)$$

где  $l_{ш}$  – глубина шпура, м;  $l_{заб}$  – длина забойки, м;  $l_{б}$  – длина патрона-боевика, м.

6. При необходимости далее проверяется возможность заряжания пневматическим зарядчиком порциями по 0,5 кг, 1,0 кг или 2,0 кг.

Проектная масса заряда в каждом заряжаемом шпуре взрывного вруба, с учетом уже известной длины заряда, равняется:

$$Q_3 = \frac{L_3 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4}, \text{ кг.} \quad (5)$$

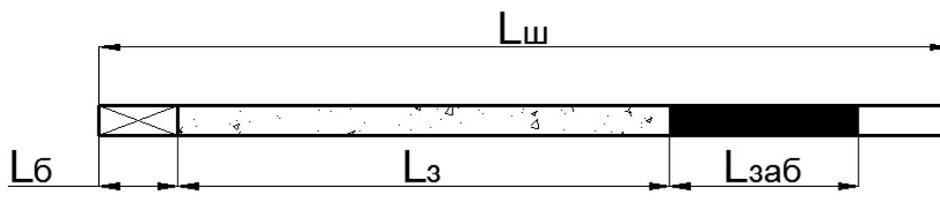


Рис. 2. Схема конструкции заряда

Предлагаемая методика расчёта уже прошла апробацию на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», где показала хорошие результаты, что подтверждается повышением КИШ, снижением общего расхода ВВ, расхода бурения и уменьшением разлёта породы после взрыва.

Из вышеизложенного следует, что при составлении паспортов БВР использование предлагаемой методики расчёта конструкции прямого призматического вруба обеспечит высокую эффективность взрывного способа проходки горизонтальных и наклонных горных выработок, поскольку позволяет учесть все основные горно-геологические и горнотехнические условия проведения взрыва, обеспечить качественное формирование врубовой полости и высокий КИШ.

### Список литературы

1. Войтов М.Д., Сабанцев А.Б. Количественная оценка параметров комбинированных воронкообразующих врубов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 28-34.
2. Должиков К.И., Мангуш С.К. Методика расчета параметров буровзрывных работ при проведении подземных горных выработок // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2012. – № 11. – С. 13-24.
3. Кутузов, Б.Н. Новая теория и новые технологии разрушения горных пород удлиненными зарядами взрывчатых веществ / Б.Н. Кутузов, А.П. Андриевский // Новосибирск: Наука, 2002. – С. 96.
4. Литвинский Г.Г., Шульгин П.Н. Обоснование конструкции и параметров прямого цилиндрического вруба при сооружении выработок // Современные проблемы шахтного и подземного строительства: Материалы международного научно-практического симпозиума. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – Вып. 5. – С. 130-139.

5. Масловский А.Н., Лукьянов В.Г. Актуальность буровзрывных работ с прямыми врубами при проведении горизонтальных горно-разведочных выработок с влиянием геолого-структурных особенностей массива // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 1. – С. 166-172.
6. Методика расчёта параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок / С.А. Вохмин, Г.С. Курчин, А.К. Кирсанов, П.А. Дерягин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 4 (48). – С. 5-9.
7. Рустемов С.Т. Совершенствование проведения горных выработок и повышение безопасности труда проходчиков // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2012. – Т. 12. – № 7. – С. 124-128.
8. Стафеев А.А., Хобта А.А. Определение пробивного расстояния между параллельными шпурами и скважинами в прямых врубах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 5. – С. 362-369.
9. Таранов П.Я., Гудзь А.Г. Разрушение горных пород взрывом: учебник. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 253 с.

**Рецензенты:**

Гилёв А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Горные машины и комплексы», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск;

Галченко Ю.П., д.т.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук, г. Москва.